



Eficiencia Energética en ICT (Green Networking)

José Alberto Hernández
Dept. Ing. Telemática
Universidad Carlos III de Madrid

Acks:

David Larrabeiti, Manuel Urueña (UC3M)

Pedro Reviriego, Juan Antonio Maestro (U. Nebrija)



Agradecimientos

- ◆ A la Universidad de Extremadura, a José Luis, César y todo el equipo de CENITS



Índice

1. Consumo energético en cifras
2. Estrategias de ahorro energético
Sentido común
3. Network Connectivity Proxy
4. Energy Efficient Ethernet (EEE)
 - Adaptive Link Rate (ALR)
 - Low Power Idle (LPI): Técnica y Análisis
 - EEE con agregación de ráfagas



¿Cómo se mide el consumo energético?

- ◆ La potencia se mide en Watts:
 - Bombilla: 60 W, ó 12 W (bajo consumo).
 - TV LCD 37in: 90 W
 - Portátil: 250 W
- ◆ KiloWatt = 1000 Watts
- ◆ 1KWh = El consumo energético producido por:
 - 1 Cacharro de 1 KW de potencia funcionando durante 1 hora
 - 1 Cacharro de 100W de potencia funcionando durante 10 horas
- ◆ En España, 1KWh cuesta 0,15 € aprox.
(0,149198 €/KWh)



Motivación de costes

- ◆ Reducir costes y dependencia de los países productores de petróleo:
 - Consumo eléctrico medio de un hogar al año (2007):
 - España: 4,000 kWh/yr = 600€/yr + coste de servicio e impuestos.
 - USA: 10,000 kWh/yr
 - Hay aproximadamente **300 Millones** ($3 \cdot 10^8$) de hogares en Europa.
- ◆ Consumo energético (coste) por año:
 - Bombilla (60 W * 3 hr/day): 65.7 kWh/yr (9.85 €/yr)
 - Bombilla de bajo consumo (12 W * 3 hr/day): 13.14 kWh/yr (1.97 €/yr)
 - TV LCD 37in (90W * 1 hr/day): 33 kWh/yr (5 €/yr)
 - Ordenador portátil (250 W * 4 hr/day): 365 kWh/yr (54 €/yr)
 - Nevera A+: 380 kWh/yr (57 €/yr)



Motivación medioambiental

- ◆ Reducir las emisiones de CO₂ (huella de carbono):
 - Consumo de 1KWh = 649 gramos de CO₂ (IEA)
 - Un coche emite aproximadamente 150 g CO₂ /km
 - 10000 km/yr = 1500 kg de CO₂ emitidos
 - Un árbol depura 10-30 kg de CO₂ por año
 - Son necesarios 75 – 150 árboles para depurar el CO₂ generado por el coche anterior



Sources: http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/banco_publico_ia/pdf/HOGEnergiaPorHogar.pdf
http://www.eu-energystar.org/es/es_007.shtml



Consumo energético en TIC

- ◆ Se estima que las TIC suponen entre 2 - 10% del consumo energético total
- ◆ Ante este panorama, ¿qué podemos/debemos hacer?
 - Como personas: Consumo responsable de energía
 - Como ingenieros: Diseñar equipamiento y protocolos de comunicaciones energéticamente eficientes



Algunas estrategias de ahorro energético en ICT

- ◆ Diseño hardware eficiente:
 - Tecnologías ópticas más eficientes que cable de par trenzado
 - Control dinámico de potencia
 - 10G Base-SR (1 W) vs. 10G Base-T (5 W).



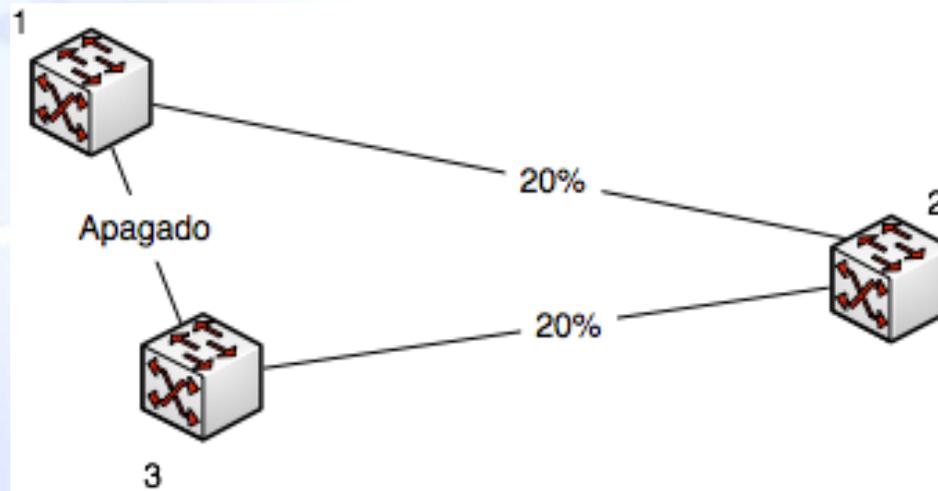
Algunas estrategias de ahorro energético en ICT

- ◆ Estrategias de sentido común...
 - Utilizar el recurso más barato que resuelva el problema
 - ALR en Ethernet
 - Tarjetas USB con micro-clientes BitTorrent
 - Compartir recursos entre varios usuarios
 - Virtualización
 - Routing energéticamente eficiente
 - Network Connectivity Proxy
 - Apagar (dormir) cosas cuando no sean necesarias
 - Energy Efficient Ethernet
 - Apagar/Encender servidores a medida que hagan falta
- ◆ ... intentando mantener prestaciones



Routing eficiente

- ◆ Ingeniería de Tráfico eficiente:
 - Utilizar caminos eficientes.
 - Reutilizar enlaces activos y apagar enlace inactivos.
- ◆ Demanda entrante de 1 a 3 = Redirigir por 1-2-3



- ◆ Rediseñar los protocolos de routing desde el punto de vista de la eficiencia energética

Network Connectivity Proxy

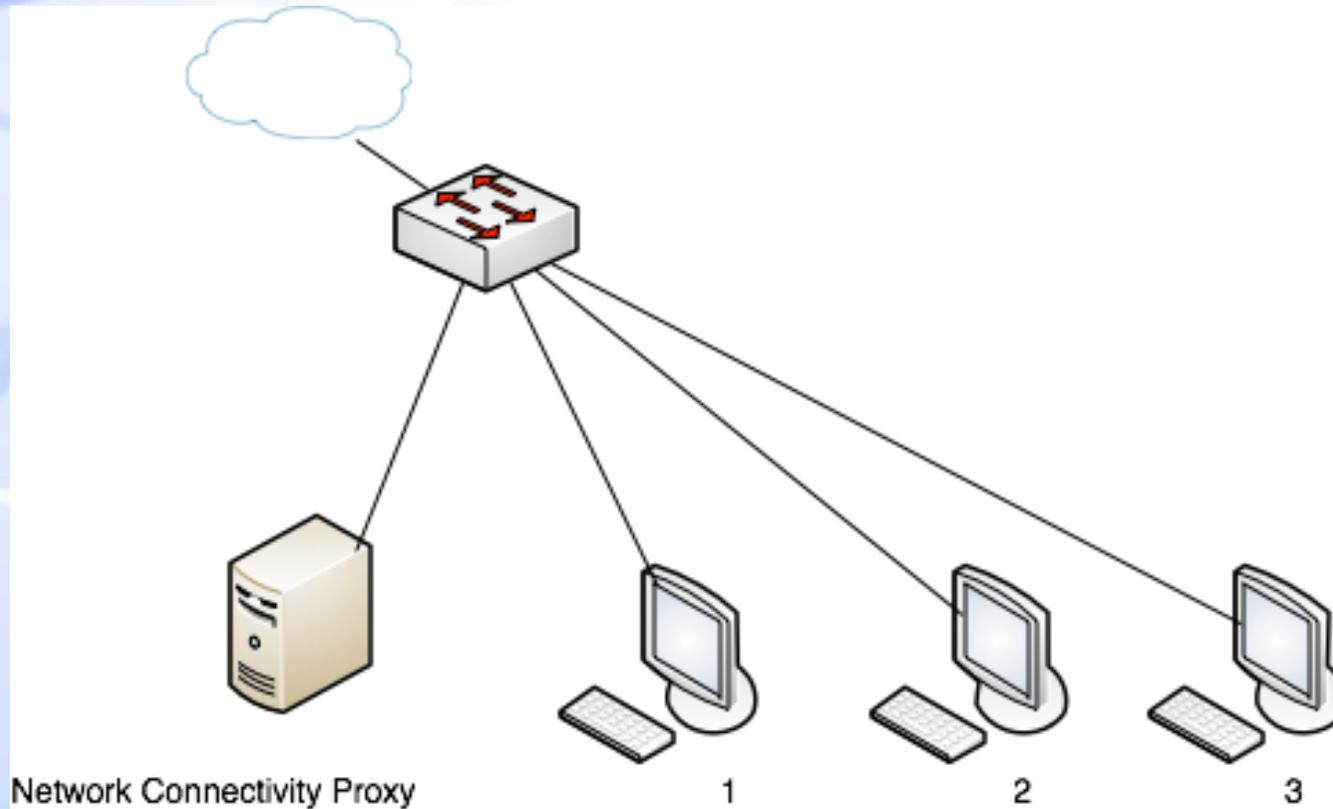
- ◆ **Idea 1:** Los PCs en usuarios residenciales generan muy poca carga de tráfico:
 - Se les podría suspender
 - Sin embargo, los PCs “inactivos” reciben 6 paquetes/segundo en una LAN:
 - Puede haber pérdida de conectividad

¿Cómo dormir un PC sin perder conectividad?

Protocol	%
ARP	52.5%
UPnP	16.5%
NetBIOS	11.3%
STP	7.8%
Cisco Discovery	6.9%
DHCP	1.2%
IP Multicast	1.0%
ICMP, RIP, NTP, etc	2.8%



Network Connectivity Proxy



Network Connectivity Proxy: Solución

- ◆ **Idea 2:** Utilizar un proxy que mantenga la conectividad de red de los PCs suspendidos:
 - Ignorar paquetes broadcast irrelevantes.
 - Responder paquetes ARP y de descubrimiento de servicios.
 - Realice tareas periódicas por el PC:
 - Renovar la dirección IP en el caso de DHCP.
- ◆ ¿Cómo se puede despertar un PC?
 - **Wake-On-LAN (WOL) Magic Packet:**
 - Trama Ethernet. UDP puerto 0, 7 ó 9.
 - FFFFFFFFFFFFFFFF seguida de la dirección MAC del PC repetida 16 veces en el payload.



Ethernet Energy (In)Efficiency

- ◆ ¿Por qué ahorrar en Ethernet?
 - Se estima que existen 3 billones ($3 \cdot 10^9$) de puertos Ethernet:
- ◆ El consumo energético de las tarjetas Ethernet crece con la velocidad de transmisión:
 - 100 Mbps: 100 Base-TX (0.2-0.5 W)
 - 1000 Mbps: 1000 Base-T (1-2 W)
 - 10000 Mbps: 10G Base-T (5-10 W)
- ◆ En Ethernet, la NIC está siempre activa. Sin embargo:
 - El tráfico en SOHO LANs es muy bajo (0.1%).
 - Normalmente, un usuario residencial está limitado por su ADSL: PCs conectados a 100 MbE o 1 GbE a un ADSL de 10 Mbps/500 Kbps ADSL.



Adaptive Link Rate (ALR)

- ◆ **Idea:** Las mayoría de las NICs pueden operar a varias velocidades: 10/100/1000 Mbps
- ◆ Ajustar dinámicamente la velocidad en función de las condiciones de carga:
 - Utilizar 10 - 100 Mbps cuando la carga sea baja.
 - Utilizar 1 - 10 Gbps en períodos de alta carga.
- ◆ Cambiar la velocidad utilizando el mecanismo de auto-negotiation de Ethernet
 - Esto requiere algunos cientos de milisegundos
 - Se puede perder prestaciones
- ◆ ALR no se adoptó finalmente en el estándar, se adoptó el mecanismo:
 - Low Power Idle (LPI).



Energy Efficient Ethernet (EEE)

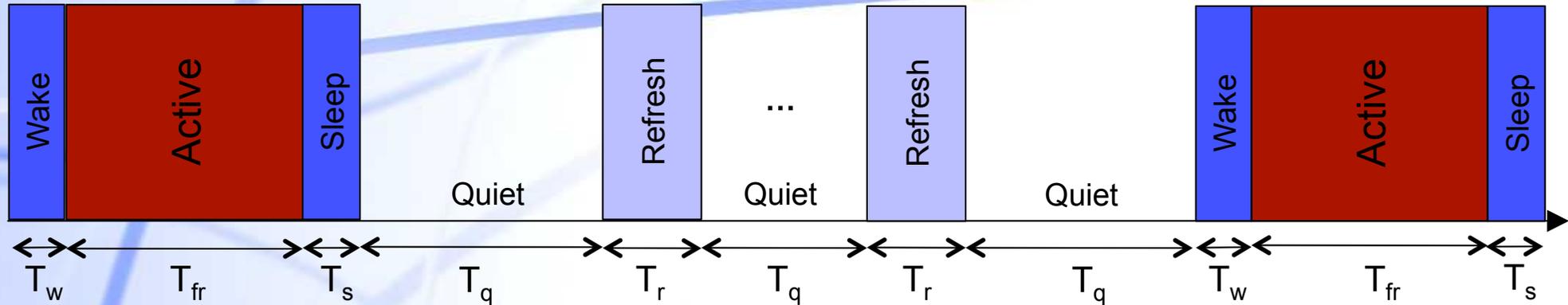
- ◆ IEEE 802.3az (Sept. 2010).
- ◆ Objetivo: Consumo energético proporcional a la carga:
 - Si la carga de red es del 20%, entonces la tarjeta debería consumir sólo el 20% del total.
- ◆ **Low Power Idle (LPI)**: Consiste en dormir la tarjeta de red cuando no hay tráfico pendiente de transmitir.
 - Cambiar a modo Activo cuando llegue un paquete.
- ◆ El modo de bajo consumo gasta aproximadamente un 10% de energía con respecto al modo activo.



Energy
Efficient
Ethernet



Cómo funciona EEE



◆ Tiempos definidos por EEE:

- T_s : Sleep time
- T_w : Wake-up time
- T_q : Quiet time
- T_r : Refresh time
- T_{fr} : Frame transmission time

$$Eficiencia_{EEE} = \frac{T_{fr}}{T_w + T_{fr} + T_s}$$

EEE Transition Times

- ◆ El estándar IEEE 802.3az especifica los tiempos de transición:

Ethernet	T_w	T_s
100 Base-TX	30 μ s	100 μ s
1000 Base-T	16 μ s	182 μ s
10G Base-T	4.16 μ s	2.88 μ s

- ◆ Por ejemplo (1 Gbps):

- Big frame (1500 bytes):

$$T_{frame} = \frac{8 \times 1500 \text{ bits}}{10^9 \text{ bits/s}} = 12 \mu\text{s}$$

- Small frame (64 bytes):

$$T_{frame} = \frac{8 \times 64 \text{ bits}}{10^9 \text{ bits/s}} = 0.512 \mu\text{s}$$

- ◆ ¡¡Los tiempos de Wake-up y Sleep son demasiado grandes!!



¿Es EEE realmente Eficiente?

- ◆ Cuando llega una trama a una tarjeta 1GbE dormida:
 - 1500 Bytes Frame: $T_w + T_{fr} + T_s = 16 + 12 + 182 = 210\mu s$, pero sólo $12\mu s$ de potencia fueron útiles.
 - $Eff_{1500B} = 12\mu s / 210\mu s = 5.7\%$
- ◆ Mucho peor para tramas de 64 Bytes: $Eff_{64B} = 0.6\%$

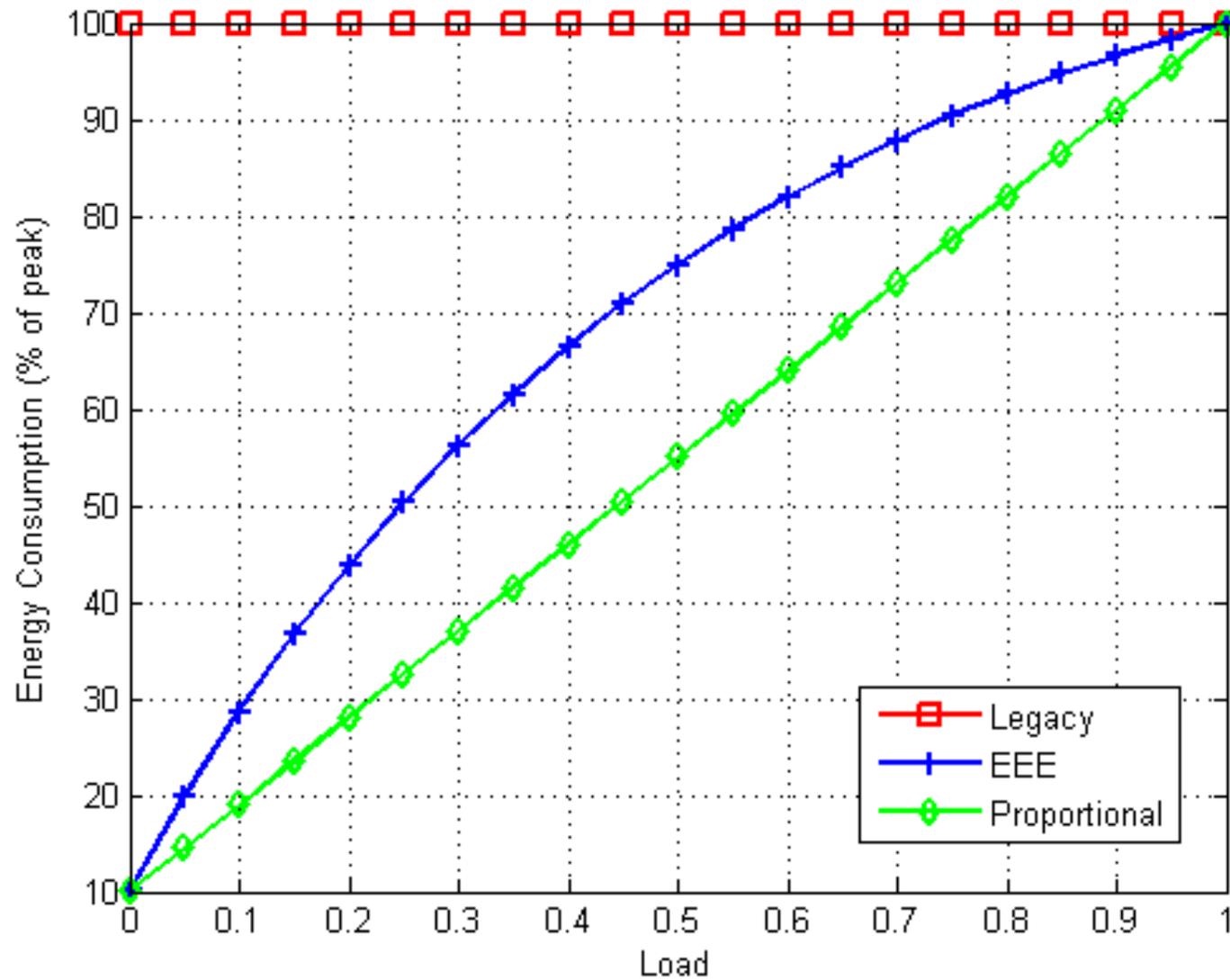
Ethernet	T_w	T_s	$T_{fr\ 1500B}$	Eff_{1500B}	$T_{fr\ 64B}$	Eff_{64B}
100 Base-TX	30 μs	100 μs	120 μs	48%	5.12 μs	3.78%
1000 Base-T	16 μs	182 μs	12 μs	5.7%	0.512 μs	0.25%
10G Base-T	4.16 μs	2.88 μs	1.2 μs	14.6%	0.0512 μs	0.72%

¿Es EEE realmente eficiente?

- ◆ $T_w = 16\mu\text{s}$
- ◆ $T_{fr} = 12\mu\text{s}$
- ◆ $T_s = 182\mu\text{s}$



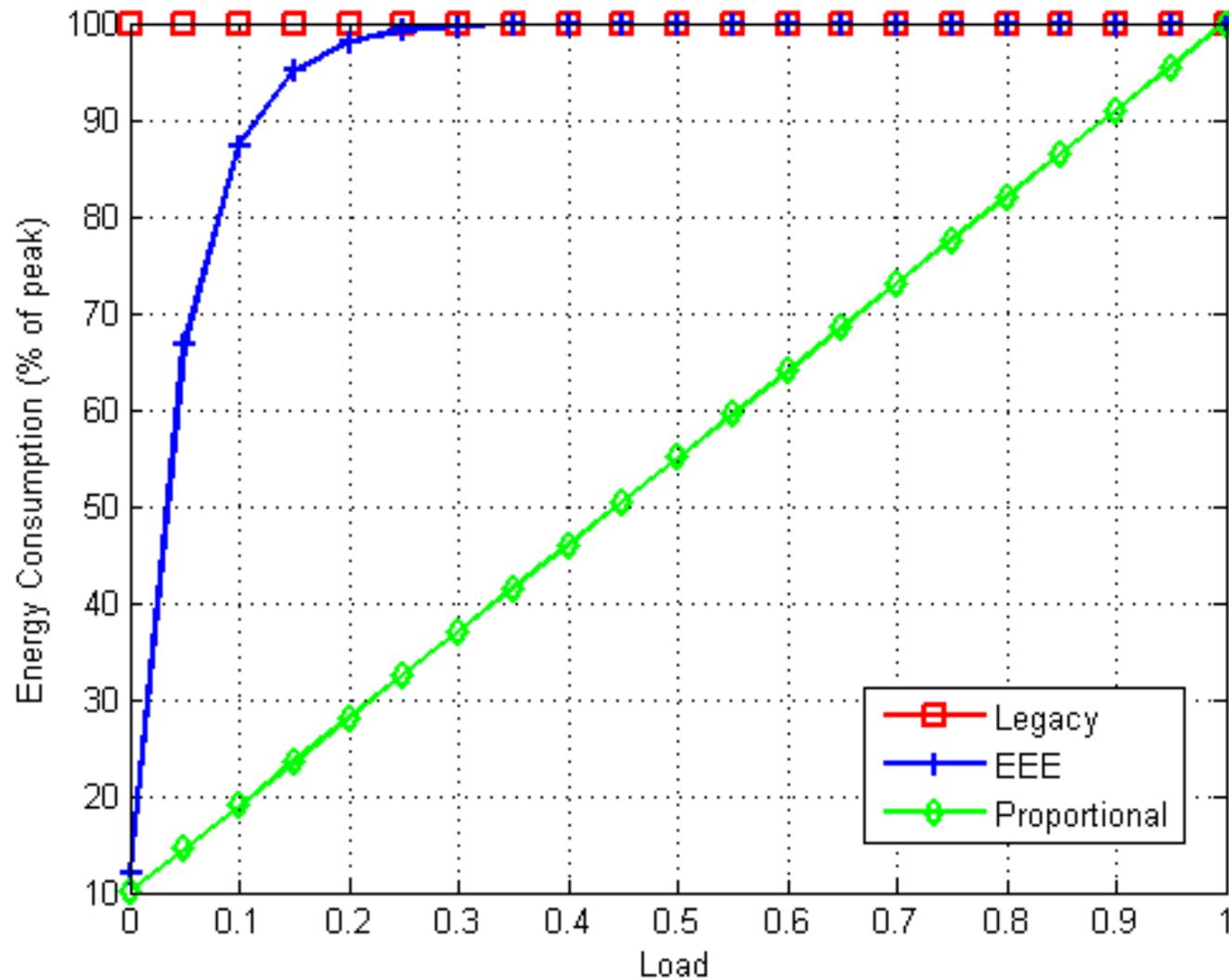
100 Base-Tx Simulation



Poisson arrivals, Frames size=1250 Bytes, Low power mode=10%



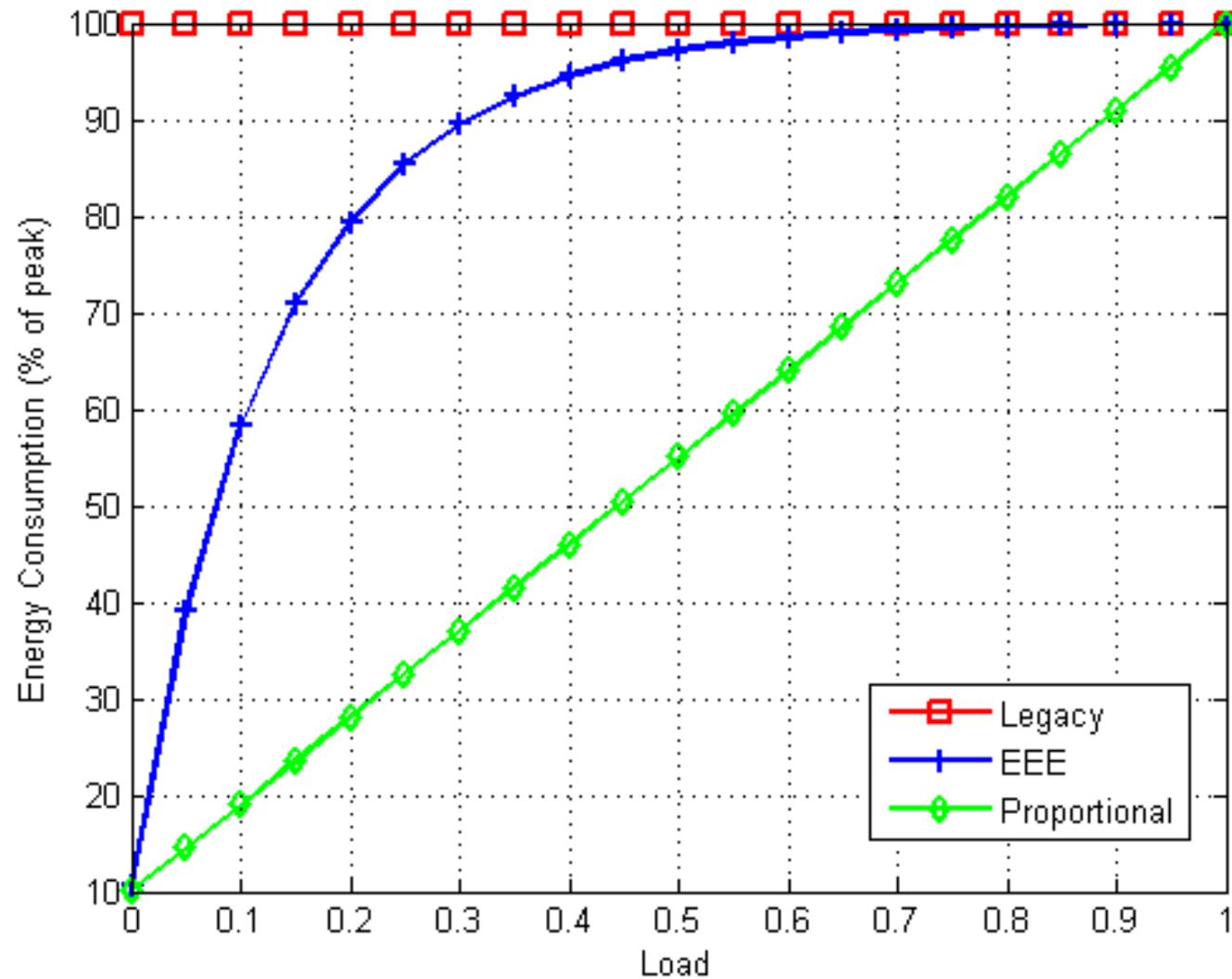
1000 Base-T Simulation



Poisson arrivals, Frames size=1250 Bytes, Low power mode=10%



10G Base-T Simulation



Poisson arrivals, Frames size=1250 Bytes, Low power mode=10%



EEE: Con trazas reales

Scenario	Direction	Avg. Frame size	Link load (%)	EEE Energy (% of peak)	Ideal Energy (% of peak)
I. Residential user: Video download (100 Mbps)	download	1444	1.43%	12.75%	11.28%
	upload	90	0.04%	10.99%	10.04%
II. Residential user: File transfer (100 Mbps)	file	1499	71.13%	78.68%	74.01%
	ACKs	77	1.39%	44.92%	11.25%
III. University: Internet access link (1 Gbps)	download	679	10.94%	92.80%	19.84%
	upload	919	17.66%	96.20%	25.89%
IVa. Data Center. File and search server (1 Gbps)	input	87	1.22%	65.90%	11.10%
	output	1497	52.21%	72.92%	56.99%
IVb. Data Center. Search server (1 Gbps)	input	945	8.51%	45.28%	17.66%
	output	934	7.23%	42.30%	16.51%
IVc. Data Center. File and app. server (1 Gbps)	input	130	0.65%	61.37%	10.58%
	output	749	4.02%	57.10%	13.62%



EEE con agregación de ráfagas

- ◆ La eficiencia mejora si despertamos el enlace para transmitir muchas tramas (ráfaga de N tramas)
 - $T_w = 16\mu s$
 - $T_{fr} = N \times 12\mu s$
 - $T_s = 182\mu s$

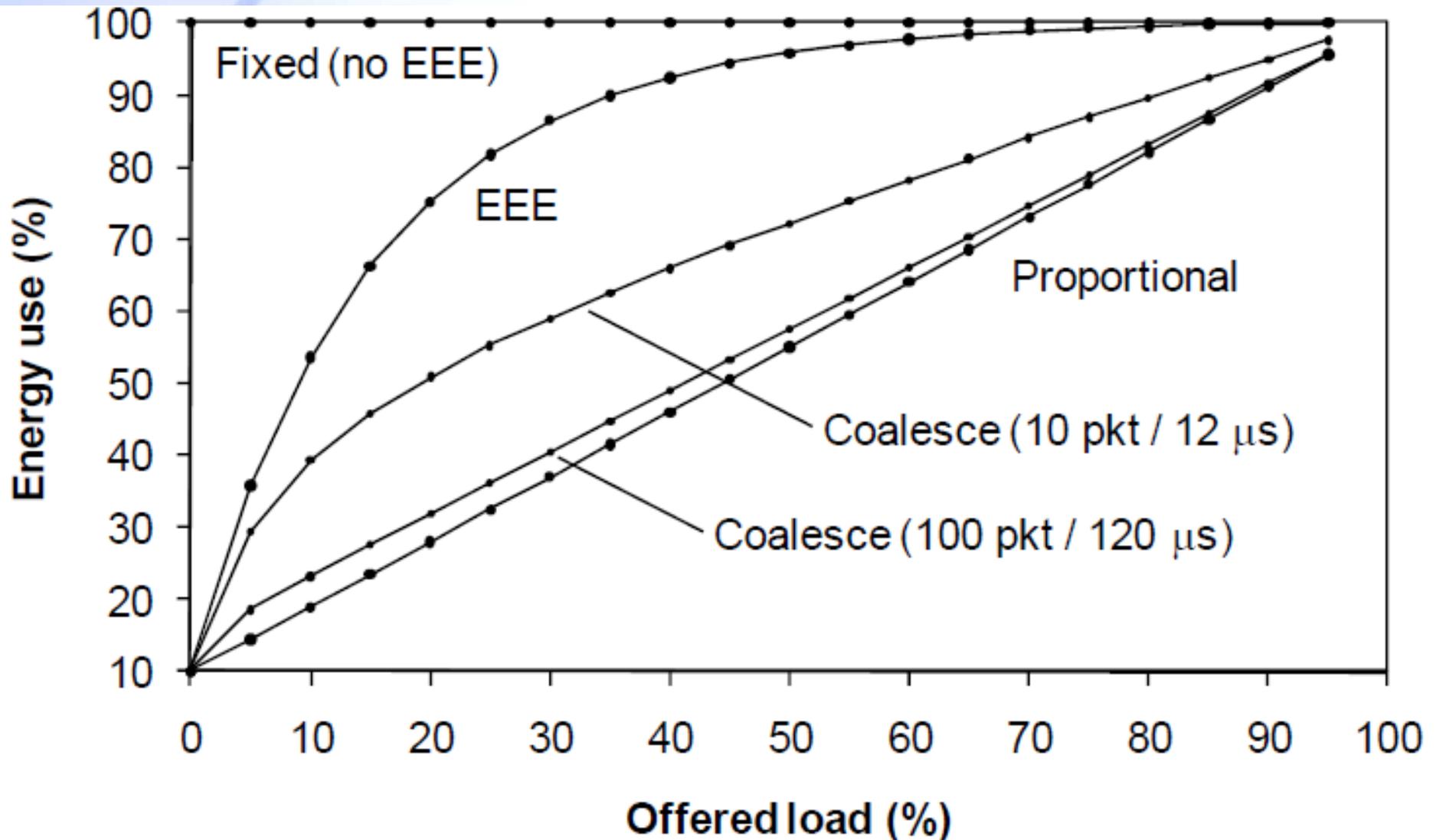


EEE con agregación de tramas

- ◆ La eficiencia de EEE mejora cuando se despierta el enlace sólo para transmitir muchas tramas, por ejemplo una ráfaga de 100 tramas.
- ◆ Sin embargo:
 - Esta estrategia incrementa el retardo.
 - Un valor alto de RTT reduce el throughput en TCP.
 - Ráfagas demasiado grandes pueden causar problemas en los buffers de los routers e incrementar la congestión de red.
- ◆ Los algoritmos de agregación de ráfagas se deben diseñar con cuidado:
 - Ensamblado basado en tamaño: Esperar N tramas.
 - Ensamblado basado en tiempo: Esperar D milisegundos.
 - Ensamblado mixto: Esperar N tramas o D milisegundos, lo que ocurra primero.
- ◆ Simulaciones con 10 GbE EEE con agregación de ráfagas:
 - Agregación-1: N=10 pkt, D=12 μ s.
 - Agregación-2: N=100 pkt, D=120 μ s.



EEE con agreg. de ráfagas: Eficiencia

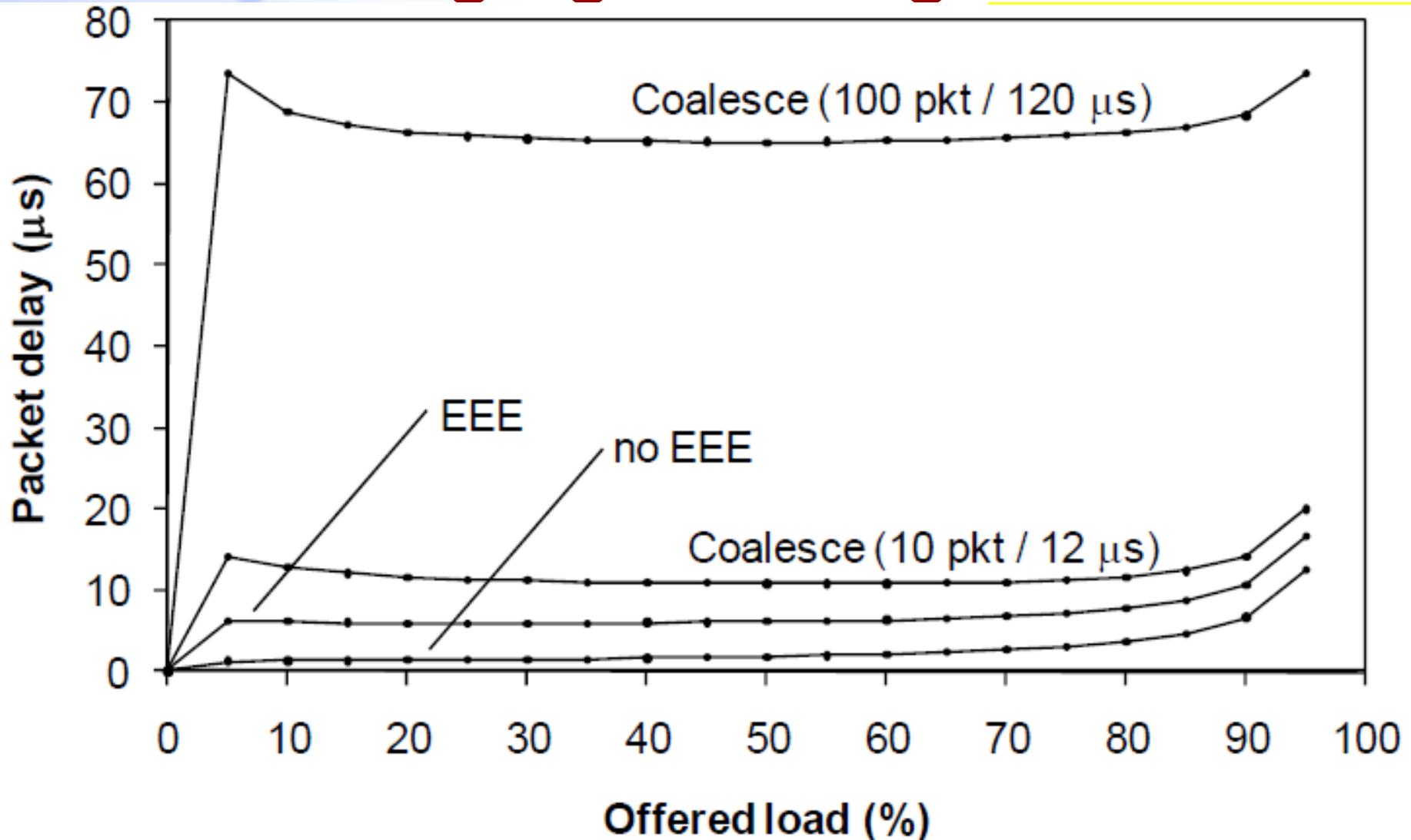


K. Christensen, P. Reviriego, B. Nordman, M. Bennett, M. Mostowfi, J.A. Maestro.

"IEEE 802.3az: The Road to Energy Efficient Ethernet," IEEE Communications Magazine, November 2010



EEE con agreg. de ráfagas: Retardo



K. Christensen, P. Reviriego, B. Nordman, M. Bennett, M. Mostowfi, J.A. Maestro.

"IEEE 802.3az: The Road to Energy Efficient Ethernet," IEEE Communications Magazine, November 2010



Conclusiones de EEE

- ◆ IEEE 802.3az Energy Efficient Ethernet:
 - EEE reduce el consumo energético, especialmente a bajas cargas.
 - Esto se consigue durmiendo la tarjeta de red cuando no hay tráfico que transmitir.
 - Sin embargo, los tiempos de Waking-up and Sleeping-down son demasiado altos = Baja eficiencia.
- ◆ EEE con agregación de tramas:
 - Despertar el enlace sólo cuando haya un número de tramas suficientemente alto.
 - Con esta estrategia se puede conseguir el objetivo de “Proporcionalidad Energética”.
 - Sin embargo, esta estrategia añade retardo a los paquetes y hace el tráfico mucho más rafagoso.



Referencias

- ◆ P. Reviriego, **J. A. Hernández**, D. Larrabeiti, J. A. Maestro: “*Performance evaluation of Energy Efficient Ethernet*”. IEEE Communications Letters. Vol. 13, pp. 697-699. Sept 2009.
- ◆ P. Reviriego, **J. A. Hernández**, D. Larrabeiti, J. A. Maestro: *Burst transmission in Energy Efficient Ethernet. IEEE Internet Computing, vol. 14, no. 4, pp.30-37 (July, 2010)*
- ◆ P. Reviriego, B. Huiszoon, V. López, R. Coenen, **J. A. Hernández**, J. A. Maestro: *Improving energy efficiency in IEEE 802.3ba high-rate Ethernet optical links, IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 17, no. 2, pp. 419-427 (Feb, 2011)*
- ◆ K. Christensen, P. Reviriego, B. Nordman, M. Bennett, M. Mostowfi, J. A. Maestro. “*IEEE 802.3az: The Road to Energy Efficient Ethernet,*” IEEE Communications Magazine. Vol.48, no.11, pp.50-56. November 2010.
- ◆ A. de la Oliva, T. Vargas, J. C. Guerri, **J. A. Hernández**, P. Reviriego: *Analysis of Energy Efficient Ethernet on video streaming servers, Computer Networks (Accepted)*
- ◆ D. Larrabeiti, P. Reviriego, **J. A. Hernández**, J. A. Maestro, M. Urueña: *Towards an energy efficient 10 Gb/s optical Ethernet: Performance analysis and viability, Optical Switching and Networking, vol. 8, no. 3, pp. 131-138 (July, 2011)*

¿Preguntas?

Gracias por su atención!!

