

Ahorro Energético en Redes Ethernet mediante Adaptación Automática de Velocidad

Pablo López¹, Marta Cid¹, Pedro Reviriego¹, Juan Antonio Maestro¹ y David Larrabeiti²

¹Departamento de Ingeniería Informática, Escuela Politécnica Superior, Universidad Antonio de Nebrija, Calle Pirineos 55, 28040 Madrid

²Departamento de Ingeniería Telemática, Escuela Politécnica Superior, Universidad Carlos III de Madrid, Avda de la Universidad 30, 28911 Leganés (Madrid)

Abstract — Actualmente un factor importante en los equipos de comunicaciones es el ahorro energético. Hasta ahora no se había contemplado esta característica con fines puramente ecológicos. En el ámbito de las redes Ethernet, para cubrir esta necesidad, se está desarrollando un estándar, Energy Efficient Ethernet del IEEE 802.3, que permitirá reducir el consumo de energía. Sin embargo, esta iniciativa tardará en implementarse y en contribuir a un ahorro importante. Para poder comenzar ahora a reducir el consumo de energía en redes Ethernet sobre cable hemos implementado una técnica que reajusta la velocidad de la tarjeta de red, y por tanto el consumo energético, dependiendo de las necesidades de comunicación de las máquinas en cada momento. Esto supone una solución a corto plazo mientras se hace efectiva la implantación del estándar.

I. INTRODUCCIÓN

Gracias al gran crecimiento de Internet, la necesidad de incrementar los equipos de comunicaciones y por tanto las comunicaciones es cada vez más importante. Este incremento está suponiendo un gasto energético relevante que se ha estimado para el núcleo de Internet en más de 6 TWh por año [1], lo que conlleva un gasto económico a tener en cuenta. Por estas razones y por lo concienciada que está la sociedad con la preservación del medio ambiente, es interesante que se comiencen a aplicar medidas que ayuden a conseguir unos equipos más eficientes energéticamente.

En este momento, el gasto energético en las redes Ethernet está estimado en 3 TWh por año aproximadamente [2]. Si se aplicasen protocolos que optimizasen el consumo, esta cifra se vería reducida considerablemente. Para conseguir este propósito, la solución más óptima a largo plazo, pero de desarrollo más lento, es el estándar Energy Efficient Ethernet del IEEE 802.3 [3] cuya eficiencia energética ha sido estudiada recientemente [4]. El desarrollo de esta iniciativa concluirá en el 2010 [3] pero basándose en la implantación de anteriores estándares Ethernet [5] tardará una media de 10 años en utilizarse de forma significativa, ya que el proceso de fabricación de los chips y de implantación de éstos es muy lento. Además, para que sea efectiva esta solución se debe implementar en el extremo del PC y en el extremo del conmutador. Hasta entonces se puede comenzar a utilizar implementaciones del mecanismo ALR [2], Adaptive Link Rate (Adaptación Automática de Velocidad), basado en el cambio de la velocidad de transmisión dependiendo del uso de la interfaz en cada momento. Esta solución ya está disponible en este momento, y es compatible con el estándar Energy Efficient Ethernet, por lo que se podrían combinar ambas en un futuro. Las dos soluciones disminuyen el consumo energético pero de diferente manera. En el estándar Energy Efficient Ethernet del IEEE 802.3 se ha implementado un modo de bajo consumo, que duerme la interfaz de red en el caso de que no haya datos que enviar. En el momento que dispone de paquetes a transmitir despierta la interfaz de red para transmitirlos. Se debe tener en cuenta el tiempo utilizado por el dispositivo para dormirse y despertarse, ya que éste tarda algunos microsegundos en realizar esta tarea y es conveniente que el tiempo utilizado en la transmisión de estos datos sea mayor que el utilizado en activar y desactivar la tarjeta de red. Por otra parte, ALR se basa en reducir la necesidad de las interfaces de red de mantener operativo el enlace a la velocidad máxima constantemente, usando velocidades de comunicación más bajas cuando la cantidad de datos a transmitir sea muy reducida o nula. Por tanto, cuando no se explota el potencial de esa velocidad de transmisión se reduce, para que además de poder continuar enviando paquetes en caso necesario, el consumo de energía sea el menor posible.

En este artículo vamos a exponer una implementación que utiliza ALR, haciendo un análisis de lo beneficioso que puede llegar a resultar tanto en equipos servidores de empresas como para particulares, corroborando que es viable y consiguiendo una reducción de consumo y de costes palpable.

II. ADAPTIVE LINK RATE (ALR)

Con Adaptive Link Rate o Adaptación Automática de Velocidad [2], se propone una solución rápida y sencilla de implantar, que, a corto plazo, puede resultar muy beneficiosa en el ahorro de energía. Ésta se basa en el hecho de que la tarjeta de red consume más energía cuanto mayor velocidad de transmisión tenga. Sin embargo, esta capacidad, en la mayoría de las ocasiones, no se aprovecha, o lo que es lo mismo, se conseguiría proporcionar el mismo servicio con una velocidad más baja y además se ahorraría en el consumo. Por tanto, ALR propone modificar la velocidad de transmisión de las interfaces de red, en función de la cantidad de paquetes que se tengan que comunicar en cada momento. Ésta es una solución software, por lo que es mucho más rápido comenzar a utilizarla. Uno de los inconvenientes, es que aunque disminuya la velocidad de comunicación, la tarjeta de red no se duerme, como en Energy Efficient Ethernet. Por lo tanto, pese a no enviar datos, ésta sigue consumiendo, aunque menos que en el caso de trabajar a la velocidad máxima. Otro de los inconvenientes que conlleva ALR es que cuando se modifique la velocidad, la tarjeta de red se desconectará durante una fracción de tiempo (que puede variar entre cientos de milisegundos y un par de segundos), y determinadas aplicaciones pueden no ser tolerantes a esta desconexión. Sin embargo, en la mayor parte de los casos esta situación no es excesivamente crítica. Ejemplos de aplicaciones críticas son telefonía IP donde la fracción de tiempo de desconexión no puede superar los 10 ms. o cámaras de vídeo-vigilancia, no debe superar los 15 ms. aproximadamente [6].

La propuesta que se detallará en este artículo utiliza ALR completándolo con el uso de un histórico para la selección de la velocidad de arranque. En todos los casos, cuando el uso de la interfaz de red, estando a una velocidad concreta, no supera un porcentaje determinado, ésta disminuye dicha velocidad; por el contrario si supera un umbral de uso concreto, la tarjeta de red aumentará la velocidad hasta lo que esté establecido. Sería interesante que los umbrales se pudieran modificar dinámicamente, adaptándose al uso que haga cada usuario de la red. De la misma manera, el histórico podría ayudar a evitar subidas de velocidad innecesarias en picos que se prolongan poco en el tiempo. Por otro lado, el tiempo que tarde la tarjeta de red en aumentar la velocidad debe ser mínimo para evitar que el usuario note lentitud en la red en determinados momentos. En cambio, el tiempo de espera para disminuir la velocidad debe ser mayor para evitar bajadas de velocidad en las pequeñas variaciones de carga.

III. IMPLEMENTACIÓN

La propuesta que se detalla en este artículo se sustenta en umbrales deterministas, establecidos, a priori, mediante distintas pruebas.

Más concretamente, se ha detallado que la velocidad con la que arranca la interfaz de red venga definida por un sistema de históricos. En estos ficheros se encuentran las velocidades fijadas en instantes de tiempos anteriores, con lo que basándose en estos datos, selecciona la velocidad más apropiada.

El tiempo de subida de velocidad es de 2 segundos, para evitar que el usuario perciba lentitud en la velocidad de comunicación. Por otro lado, el tiempo de disminución deberá concretarse para cada caso, ya que lo que se pretende evitar con esto es un efecto de bajada-subida innecesario.

Por otro lado, si la interfaz está sincronizada tanto a 10 Mbps como a 100 Mbps y supera durante 2 ó más segundos el 50% del uso de la velocidad del enlace, se aumentaría la velocidad a aquella inmediatamente superior. En cambio, si la interfaz de red está sincronizada a 1 Gbps y su uso es inferior al 1%, durante el tiempo establecido, se reduce la velocidad a 100 Mbps.. En caso de que la velocidad de la interfaz sea de 100 Mbps y el uso de ésta, durante el rango de tiempo determinado, sea inferior al 1%, la velocidad se verá reducida a 10 Mbps.

Tras varias pruebas se ha llegado a la conclusión de que el tiempo durante el cual la tarjeta de red no está operativa, tras un cambio de velocidad, es de unos 2 segundos. Con lo cual esta solución no es aconsejable para servidores o aplicaciones que no toleren esta caída del servicio.

El software se ha implementado para Linux y utiliza el comando *ifconfig* para monitorizar la carga de tráfico de la tarjeta de red y la herramienta *ethtool* para reconfigurar la velocidad en función de las necesidades de tráfico. En una segunda fase se pretende implementar una versión para Windows.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Los experimentos realizados se han centrado en un entorno residencial en el que un reducido grupo de usuarios está conectado mediante una red Ethernet y comparten un acceso a Internet a través de ADSL. El esquema de la red se muestra en la Figura 1 donde un conmutador conecta a los usuarios y el modem ADSL. En este entorno la mayoría del tráfico se produce entre los ordenadores de los usuarios e Internet. En este caso, dado que la velocidad del ADSL es inferior a 10 Mbps, sería posible trabajar siempre con las tarjetas de Ethernet a 10 Mbps. Esto redundaría en un significativo ahorro de energía. Para ilustrar el funcionamiento de ALR se ha utilizado el software implementado en los ordenadores durante su uso habitual y

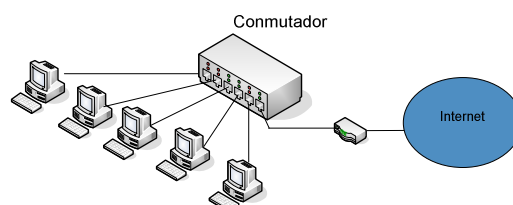


Fig. 1: Configuración de Red para el escenario de un usuario residencial.

además se han realizado transferencias de ficheros entre ordenadores para forzar cambios de velocidad. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2 para el caso de un ordenador con una tarjeta Ethernet 10/100, y en la Figura 3 para una tarjeta Ethernet 10/100/1000. En ambos se aprecian los cambios de velocidad durante la transferencia del fichero aumentando la velocidad al inicio de la misma y disminuyéndola una vez concluida. Incluso en estas gráficas se ve como la tarjeta de red pasa la mayor parte del tiempo a 10 Mbps.

Otro factor importante es el impacto de los cambios de velocidad en las aplicaciones y en el usuario. Durante los experimentos realizados los usuarios no notaron la presencia del script, lo que indica que los cambios de velocidad no suponen un problema para un usuario residencial. Las aplicaciones que estaban ejecutándose en los ordenadores eran un lector de correo, un navegador de internet, una aplicación P2P y la aplicación FTP para la transferencia de ficheros. Estas aplicaciones son representativas del tipo de aplicaciones que utilizan los usuarios residenciales. Todas las aplicaciones continuaron funcionando con normalidad tras los cambios de velocidad. Estos resultados indican que es posible utilizar la adaptación automática de velocidad en los ordenadores de usuario con un impacto mínimo en las aplicaciones y los usuarios.

En el caso de servidores y equipos de oficina, las medidas realizadas en [7] muestran también una baja utilización de la capacidad del interfaz de red. Para confirmar estos datos hemos realizado medidas en un servidor de gestión de red de una empresa y los resultados se muestran en la Figura 4. Se puede observar que efectivamente la utilización del interfaz de red es baja la mayor parte del tiempo y por tanto se podría ahorrar energía reduciendo la velocidad. Sin embargo, antes de utilizar la adaptación automática de velocidad en servidores, sería necesario comprobar que los períodos en los que el interfaz no está operativo no afectan al rendimiento de la máquina ni a las aplicaciones. Este análisis se deja para trabajo futuro, pero como se ha mencionado antes, en el caso de los servidores sí puede suponer un problema.

En base a estos resultados parece razonable estimar que si se implementa ALR en entornos residenciales se podría lograr que las tarjetas de red pasasen al menos el 90% del tiempo configuradas a 10Mbps. En la Tabla I se muestran unas estimaciones de consumo basadas en datos de diferentes fabricantes para los dispositivos de nivel físico de Ethernet para las diferentes velocidades. En base a estos datos se obtendrían los ahorros que se muestran en la Tabla II. Se puede observar que aún en este supuesto conservador los ahorros son muy importantes.

Tabla I Consumo de los dispositivos Ethernet según la velocidad

Velocidad (en Mbps)	Consumo energético (en mW)
10	80
100	250
1000	750

Tabla II Ahorro en el consumo de los dispositivos Ethernet según la velocidad

Tipo de Tarjeta de Red	Ahorro	Ahorro en Porcentaje
10/100Mbps	153 mW	61,2%
10/100/1000Mbps	603 mW	80,4%

En realidad, como el consumo se reduce también en el dispositivo Ethernet del conmutador, el ahorro sería el doble.

Si ahora suponemos un uso de 4 horas al día tendríamos un ahorro de $4h \cdot 365 \cdot 0.603 \text{Wattios} \cdot 2 = 0.44 \text{ Kwh}$ al año en el primer caso y de 2 Kwh en el segundo. Aunque estos números parezcan pequeños hay que tener en cuenta que hay millones de ordenadores con tarjetas Ethernet en los que se pueden conseguir estos ahorros, y que por lo tanto el ahorro total es significativo. Por ejemplo, para un millón de ordenadores, el ahorro sería de 2Gwh al año. Teniendo en cuenta que se venden más de cien millones de ordenadores con tarjetas de red al año y que la base instalada sea probablemente del orden de mil millones de ordenadores, vemos que los ahorros que se pueden conseguir son muy significativos.

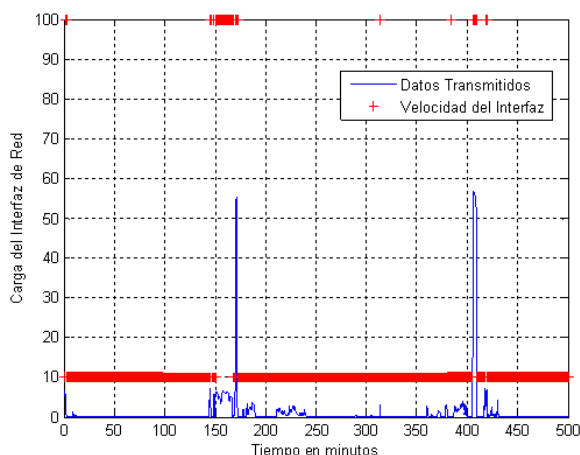


Fig. 2: Ejemplo de un usuario residencial conectado con una tarjeta Ethernet 10/100 que puntualmente realiza transferencias de ficheros en su LAN.

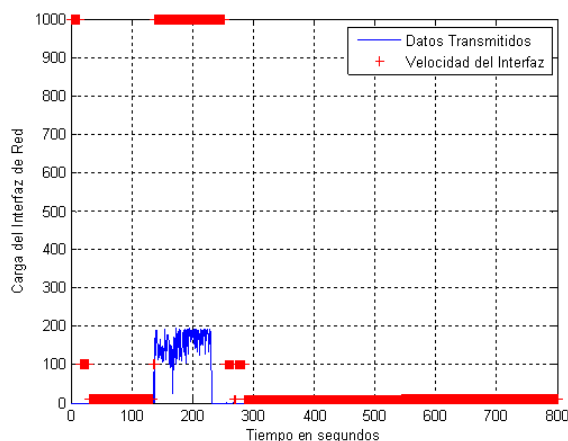


Fig. 3: Ejemplo de un usuario residencial conectado con una tarjeta Ethernet 10/100/1000 que puntualmente realiza transferencias de ficheros en su LAN.

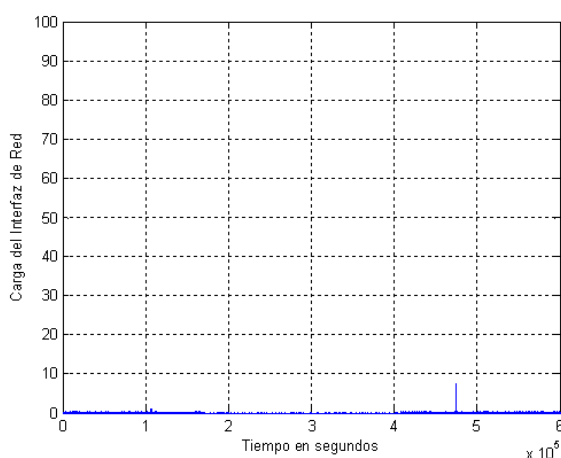


Fig. 4: Medidas de Tráfico en un servidor de Gestión de Red.

V. CONCLUSIÓN

En este artículo se ha presentado una implementación de la adaptación automática de velocidad para conseguir un ahorro energético en equipos de comunicación a través de redes Ethernet. Esta propuesta proporcionará resultados inmediatos y puede servir de alternativa al estándar Energy Efficient Ethernet de IEEE 802.3 hasta que éste se implemente de manera definitiva, lo que llevará varios años.

Con la implementación se ha demostrado que es posible conseguir unos porcentajes de ahorro muy interesantes, de hasta un 80%. Esto no sólo supone un ahorro energético sino una reducción considerable en los costes económicos. Dicha disminución se ha conseguido modificando la velocidad de transmisión de la tarjeta de red para que se adapte al uso de la interfaz en cada instante de tiempo. De esta manera, el coste asociado a mantener activa la tarjeta de red a una velocidad elevada se reduce, aprovechando al máximo la capacidad de comunicación del equipo en cada momento. Los resultados presentados en base a pruebas realizadas en un entorno residencial son en principio aplicables también a los ordenadores de usuario de las PYMES, salvo que utilicen aplicaciones críticas que no toleren los cambios de velocidad.

REFERENCIAS

- [1] M. Gupta and S. Singh "Greening of the Internet" Proc. of ACM SIGCOMM pp 19-26, August 2003.
- [2] C. Gunaratne, K. Christensen, B. Nordman and S. Suen "Reducing the Energy Consumption of Ethernet with Adaptive Link Rate (ALR)" IEEE Transactions on Computers, vol. 57, issue 4, April 2008, pp.: 448 – 461.
- [3] IEEE P802.3az Energy Efficient Ethernet Task Force (<http://grouper.ieee.org/groups/802/3/az/public/index.html>)
- [4] P. Reviriego, J.A. Hernández, D. Larrabeiti, J.A. Maestro, "Performance Evaluation of Energy Efficient Ethernet", IEEE Communications Letters, vol 13, issue 9, September 2009, pp. 697-699.
- [5] Presentación Short Haul 10Gbps Ethernet Copper PHY Call for Interest, IEEE 802.3, 14-18 de Noviembre de 2005.
- [6] Howard Frazier y Pat Thaler. Presentación "EEE transition time constraints", IEEE 802.3, 29 de Mayo de 2007.
- [7] M. Bennett "Server Bandwidth Utilization Plots" presentation at IEEE 802.3, March 2007 meeting.