

Ethernet en subestaciones eléctricas



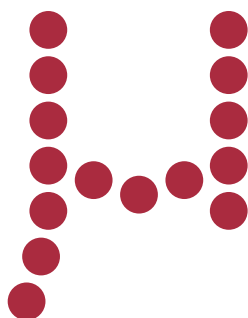
Latencia en redes Ethernet



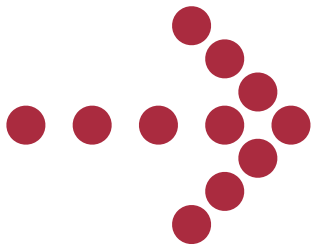
Esta nota de aplicación trata sobre la latencia de las comunicaciones que se desarrollan sobre redes Ethernet.

En ella se exponen métodos para lograr que la latencia de la red de una subestación sea predecible y controlada.

Por todo lo anterior, lo aquí descrito es necesario para cumplir los requisitos que el estándar IEC61850 impone a los elementos de comunicaciones de una subestación eléctrica.



µSysCom



F

ruto de distintas iniciativas a nivel internacional en el área de la automatización de procesos en las subestaciones eléctricas, se detectó la necesidad de un estándar internacional que permitiera la interoperabilidad de los equipos electrónicos inteligentes (IEDs) de distintos fabricantes. Para ello se ha desarrollado el estándar IEC61850, que define los sistemas y redes de comunicaciones a emplear en la automatización de subestaciones eléctricas. Dicho estándar trata con detalle todos los aspectos relacionados con las comunicaciones entre los distintos IEDs.

La tecnología de red que se ha elegido para interconectar los distintos elementos es Ethernet. Las ventajas que ofrece son evidentes: es una tecnología madura, con un coste relativamente bajo y un nivel de prestaciones (capacidad y latencias) que pueden ser adecuadas para los requisitos de una subestación, siempre que se tengan en cuenta una serie de consideraciones.

Esta nota de aplicación trata sobre la latencia de las comunicaciones que se desarrollan sobre redes Ethernet, y expone métodos para lograr que la latencia de la red de una subestación sea predecible y controlada. Esto es necesario para cumplir los requisitos que el estándar IEC61850 impone a los elementos de comunicaciones de una subestación eléctrica.

La latencia de un switch y el estándar IEC-61850

La norma IEC61850 [1] establece que el tiempo de transferencia de un mensaje no debe superar un valor máximo, en función de su prioridad. Algunos de ellos, como por ejemplo los mensajes tipo I (órdenes de disparo y reenganche, entre otros), requieren que el tiempo máximo no supere los 3 milisegundos.

El tiempo de transferencia se define como la suma del tiempo de procesado del stack de comunicaciones del dispositivo emisor del mensaje (t_a), el tiempo de transmisión por la red (t_b), y el tiempo de procesado del stack de comunicaciones del dispositivo receptor del mensaje (t_c). Por otra parte, la norma IEC61850 especifica que los tiempos t_a y t_c no pueden superar el 40% del tiempo total de transmisión [2]. Esto determina que la latencia de la infraestructura de red de la subestación, t_b , no puede superar el 20% del tiempo de transmisión. Por tanto, el tiempo total de comunicación debe ser inferior a 600 microsegundos (caso más restrictivo).

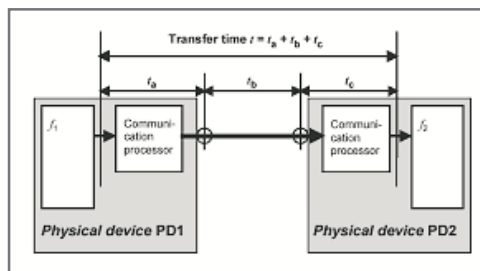


Figura 1. Tiempo de transferencia de mensajes según el estándar IEC61850

El tiempo t_b incluye los retardos provocados por los equipos de comunicaciones (switches) y los tiempos de propagación de las tramas por el medio de comunicación (cables, fibras...).

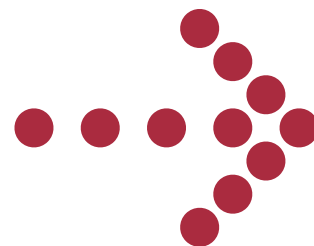
Por otra parte, las pruebas de homologación funcional IEC61850 para switches incluyen tests de verificación de la latencia de transmisión en presencia de tráfico de distintas prioridades (por ejemplo mensajes GOOSE de alta prioridad en presencia de tráfico de baja prioridad), y comprobaciones de que no se producen pérdidas de paquetes en diversas circunstancias de tráfico y topologías de red.

El largo camino de una trama desde el origen hasta el destino

Cuando un dispositivo transmite una trama ethernet, hay dos causas que hacen que la trama tarde un tiempo determinado en llegar a su destino (se entiende que la comunicación se lleva a cabo utilizando un switch, por lo que el medio físico no está compartido, al contrario que con un hub), y por lo tanto contribuyen al parámetro t_b del punto anterior.

La propagación física de las señales por el medio. Bien se utilice un medio eléctrico (cable de pares de cobre trenzados) u óptico (fibra óptica de plástico o vidrio), las señales tardan en propagarse un tiempo proporcional a la longitud recorrida e inversamente proporcional a la velocidad de propagación. Como ejemplo, un latiguillo de cable tipo CAT-6 tiene un retardo de propagación de unos 5 nanosegundos por metro. Con las distancias habituales dentro de una subestación, el retardo total no supera unos cientos de nanosegundos, y es despreciable.

El tiempo que tarda la trama en "atravesar" el switch. Los switches actuales funcionan en modo "store & forward", esto es, reciben completamente la trama, la analizan, la encaminan al puerto correspondiente, y la vuelven a poner en el cable de salida. El retardo que se acumula depende de las prestaciones del switch, de la velocidad de los puertos involucrados, del nivel de tráfico que posea en ese momento el switch... lo que puede dar lugar a resultados en el orden de pocos microsegundos a cientos de milisegundos.





Propagación por el medio

En ausencia de otros dispositivos de red, podemos considerar que el elemento de red más simple sería un cable que conectara directamente el origen y el destino. Así se puede calcular el tiempo mínimo t_b que la trama ocupa en el cable. Este tiempo es igual al número total de bytes de la trama más los preámbulos (64 bits), por el tiempo de bit (dependiente de la velocidad de transmisión). A esto hay que sumarle el espacio mínimo que hay que dejar entre trama y trama ("interframe gap"), que dura el tiempo de 96 bits. Por tanto una trama de 64 bytes ocupa:

 A 10Mbps: $672 \text{ bits} \times 100 \text{ ns/bit} = 67.2 \text{ ms}$.

 A 100Mbps: $672 \text{ bits} \times 10 \text{ ns/bit} = 6.72 \text{ ms}$.

 A 1Gbps: $672 \text{ bits} \times 1 \text{ ns/bit} = 672 \text{ ns}$.

Tal como se ha analizado en el apartado anterior, la velocidad de propagación de las señales eléctricas por un cable ethernet tipo CAT-6 es de unos 5 nanosegundos por metro. Por tanto este valor es muy bajo y no se analiza en la presente nota de aplicación. Sí es importante en enlaces trunk que tengan longitudes del orden de kilómetros, ya que en ese caso la latencia debida a la propagación será superior al tiempo de la trama en el cable.

Atravesando el switch


Al tiempo de retardo obtenido en el apartado anterior hay que sumarle, por tanto, la latencia introducida por el switch. Para ello es preciso aclarar la definición de latencia que se va a emplear de aquí en adelante, y que se detalla en el párrafo siguiente.









Para los dispositivos store & forward (como los switches de uSysCom), la RFC1242 define la **latencia** como el **tiempo transcurrido desde que el último bit de la trama llega al puerto de entrada del switch, hasta que el primer bit de la trama aparece por el puerto de salida** [3]. Así se independiza el valor de la latencia de la longitud de la trama. Ésta es la definición estándar de latencia. También se le puede añadir el tiempo de trama al retardo introducido por el tiempo de procesado del switch, con lo que se computaría el parámetro t_b del apartado anterior. Para ello habría que sumar a la latencia así definida el tiempo de trama (número de bits de la trama \times tiempo de bit a la velocidad de trabajo).





Conviene analizar detalladamente todas las etapas de las que consta un switch ethernet actual, para tener una idea de la complejidad de este tipo de dispositivos.







El trayecto se puede dividir en tres etapas:

 **Etapas de entrada.** Cada trama que entra a un puerto por el cable o fibra atraviesa las siguientes etapas:




-  Driver de capa física (PHY).
-  Control de Acceso al Medio (MAC).
-  Gestión del control de flujo en recepción.
-  Colas de los puertos de entrada.
-  Gestión de agregación de puertos en recepción.
-  Filtrado de VLANs.
-  Obtención de los puertos de destino.
-  Colas de entrada a la etapa de conmutación.

 **Etapas de conmutación.** Todos los puertos de entrada y los de salida están conectados por una matriz de conmutación del tipo memoria compartida ("shared memory"). Las tramas de los puertos de entrada se almacenan en la memoria con la información de los puertos de destino, y después se encaminan a ellos, vaciando la memoria correspondiente. Además la etapa de conmutación implementa políticas de prioridad, para dar salida con mayor velocidad a aquellas tramas que tengan un nivel de prioridad mayor.

 **Etapas de salida.** Esta etapa es similar a la de entrada, en sentido inverso. Se puede resumir en los siguientes pasos:

-  Procesado de las tramas según las reglas de salida.
-  Gestión y scheduler de las colas de salida.
-  Gestión de agregación de puertos en transmisión.
-  Gestión del control de flujo en transmisión.
-  Control de Acceso al Medio (MAC).
-  Driver de capa física (PHY).

Hay que destacar que normalmente en un switch todas estas operaciones tienen lugar secuencialmente en el orden especificado. Por tanto es de esperar que diversos aspectos como:

-  El incremento de tráfico en los puertos.
-  La necesidad de procesado (listas de MACs, acceso de VLANs, prioridades...)
-  La agrupación de puertos

ocasionen aumentos perceptibles de la latencia de las tramas al atravesar el switch.

Análisis de la latencia para distintas implementaciones

uSysCom ha realizado un análisis de la latencia de sus switches al ser sometidos a distintos tipos de tráfico, con el objetivo de poder analizar el comportamiento de los equipos, y así poder obtener conclusiones sobre las configuraciones más idóneas. Para ello se han realizado pruebas utilizando uno o varios flujos de tramas que compiten por los recursos comunes del switch, y asignando prioridades por puerto y por tags VLAN.

La primera prueba (puertos dedicados) analiza el comportamiento de la latencia del tráfico de acceso dentro del switch (tráfico con origen y destino en la misma caseta, y que por tanto no atraviesa los puertos trunk).

En el resto de pruebas se analiza el caso del tráfico que va desde las casetas al edificio central de la subestación, y que por tanto atraviesa los puertos trunk. La topología seleccionada en este caso es una estrella, que minimiza el número de "hops" o saltos que tienen que realizar las tramas entre el origen y el destino, y por tanto resulta en una latencia menor. El ancho de banda de estos enlaces no es suficiente para cursar el tráfico de todos los puertos de acceso al 100% de ocupación, por lo que es un escenario adecuado para analizar el resultado de políticas de prioridad en el funcionamiento del switch.

Estas pruebas se han llevado a cabo utilizando un switch 3SWT de uSysCom con 12 puertos 100BaseTx, 4 puertos 100BaseFx y 2 puertos gigabit ethernet (módulos SFP). Como equipo de test se ha empleado un analizador Smartbits de Spirent Communications.



Puertos dedicados

En primer lugar se ha realizado una prueba en la que varios flujos de tramas ethernet entran por un puertos de acceso del switch y salen por otro distinto, también de acceso, de forma que cada flujo tiene a su disposición todos los recursos del puerto de entrada y de salida (los flujos no se mezclan). El único recurso que es utilizado por todos los flujos es la matriz interna de conmutación. Pero como la arquitectura interna del switch es no bloqueante ("wire-speed"), el ancho de banda de la matriz de conmutación es suficientemente grande como para permitir que todos los puertos funcionen al 100% simultáneamente.

Los flujos definidos son los siguientes:

Flujo del puerto 3 al puerto 4 del switch.

Flujo del puerto 5 al puerto 6 del switch.

Flujo del puerto 13 al puerto 14 del switch.

Debe notarse que en este caso no se emplea ningún mecanismo de prioridad, ya que al ser cada flujo independiente de los demás y no compartir puertos, no aportaría ninguna ventaja. Utilizando tamaños de trama de 64 y 1518 bytes, y variando el volumen de cada flujo entre el 50% y 100%, con duraciones de los flujos de 10 segundos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Latencia (µs)	P3 al P4 100BaseTx	P5 al P6 100Base Tx	P13 al P14 100Base Fx
64 bytes / 50%	3,0	3,5	3,1
64 bytes / 60%	3,5	3,2	3,4
64 bytes / 70%	3,0	3,0	3,1
64 bytes / 80%	3,2	3,2	3,4
64 bytes / 90%	3,2	3,6	2,8
64 bytes / 100%	3,7	3,7	3,7
1518 bytes / 50%	3,4	3,2	3,2
1518 bytes / 60%	3,0	2,8	3,0
1518 bytes / 70%	3,1	3,0	3,3
1518 bytes / 80%	3,1	3,6	3,4
1518 bytes / 90%	3,2	3,2	3,3
1518 bytes / 100%	3,7	3,7	3,7

Tabla 1. Valores de latencia obtenidos con flujos separados.

Como puede verse en la tabla 1, los valores de latencia son menores a 4 microsegundos para todos los flujos de los puertos ethernet y para todos los niveles de tráfico analizados. En la prueba no se produjo la pérdida de ninguna trama, por lo que se puede asegurar que los puertos de acceso del 3SWT son "full wire-speed".



Tráfico concurrente – Prioridad por puerto




En este caso se representa una topología muy habitual en las redes de comunicaciones. Hay 5 flujos que entran al switch por 5 puertos diferentes (puertos de acceso), y todos se dirigen al mismo puerto trunk de salida. Como todos los puertos son Fast Ethernet (100Mbps), a partir de un 20% de tráfico de entrada se satura el puerto de salida, y se empiezan a perder tramas.

Esta configuración, con un puerto trunk y 5 de acceso, todos ellos 100BaseTx, puede no ser lógica desde el punto de vista del dimensionamiento del puerto trunk, ya que si el tráfico de todos los puertos puede tener niveles elevados y relativamente constantes, sería más lógico dimensionar el ancho del banda del trunk de acuerdo a la regla del "2+25%" (el ancho de banda de dos enlaces, más el 25% del resto, en este caso $2 \times 100\text{Mbps} + 0,25 \times 3 \times 100\text{Mbps} = 275\text{Mbps}$) [4]. Sin embargo sí podría ser útil en un escenario en el que la utilización por puerto sea baja, y por tanto se ha elegido para ilustrar el comportamiento de la priorización por puerto del switch.

De esta manera, puede favorecerse un tráfico en particular, empleando el mecanismo de prioridad por puerto. Así, al tráfico que entra por cada puerto se le asigna una prioridad dada, y el switch internamente reserva un porcentaje del throughput para el tráfico de mayor prioridad (si está presente).

Por tanto, puede otorgarse una prioridad alta al tráfico que entra por un puerto (que se comunica con un dispositivo especialmente importante) y asegurar que ese tráfico encontrará espacio en el puerto de salida.

Para comprobarlo, se han creado los siguientes flujos (el puerto 8 es el trunk):

-  Flujo del puerto 3 al puerto 8 del switch.
-  Flujo del puerto 4 al puerto 8 del switch.
-  Flujo del puerto 5 al puerto 8 del switch.
-  Flujo del puerto 6 al puerto 8 del switch.
-  Flujo del puerto 7 al puerto 8 del switch.

El 3SWT posee tres distintos niveles de prioridad. Todos los puertos de acceso tienen el nivel de prioridad más bajo (1) excepto el puerto 7, que tiene la prioridad más alta (3).



En la siguiente gráfica se pueden observar los resultados obtenidos, para un tamaño de trama de 64 bytes y un tráfico variable entre el 10% y el 100%.

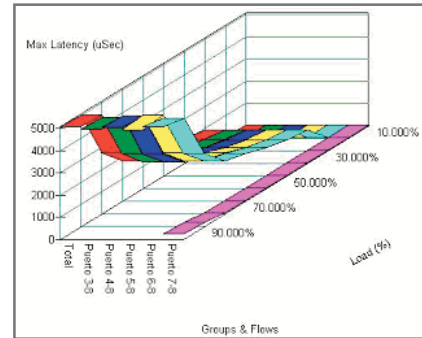


Figura 2. Latencia para distintas prioridades por puerto.

La latencia para el flujo entre los puertos 7-8 (alta prioridad) permanece estable en torno a los 16 microsegundos, hasta que el tráfico alcanza el 80%. Esto es así porque el switch reserva en este caso el 80% del throughput al tráfico de alta prioridad, como se puede ver en el gráfico de tramas perdidas correspondiente al mismo caso:

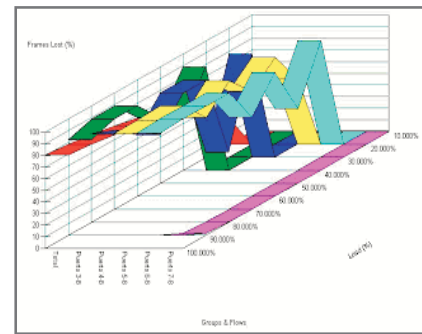


Figura 3. Tramas perdidas para distintas prioridades por puerto.

En los puertos de baja prioridad se empiezan a perder tramas una vez que el tráfico ofrecido al puerto de salida supera su capacidad ($5 \times 20\% = 100\%$). Para tráficos por debajo del 20%, la latencia es similar a la del tráfico de alta prioridad. Cuando el tráfico crece y se comienza a descartar tramas, el valor de la latencia no es representativo. Por otra parte, la variación de la latencia (jitter) es muy pequeña en el puerto de alta prioridad, mientras se encuentra por debajo de la zona de congestión (80%). Sin embargo, en los flujos de baja prioridad, como los paquetes pasan en función de la disponibilidad de los recursos en el momento de su llegada, el jitter de la latencia es alto a partir de cuando se alcanza la tasa máxima de tráfico sin pérdida de tramas (20%). Por tanto la priorización por puerto es un mecanismo muy efectivo cuando se quiere dar más prioridad al tráfico proveniente de un equipo en concreto, sin discernir su tipo. También hay que tener en cuenta que la prioridad es efectiva en la medida en que el tráfico con prioridad represente sólo una fracción del throughput disponible [5].

Tráfico concurrente – Prioridad por VLAN

Un caso muy habitual en redes de subestación es aquel en el que el tráfico está separado en distintas VLANs, que pueden ir a diferentes casetas. Por ejemplo, puede haber una VLAN para la información crítica de control, otra para voz sobre IP, y otra para los datos de propósito general.

En la figura 4 se representa un ejemplo de red ethernet en una subestación. Se han definido tres VLAN diferentes. La VLAN 1 representa una VLAN de control que va desde el puesto de mando del edificio central a los relés de conmutación de las casetas. La VLAN 3 conecta los teléfonos IP repartidos por las casetas para comunicarse con el puesto central, y la VLAN 2 agrupa al tráfico de propósito general existente en la red.

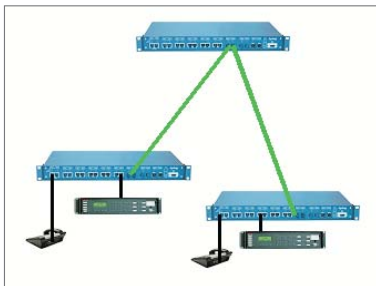


Figura 4. Ejemplo de red de subestación.

Para realizar una prueba de este escenario, se han definido varios flujos, englobados en tres VLANs: una de prioridad baja (la 1), otra de prioridad media (la 3) y otra de prioridad alta (la 2). En concreto, son los siguientes (el puerto 6 es el trunk):

- Del puerto 1 al puerto 6, con tag VLAN 1.
- Del puerto 2 al puerto 6, con tag VLAN 2.
- Del puerto 3 al puerto 6, con tag VLAN 2.
- Del puerto 4 al puerto 6, con tag VLAN 3.
- Del puerto 5 al puerto 6, con tag VLAN 3.

Cada categoría de prioridad tiene reservado el siguiente ancho de banda de salida:

- Prioridad alta: hasta el 60%.
- Prioridad media: hasta el 30%.
- Prioridad baja: hasta el 10%.

Por tanto, el puerto 6 representaría el trunk (enlaces en verde) de la caseta con el edificio central de la subestación, y el resto son puertos de acceso. En la siguiente gráfica se recogen los resultados obtenidos para un tamaño de trama de 64 bytes, y un tráfico creciente del 10% al 100%.

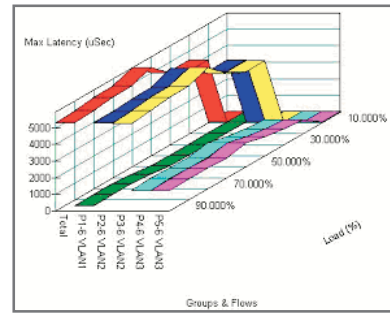


Figura 5. Latencia para distintas prioridades por VLAN.

Como se puede ver en la figura 5, la latencia de las tramas pertenecientes a la VLAN 1 (alta prioridad) es baja y se mantiene en torno a 16 microsegundos hasta que el tráfico supera el 60% del caudal del puerto de salida, que es el tráfico máximo asegurado para la máxima prioridad. Hay que destacar que la latencia de los flujos de la VLAN 3 (prioridad media) es significativamente menor que la de los flujos de prioridad baja (VLAN2), a pesar de que a partir del 20% de tráfico se pierde un número significativo de tramas, como puede verse en la figura 6.

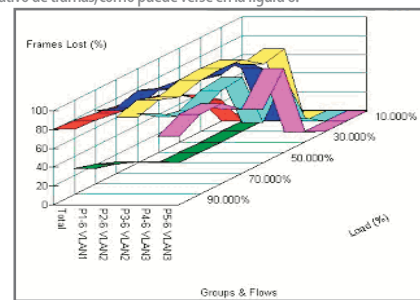


Figura 6. Tramas perdidas para distintas prioridades por VLAN.

También se ha comprobado que, en los flujos con alta prioridad, antes de saturarse los enlaces, el jitter de la latencia es muy reducido (del orden de un 10% de la latencia total).

Se puede apreciar que con la configuración seleccionada, apenas queda ancho de banda disponible para el tráfico de baja prioridad, una vez que el tráfico de más prioridad crece. Por tanto se puede aplicar la misma conclusión del caso anterior.








Algunos problemas comunes

Offset de los relojes

Si un switch transmite tramas a mayor velocidad de reloj de la que utiliza el dispositivo que recibe las tramas, este último tendrá que descartar las tramas o bien almacenarlas. Cuanto más larga sea la secuencia de tramas que se transmitan a alta velocidad, mayor deberá ser el espacio de almacenamiento disponible para el exceso de tramas. Esto es un problema en los interfaces gigabit ethernet, ya que se transmite mucha información y el espacio de almacenamiento requerido puede ser considerable [6]. La norma 802.3z especifica que el reloj utilizado en los interfaces ethernet puede tener una tolerancia de ± 100 ppm (partes por millón). En el peor caso, esto implica que un switch podría recibir paquetes por un puerto a $+100$ ppm, y tener que transmitirlos por otro puerto a -100 ppm.

Como ejemplo, tomando en consideración tramas de 64 bytes, con un preámbulo de 64 bits, y un espaciado entre tramas equivalente a 12 bytes, se obtienen los siguientes resultados para un interfaz gigabit:

-  Tramas transmitidas (reloj exacto): 1.488.095,238 tramas/segundo.
-  Tramas transmitidas (reloj $+100$ ppm): 1.488.244,048 tramas/segundo.
-  Tramas transmitidas (reloj -100 ppm): 1.487.946,428 tramas/segundo.

Esto quiere decir que el switch tendría que almacenar, por cada pareja de interfaces gigabit ethernet funcionando al 100% de capacidad, 297,619 tramas por segundo (aproximadamente 19Kbytes/seg). Esto puede ser un problema cuando se produzcan bursts de larga duración, ya que se pueden producir desbordamientos en los buffers de salida en cuestión de segundos.




Una forma de eliminar este problema es dimensionar el sistema de forma que los interfaces gigabit ethernet no estén sometidos a congestiones de tráfico de forma prolongada, o bien duplicar la capacidad utilizando mecanismos como la agregación de puertos.



Criterios de priorización del tráfico

Como los recursos de red son finitos, es preciso administrarlos cuidadosamente para que aquellas aplicaciones que realmente precisan la prioridad sean las que la obtengan. Una máxima del entorno de la gestión de redes dice que “si todo el mundo tiene prioridad, en realidad nadie la disfruta” [7]. Por tanto es preciso clasificar el tráfico en función de sus características y realizar una asignación de prioridades acorde. Lógicamente este esquema debe ser estudiado para cada caso concreto.

El equipo 3SWT de uSysCom ofrece al usuario tres niveles distintos de prioridad. Para el entorno de una subestación eléctrica, una posibilidad de implementación de prioridades podría ser la siguiente:

-  Con prioridad máxima, el tráfico de gestión de la red y los equipos que la componen (SNMP...).
-  Con prioridad media, el tráfico de aplicación de alta prioridad (funciones que requieran latencias mínimas y en las cuales la pérdida de paquetes no sea aceptable).
-  Con prioridad mínima, el resto del tráfico (se cursa en la medida en la que haya recursos disponibles).

Se entiende la necesidad de adjudicar la máxima prioridad a la gestión de la red, ya que si ocurre algún problema el administrador de la red debe ser capaz de acceder y reconfigurar los equipos. Por otra parte, es muy aconsejable ajustar el ancho de banda reservado a cada nivel de prioridad a las características específicas de la instalación, de forma que no se desaproveche ancho de banda. Normalmente el tráfico de gestión tiene un volumen pequeño.

Al tráfico de aplicación especialmente importante (en una subestación, por ejemplo, mensajes tipo I) se le puede dar la categoría de prioridad intermedia. Si hubiera un tráfico con cierta prioridad y un volumen grande de datos, se recomienda aumentar el ancho de banda disponible (paso a gigabit ethernet, agregación de puertos), ya que para que la prioridad obtenga los resultados deseados es preciso que el tráfico prioritario no sea el mayoritario.

Por último, el resto del tráfico lo compone el generado por aquellas aplicaciones que no son críticas en cuanto a latencia y que poseen mecanismos en las capas superiores de protocolos que permitan la recuperación de las tramas perdidas.

Referencias

- [1] "IEC61850-5, Communication networks and systems in substations. Part 5, Communication requirements for functions and device models". IEC, 2003.
- [2] "IEC61850-10, Communication networks and systems in substations. Part 10, Conformance Testing". IEC, 2005.
- [3] "RFC1242, Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices", IETF, 1991.
- [4] Dooley, K. "Designing Large-Scale LANs", O'Reilly, 2001.
- [5] Ma, A. "Multilayer Switch Testing and Analysis", Spirent Communications, 2003.
- [6] "Smartbits System Reference", Spirent Communications, 2004.
- [7] Seifert, R. "The Switch Book". John Wiley & Sons, 2000.

Autor

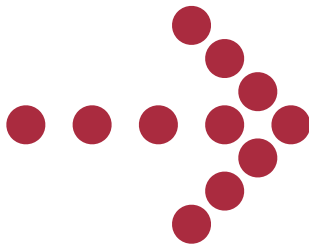


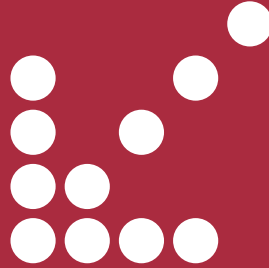
Aitor Arzuaga Munsuri

Nacido en 1975, es Ingeniero de Telecomunicación en la especialidad de Radiocomunicaciones por la ETSIIIT de Bilbao.

En los últimos 7 años ha participado y liderado el desarrollo de productos de comunicaciones utilizando diversas tecnologías, tanto inalámbricas (GSM, GPRS, GPS, Bluetooth, Wireless Lan) como alámbricas (Ethernet, buses de campo). Es especialista en el diseño de electrónica para comunicaciones.

Actualmente es responsable de proyectos del área de productos de networking de uSysCom, y ha realizado varias publicaciones sobre la aplicación de las tecnologías de comunicaciones al entorno industrial y la robustez en equipos de comunicaciones.





Spain

Headquarters:

Parque Tecnológico, 210
48170 Zamudio, Vizcaya, España
Tel.: +34 94 452 20 03
Fax: +34 94 452 21 40
<http://www.ziv.es>

Madrid:

Avda. Via Dos Castillas 23, Chalet 16
28224 Pozuelo de Alarcón, Madrid, España
Tel.: +34 91 352 7056
fax: +34 91 352 6304

Barcelona:

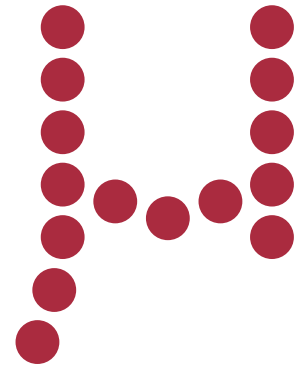
Biscaia, 383
08027 Barcelona, España
Tel.: +34 93 349 0700
Fax: +34 93 349 2258

U.S.A. and Canada:

2340 Des Plaines River Road
60018 Des Plaines, Chicago, Illinois
Tel.: +1 847 299 65 80
Fax: +1 847 299 65 81

Brazil:

Rua Dr. Carlos Maximiliano, 18
24120-000 Fonseca, Niteroi, Rio de Janeiro
Tel.: +55 21 27 29 0170
Fax: +55 21 26 20 2398



<http://www.usyscom.com>



uSysCom continually strives to improve the quality and performance of its products and services. Consequently, technical information contained in this document is subject to change without prior notice.

For other locations, please consult uSysCom website in order to locate the best authorized distributor to serve your country.