



El servicio de teleprotección sobre los nuevos canales de comunicación

David Gil Donate, Marco Senesi Ranaldi

ZIV C\Ciències 149-151 08908 Hospitalet de Llobregat, España

RESUMEN

En los últimos tiempos las tecnologías empleadas en las comunicaciones entre subestaciones eléctricas han evolucionado. Durante muchos años han predominado los sistemas basados en conmutación de circuitos, pero a raíz de la obsolescencia de los equipos empleados, las tecnologías utilizadas (SDH, y anteriormente PDH) se han ido paulatinamente reemplazando por nuevas tecnologías basadas en conmutación de paquetes. Esto conlleva un cambio radical en las comunicaciones: ya no se utiliza una multiplexación determinista, sino que se pasa a un modelo estadístico. En las redes basadas en datagramas ya no se puede asegurar *a priori* ni el orden ni el tiempo en el que se recibe la información, ambos parámetros fundamentales para el servicio de teleprotección. Esta dispersión en los tiempos de transmisión de las tramas de teleprotección dificulta enormemente el cumplimiento de los requerimientos de la norma IEC 60834-1 anteriormente mencionados y que, lógicamente, son independientes del sistema de comunicaciones empleado.

Los interfaces “*legacy*”, junto con el uso de MPLS definiendo circuitos virtuales y la asignación de alta prioridad a los paquetes contenientes la información de teleprotección, ayuda a cumplir los mencionados requerimientos. Pero queda patente la necesidad de cambios tanto en la estructura de la trama en la que se codifica la información de teleprotección como en la estrategia de transmisión y en los interfaces de línea, para adaptarse completamente al nuevo soporte de comunicaciones.

Equipos con estas nuevas características permitirán aprovechar todo el potencial de las redes de conmutación de paquetes, permitiendo llevar el servicio de teleprotección a lugares antes difícilmente accesibles con los equipos de conmutación de circuitos, como quedó demostrado en varias instalaciones en Francia a las que se accedía mediante tecnologías 5G o DSL.

© 2024 Universidad Autónoma de Nuevo León. Todos los derechos reservados

En los últimos tiempos las tecnologías empleadas en las comunicaciones entre subestaciones eléctricas han evolucionado. Durante muchos años han predominado los sistemas basados en conmutación de circuitos pero, a raíz de la obsolescencia de los equipos empleados y las tecnologías utilizadas (SDH, y anteriormente PDH), éstos se han ido paulatinamente sustituyendo por nuevos sistemas basados en conmutación de paquetes.

Las redes MPLS malladas están reemplazando a los anillos SDH, lo cual conlleva un cambio radical en las comunicaciones: ya no se utiliza una multiplexación determinista, sino que se pasa a un modelo estadístico. En las redes basadas en datagramas ya no se puede asegurar *a priori* ni el orden ni el tiempo en el que se recibe la información, parámetros ambos fundamentales para el servicio de teleprotección.

La ventaja reside en la facilidad con la que se pueden transmitir entre subestaciones otros servicios Ethernet, menos exigentes con respecto a estos parámetros, aprovechando una amplia gama de

tecnologías de bajo coste como 5G o DSL, incluso suministradas por terceros^[1].

Hasta ahora los equipos de teleprotección se habían desarrollado para adaptarse lo mejor posible a los canales de comunicación más utilizados, es decir los basados en conmutación de circuitos. Éstos permitían enviar en permanencia y con una cadencia fija tramas con la información de teleprotección diseñadas para asegurar, en esas condiciones, los valores de seguridad (probabilidad de no recibir falsas órdenes), obediencia (probabilidad de no perder órdenes) y máximo tiempo de transmisión requeridos por el servicio y especificados en la norma IEC 60834-1 (ver [Tabla 1](#)).

Dependiendo del sistema de comunicaciones, además, el equipo de teleprotección debía disponer del interfaz adecuado para transmitir dichas tramas a través de éste (G.703.6, G.703.1, C37.94, fibra óptica directa, etc.).

Con la llegada de las nuevas redes de conmutación de paquetes, a pesar de que la mayoría de ellas disponen de interfaces “*legacy*” para transportar servicios no Ethernet, surgió el problema de la dispersión en los tiempos de transmisión de las tramas de teleprotección, dificultando enormemente el cumplimiento de los requerimientos de la norma IEC 60834-1 anteriormente mencionados y que, lógicamente,

Correo electrónico: david.gil@zivautomation.com (David Gil Donate)

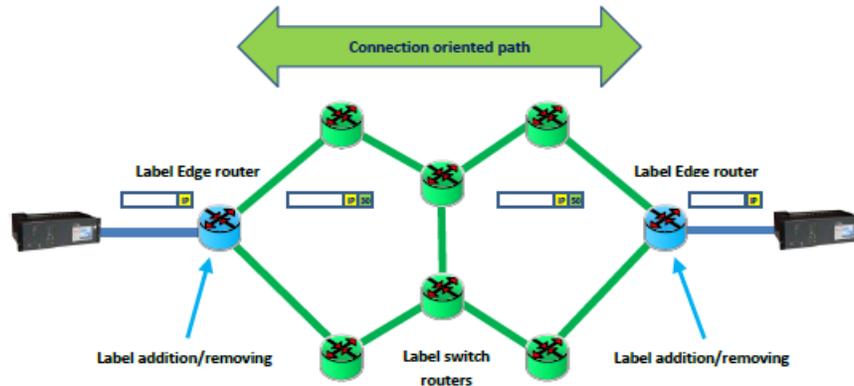


Fig. 1. Ejemplo de red MPLS.

Tabla 1. Requerimientos definidos en la norma IEC 60834-1 para una BER de 10^{-6} .

Esquema de protección	Tiempo de transmisión, T_{ac} (ms)	Obediencia, $P(uc)$	Seguridad, $P(mc)$
Bloqueo	< 10	< 10^{-3}	< 10^{-4}
Subalcance permisivo	< 10	< 10^{-2}	< 10^{-7}
Sobrealcance permisivo	< 10	< 10^{-3}	< 10^{-7}
Directo	< 10	< 10^{-4}	< 10^{-8}

son independientes del sistema de comunicaciones empleado.

La posibilidad en redes MPLS de definir circuitos virtuales, junto con la de asignar prioridades a distintos tipos de tráfico y servicios, ayuda a cumplir los mencionados objetivos establecidos en la norma IEC 60834-1. Esto conlleva a la necesidad de un estudio de las necesidades de ancho de banda de los servicios de teleprotección con el fin de definir adecuadamente la capacidad de los circuitos virtuales que los soportan y evitar de esta manera posibles congestiones aún teniendo asignada la máxima prioridad.

Por otra parte, y debido a la gran cantidad de equipos de teleprotección instalados, la transición a redes MPLS de este servicio en muchas ocasiones se realiza aprovechando los interfaces síncronos (G.703 y C37.94) de los que suelen disponer los equipos MPLS, evitando de esta manera realizar cambios en los equipos de teleprotección. Esto implica que la información de teleprotección recibida por dichos puertos síncronos debe ser paquetizada asincrónicamente y empaquetada en tramas Ethernet para poder ser transmitida a través de la red MPLS (ver Fig. 1). Y en el puerto de destino debe llevarse a cabo el proceso inverso, con el consiguiente incremento del tiempo de transmisión debido a estas operaciones.

Y aunque generalmente dicho incremento en el tiempo de transmisión suele ser aceptable, queda patente que una completa integración del servicio de teleprotección en redes de conmutación de paquetes requiere de cambios en los interfaces de línea de los equipos y en la estructura de la trama en la que se codifica la información de teleprotección para adaptarse completamente al nuevo soporte de transmisión que, como ya se ha dicho, no proporciona canales

dedicados y deterministas, sino compartidos y estadísticos. Y esto último influye en gran manera sobre los valores de obediencia y tiempo de transmisión.

Como ejemplo, pruebas de transmisión de teleprotección a través de 16 nodos MPLS-TP realizadas en Tailandia dieron resultados excelentes: un tiempo de canal alrededor de los 3.4 ms con una dispersión del orden de microsegundos y un tiempo de transmisión total de extremo a extremo de 5 ms (ver Fig. 2).

El rápido despliegue de redes de conmutación de paquetes en las compañías eléctricas en estos últimos años ha implicado la migración a éstas de los servicios de teleprotección en la mayor parte del mundo (Europa, Asia, América, Australia). Pero también ha permitido ampliar el uso de dichos servicios a canales sobre los que antes era impensable hacerlo. Canales enfocados a la conmutación de paquetes como el ADSL o las redes celulares son ahora canales susceptibles de soportar también servicios de teleprotección, lo cual está siendo de gran utilidad en el despliegue masivo de productores de energía solar y eólica en lugares remotos que se está realizando en algunos países europeos.

Los canales de radio, por ejemplo, que no se usaban para aplicaciones de teleprotección (a excepción de algún enlace de microondas de pocos saltos) debido a su excesiva latencia y a los deslizamientos de tramas que afectan en gran manera a las comunicaciones síncronas, gracias ahora a las tecnologías de conmutación de paquetes pueden considerarse un medio más para la comunicación de teleprotección siempre que se le dedique el ancho de banda y prioridad suficientes para asegurar no sólo un tiempo de transmisión aceptable sino también una desviación reducida de éste. En caso contrario podrían obtenerse comportamientos como el que se detectó en unas pruebas sobre un radioenlace en Australia en las que no se priorizó el tráfico de teleprotección: la pérdida de paquetes era nula, pero la latencia y la desviación de éstos resultaron ser inaceptables (casi 11 ms y más de 1.7 ms respectivamente, ver Fig. 3).

En otras pruebas realizadas en Francia se confirmó la viabilidad del uso de sistemas de radio para transmisión de teleprotección siempre que se priorizara adecuadamente su tráfico, pero se constató que:

- En caso de un número elevado de saltos entre nodos se pueden producir errores de sincronización, con la consiguiente pérdida de algunas tramas.
- Ciertas condiciones atmosféricas pueden provocar congestiones y retardos, e incluso pérdidas de paquetes.

Algo parecido ocurre con otras tecnologías de comunicaciones basadas en Ethernet, como pueden ser el 5G o las de la familia xDSL^[1].

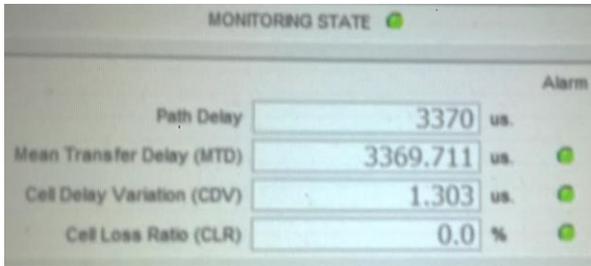
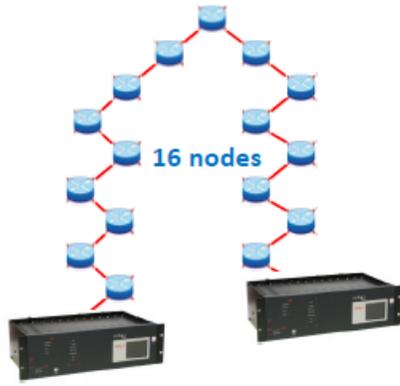


Fig. 2. Transmisión de teleprotección sobre una red de 16 nodos MPLS-TP

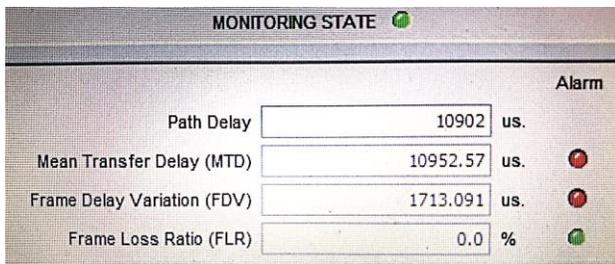


Fig. 3. Resultados de transmisión de teleprotección sobre radioenlace sin priorización de tráfico.

Todas ellas pueden ser susceptibles de transportar el servicio de teleprotección, cosa que en la actualidad ya se está haciendo, siempre que se asegure el ancho de banda suficiente y una prioridad adecuada para reducir al mínimo la latencia y las pérdidas de paquetes, consiguiendo de esta manera cumplir con los requerimientos de obediencia y tiempo de transmisión requeridos. De lo contrario se corre el riesgo de obtener resultados sólo aceptables para determinadas aplicaciones, como en el caso de una conexión a un parque eólico en Francia a través de la red de datos de un operador mediante una VPN de 500 kbit/s y acceso por SHDSL (ver Fig. 4).

En esta ocasión el tiempo de transmisión, enviando un paquete de datos cada 5ms, se situaba alrededor de los 12–13 ms con una variación de aproximadamente $\pm 10\%$, aceptable para la aplicación de desconexión del parque eólico, pero no para una teleprotección digital (ver Tabla 1).

Por lo que respecta a la tecnología 5G, ésta podría ser una solución para aplicaciones de *misión crítica* gracias a su servicio de comunicación ultra confiable de baja latencia (URLLC, *Ultra Reliable Low Latency Communications*), que asegura latencias del orden de 2 ms. Pero dicho servicio necesita de un equipamiento específico costoso y todavía no ampliamente desplegado, por lo que se está a merced de los planes de inversión de los operadores de Telecomunicaciones, no siempre en línea con las necesidades de las compañías eléctricas.

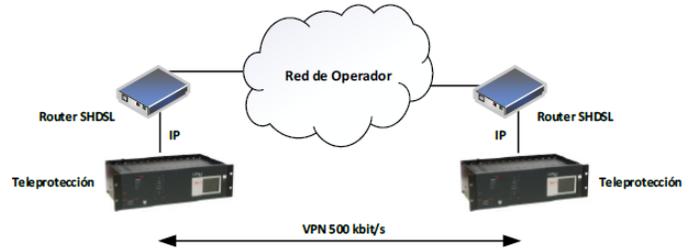


Fig. 4. Transmisión de teleprotección sobre una red IP con acceso por SHDSL.

En caso contrario los tiempos de transmisión estarán sujetos, como cualquier otro servicio, al número de saltos y al tiempo de procesado en cada nodo, consiguiéndose valores relativamente elevados.

En conclusión, hoy en día los sistemas de conmutación de paquetes permiten utilizar teleprotección en instalaciones antes inaccesibles con sistemas de conmutación de circuitos.

Pero características intrínsecas y deterministas en estos últimos, como la asignación de canal y velocidad de transmisión, se traducen en compartidas y estadísticas en los primeros. Y esto implica la necesidad de un cuidado especial en la asignación de anchos de banda y prioridad de tráfico si se quieren mantener los requerimientos de obediencia y tiempo de transmisión necesarios para el correcto funcionamiento de los sistemas de teleprotección.

Por su parte, los equipos de teleprotección deberán a su vez adaptarse a la interfaz nativa de los sistemas de conmutación de paquetes para evitar cualquier conversión de formatos y reducir así el tiempo de transmisión y la posibilidad de errores.

Referencias

- [1] K. Ghanem, S. Ugwuanyi, R. Asif y J. Irvine, "Challenges and Promises of 5G for Smart Grid Teleprotection Applications," *2021 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)*, Dubai, Emiratos Árabes Unidos, 2021, pp. 1–7.