



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Protocolos de Sincronización aplicado a Sistema de Automatización de Subestación (SAS)

Ladislao Aranda Arriola¹, Oscar Naoki Shinya Kabasawa², José Luiz Pereira dos Santos³

¹Itaipu Binacional, ²Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción” Sede Regional Alto Paraná (UCAP), ³Laboratorio de Automação Industrial (LAI-UNIOESTE) / Laboratório de Automação e Simulação de Sistemas Elétricos (LASSE-PTI)

Paraguay – Brasil

RESUMEN

Las funciones de protección, control y supervisión de los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica son componentes integrales de los Sistemas de Automatización de Subestaciones (SAS). Los SAS son sistemas distribuidos, que utilizan dispositivos microprocesados (IED – Intelligent Electronic Devices) interconectados por redes de comunicación industrial. Los SAS deben atender a ciertos requisitos de tiempo-real, en los cuales el intercambio de las informaciones del proceso debe estar referenciado a una base de tiempo común. La precisión temporal de ciertas funciones de control de los SAS deben atender a requisitos de tiempo real críticos (hard real-time) de micro a nanosegundos. Además de la exigencia de cumplimiento de los plazos de respuesta de las funciones, el intercambio de informaciones entre los componentes del sistema debe ser a una base de tiempo común. Para resolver problemas de sincronización son implementadas protocolos de sincronización como NTP, IRIG-B, IEEE 1588. El empleo de las redes IEEE 802.3 como soporte de comunicación de los SAS genera dudas cuanto al método de sincronización más adecuado. De esta manera, este proyecto tiene como objetivo el estudio de alternativas cuanto a los métodos y protocolos de comunicación que serán empleados en un sistema de automatización con base en la norma IEC 61850. Por lo tanto serán estudiados los protocolos NTP/SNTP, IRIG-B y el IEEE 1588.

PALABRAS CLAVES

Protocolo de sincronización, estampa de tiempo, Sistema de Automatización de Subestaciones.



1 INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Automatización de Subestaciones (SAS) de Energía Eléctrica son sistemas distribuidos, que utilizan dispositivos microprocesados denominados, de una manera general, IEDs (Intelligent Electronic Devices). Los mismos son interconectados por redes de comunicación industrial.

La evolución del sistema eléctrico tuvo como consecuencia la necesidad del incremento y la complejidad de las funciones de control de los SAS. Por consiguiente, es necesario que la coordinación de eventos en relación del tiempo sea efectuada de forma sincronizada. Los propósitos para la sincronizaron son los siguientes:

- Permitir y asegurar que el evento ocurra en una determinada secuencia o en tiempo predeterminado [1].
- Recuperar las informaciones registradas, relativas a eventos sucedidos, para que luego puedan ser analizados los problemas ocurridos y proponer las soluciones [2].

Inicialmente el protocolo NTP (Network Time Protocol) fue utilizado en aplicaciones que poseen exigencias de resolución máxima de sub-milisegundo. Sin embargo existen ciertas tareas temporalmente críticas de los SAS, que exigen mayores resoluciones que no pueden ser atendidas por el protocolo NTP.

Por otro lado el protocolo IRIG-B, que tiene como fuente de referencia el GPS, atiende a la resolución exigida para las tareas críticas de tiempo real empleadas por los SAS. La adopción del padrón IRIG-B demanda la existencia de una red separada exclusiva para el transporte de las señales periódicas utilizadas para la sincronización de los relojes internos de los IEDs.

Para resolver los problemas asociados a los protocolos IRIG-B y NTP se están realizando investigaciones de la aplicación del protocolo IEEE 1588 en sistemas distribuidos que exigen resoluciones temporales del orden de nanosegundos. El protocolo IEEE 1588 que ha existido desde el año 2002 y es la norma de sincronización de alta precisión de tiempo, también es conocido como PTP (Precision Time Protocol).

En la Tabla I se muestra una comparación entre los protocolos mencionados.

Tabla I

Protocolo	Precisión	Interconexión	Hw y Sw
NTP	1 – 10 ms	Ethernet LAN o WAN	Hw o Sw Server, Sw Cliente
IRIG	1 – 10 ns	Cable coaxial	Hw master y esclavo
IEEE 1588	10 – 100 ns	Ethernet LAN	Hw master y esclavo

2 PROTOCOLO NTP

NTP (*Network Time Protocol*) es el método de sincronismo del dominio público más importante. Este protocolo permite la sincronización de los relojes de los dispositivos de una red como servidores, estaciones de trabajo, ruteadores y otros equipamientos a partir de una referencia de tiempo confiable [3]. La exactitud proporcionada depende de la extensión y la complejidad de la red. Si la red es una LAN, normalmente se obtiene una precisión de milisegundos, mientras que en una WAN, el retardo se puede incrementar en unas decenas de milisegundos [4].

El funcionamiento de NTP consiste en obtener diversas muestras de las informaciones de determinados servidores. Asimismo, se elige la mejor referencia de tiempo entre los servidores que suministran tiempos correctos de modo a garantizar homogeneidad de tiempo. En conjunto con otros servidores NTP, se forma una topología simple, confiable, robusta y escalable para la sincronización de tiempo.

En la Figura 1 se muestra la organización total del modelo de servidor de tiempo NTP. La estampa de tiempo es intercambiada entre un cliente y otros servidores y clientes de subred en intervalo de algunos segundos o varias horas. Estos son usados para determinar desplazamiento individual y offset de reloj, como para proveer el error estimado. Luego, el filtro del reloj es para reducir jitter imprevisible de acuerdo a los procesamientos de los desplazamientos y offset de cada servidor [5].

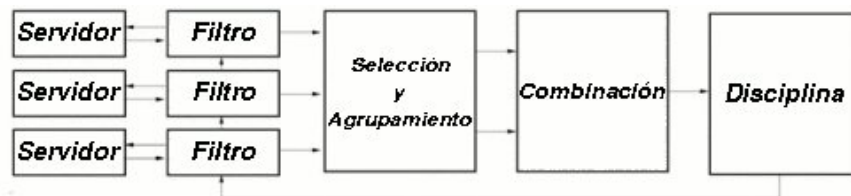


Figura 1. Los componentes de NTP

También es importante mencionar que contrario a la creencia, NTP no está basado en los principios de sincronización de máquinas uno con otro. Sin embargo, está basado en los principios de mantener a todas las máquinas de la red a un tiempo más cercano posible al tiempo de referencia [6]. Esto se obtiene a través del cálculo de los datos obtenidos en los intercambios de mensajes entre el cliente y el servidor como es observado en la Figura 2.

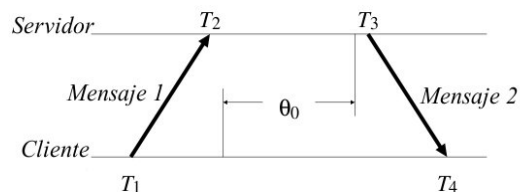


Figura 2. Intercambio de mensajes

3 PROTOCOLO IRIG

Protocolo IRIG es el código de tiempo desarrollado por TeleCommunications Working Group de Inter-Range Instrumentation Group, el cuerpo estándar de Range Commander Council [7]. Existen varios formatos y combinación de modulación de señal. Dicha codificación de la señal puede ser observada en la Figura 3:

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

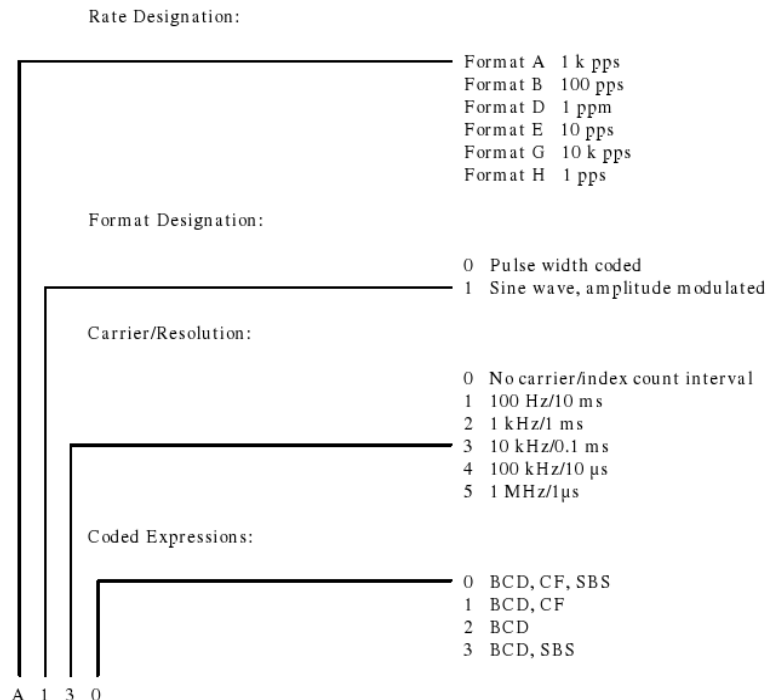


Figura 3. Codificación del protocolo IRIG [8]

El estándar de sincronización de tiempo en los equipamientos de utilidad eléctrica ha sido el IRIG-B, en amplitud de 1kHz modulado y formato DC shift. El IRIG-B modulado por amplitud es más seguro contra mayor tipo de interferencias y es más amigable para grandes interconexiones de redes. El código de ancho de pulso IRIG-B es más exacto para redes que son muy limitados en tamaño y en la complejidad [9].

En la actualidad existen distintas variables de código IRIG-B, pero generalmente en la industria de energía es utilizado el formato B123. La definición de función de control es contenida en IEEE 1344, Standard for Synchrophasor Measurement, y en este formato incluye año, lugar, offset, cualidad de tiempo y notificación de eventos [10].

4 PROTOCOLO IEEE 1588

El protocolo de tiempo preciso IEEE 1588 es utilizado para sincronizar relojes de tiempo real en los "nodos" de un sistema distribuido que se comunican por medio de una red. Este protocolo es también conocido como "PTP - Precise Time Protocol". La tecnología es originalmente desarrollada por Agilent y fue utilizada en mediciones distribuidas y tareas de control. La utilización PTP hace que sea posible el sincronismo de menos de un microsegundo en reloj local del sensor, actuador y otro dispositivo terminal. Además de sincronizar el reloj interno, transporta también los datos del proceso a través de la misma red [11].

El protocolo tiene como objetivo: a) Ser aplicable para el sistema de comunicación por LAN soportando mensajería multicast incluyendo pero no limitando para Ethernet; b) Ser sistema heterogéneo que incluye reloj de varias inherentes precisión, resolución y estabilidad para sincronizar; c) Ser soporte del sistema de sincronismo de exactitud en rango de sub-microsegundo con red mínima y fuente de reloj local de la computadora [12].

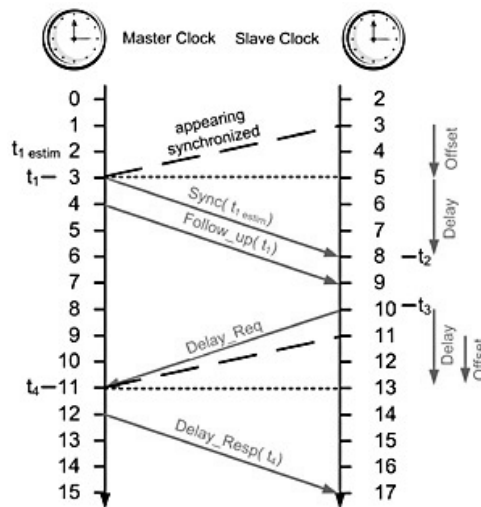


Figura 4. Funcionamiento de IEEE 1588

En la Figura 4 se muestra los intercambios de telegramas realizados entre el servidor y el cliente para el sincronismo del reloj interno el cliente. Basado en el primero y el segundo telegrama y el significado de su propio reloj, el receptor puede calcular la diferencia de tiempo entre la hora de su reloj y la hora del reloj del máster.

La red PTP configura y segmenta él mismo automáticamente. Por esto, cada nodo usa el algoritmo de “mejor reloj de máster” (BMC - Best Master Clock). Estas características son transmitidas para otro nodo con sus telegramas “Sync”. Basado en esto, otros nodos son habilitados para sincronizar sus configuraciones de informaciones con sus características del actual máster y puede ajustar sus relojes como corresponde. Debido al funcionamiento de BMC, los nodos pueden ser conectados o extraídos durante el tiempo de propagación.

De modo a obtener precisión del rango de nanosegundos es necesario el soporte de hardware. El PTP también utiliza la estampa de tiempo como el NTP para el sincronismo de redes. Sin embargo, la estampa de tiempo en NTP es hecha en software, no por hardware, lo cual causa retraso de proceso asimétrico que reduce la exactitud del tiempo de transferencia [14]. Generalmente el error de sincronización causado por software no puede ser eliminado. Teniendo solamente la solución de software, al error puede variar entre micro o milisegundos.

5 RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROTOCOLO NTP

El empleo de las redes IEEE 802.3 como soporte de comunicación de los SAS genera dudas cuanto al método de sincronización más adecuado. De esta manera, este proyecto tiene como objetivo el estudio de alternativas cuanto a los métodos y protocolos de comunicación que serán empleados en un sistema de automatización con base en la norma IEC 61850. Por lo tanto serán estudiados los protocolos NTP/SNTP, IRIG-B y el IEEE 1588 con los siguientes objetivos principales:

- Investigar los conceptos y la aplicación de algoritmos y protocolos de sincronización basados en padrón NTP/SNTP e IRIG-B.
- Investigar los conceptos y la aplicación del nuevo protocolo de sincronización IEEE 1588.
- Implementar la aplicación de los métodos de sincronización estudiados en un sistema de automatización de subestación (SAS) basado en la norma IEC 61850.



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

El protocolo de sincronización adoptado deberá ser capaz de distribuir el mensaje de tiempo entre los IEDs, debiendo incorporar algoritmos de compensación de los atrasos y variaciones introducidas por las redes de comunicación del sistema. Deberán ser atendidos los siguientes requisitos:

- Todos los nodos deberán ser sincronizados con el servidor de tiempo.
- La fuente de tiempo deberá ser adquirida a través de una antena GPS.
- El desvío de tiempo de cada IED deberá ser computado en tiempo real.

En caso de indisponibilidades del servidor central del tiempo, el desvío deberá ser utilizado como base para las correcciones de *clock* hasta que el servidor esté disponible.

Hasta el momento, el proyecto se encuentra en la fase final del estudio y prueba del protocolo NTP, quedando aún pendiente los otros dos protocolos el IRIG B y el PTP.

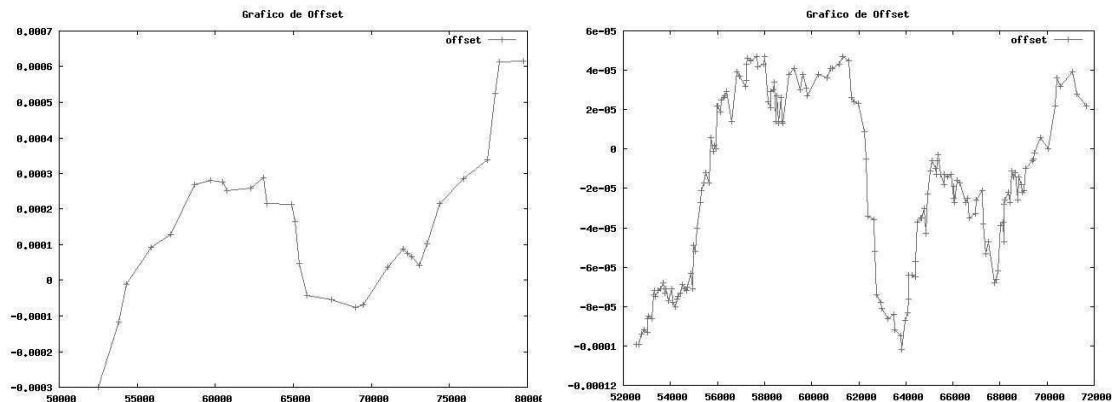
Aquí serán presentados los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para el protocolo NTP.

La plataforma de prueba utilizada es la siguiente:

- Computadora Industrial (UGA), procesador Pentium III 733MHz, Compact Disk Flash 16GB, 512 MB RAM, 2 puertos ethernet 10/100/100 MB/s, USB, RS232C y paralela, placa de video 128 MB.
- Computadora Personal (PC1), procesador Pentium IV 3,2GHz, HD 80Gb, 1GB RAM, 2 puertos ethernet 10/100/100 MB/s, USB, RS232C y paralela, placa de video 128 MB.
- Computadora Personal (PC2), procesador Intel Core 2 Duo 1.67Hz, HD 250 Gbytes (5400 RPM), memoria RAM 3GB, puerto ethernet 10/100/100 MB/s, USB, placa de video NVIDIA GeForce 8400M GS processor.
- Switch Ethernet “3Com Baseline Switch 2016”, Layer 2 10/100 y 10/100/1000 Ethernet switching por LANs, plug and play, 26 puertos con detección automático de cable tipo MDI/MDIX, la posibilidad de montaje en Rack.
- Un receptor de señal de GPS.

Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para el protocolo NTP se observan en la Figura 5. En dicha figura es mostrada la curva de Desplazamiento vs tiempo en segundos de la PC1 (Computadora Industrial 01) y la PC2 (Computadora Personal 02) durante el mismo tiempo. El eje vertical indica el desplazamiento en segundo y el eje horizontal la hora del día en segundo. Se puede observar dos notables diferencias en ellas: *primero*, la cantidad de muestras en cada curva. Esto es debido a la diferencia de poll; siendo poll de la PC1 igual a 8 ($2^8=256$) y poll de la PC2 tuvo una oscilación de valor entre 4 ($2^4=16$) a 7 ($2^7=128$). Por el cual, poll significa el intervalo de tiempo que el cliente tarda para realizar consultas de tiempo, significa que PC1 toma una muestra a cada 256 segundos mientras que el intervalo de tiempo que toma PC2 varía entre 16 a 128 segundos. *Segundo*, y la más importante en el presente proyecto consiste en los valores promedios del desplazamiento. El promedio de desplazamiento de PC1, que posee la capacidad de hardware menor al PC2 es aproximadamente 200 μ s mientras que la de PC2 es aproximadamente 43 μ s, un valor aun mejor que el anterior.

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008



a) Curva de PC1

b) Curva de PC2

Figura 5. Curva de desplazamiento (segundo) vs tiempo (segundo)

En la Figura 6 se puede observar el desplazamiento promedio de cada día donde el eje vertical indica el desplazamiento en milisegundo y el eje horizontal indican la fecha de adquisición de muestras desde 16 a 27 de agosto. El promedio del desplazamiento no supera a 1ms.

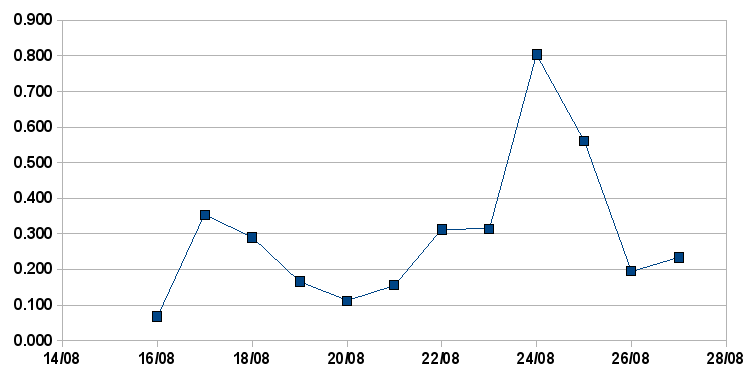


Figura 6. Curva de desplazamiento (milisegundo) vs tiempo (en día)

Además en la Figura 6 encontramos una particularidad de que existe un pico en el desplazamiento en cada domingo. La razón de este comportamiento es debido al corte de energía hecha en el local del laboratorio por razones particulares. Por lo tanto, debido a baja calidad del hardware tiende a desviar considerablemente. Sin embargo, gracias a la lista de muestras que esta computadora posee, una vez energizado, recupera rápidamente el sincronismo.

Finalmente, se puede afirmar que soluciones con protocolo NTP son relativamente fáciles para proyectar e implementar, haciendo que sea ideal para pequeños negocios hasta grandes áreas de empresas [14]. Sin embargo, no es ideal para Sistema de Automatización de Subestaciones.

6 CONCLUSIÓN

Desde la existencia del sistema eléctrico interconectado el sincronismo de los dispositivos de los SAS es considerado como un criterio fundamental y fueron desarrollados varios estudios hasta la actualidad. De acuerdo a la práctica del protocolo NTP realizada se puede concluir:



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

- La capacidad que la computadora personal mantenga el menor tiempo del desplazamiento depende del hardware del mismo,
- Una vez mantenida la sincronización del reloj entre el servidor y el cliente se mantienen un promedio de desplazamiento menor a 1ms,
- Depende también del reloj de la computadora personal para que el mismo pueda mantener la exactitud del reloj mientras se encuentre desconectado con el servidor,
- No es ideal para Sistemas de Automatización de Subestaciones de Energía Eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Cristina Duarte Murta, Pedro Rodrigues Torres Jr. Departamento de Informática. “Caracterização da Rede de Sincronização na Internet” (Curitiba, PR).
- [2] Fernando L. Romero, Walter Aróztegui, Fernando G. Tinetti. “Sincronización de Relojes en Ambientes Distribuidos”.
- [3] Núcleo de Informação e Coordenação. Comitê Gestor da Internet no Brasil. <http://ntp.br/> Accedido en Julio de 2008.
- [4] Rafael Villén Galera. Administración de Redes y Sistemas Telemáticos. “Network Time Protocol”.
- [5] David L. Mill. “Improved Algorithms for Synchronizing Computer Network Clocks”.
- [6] David Deeths. “Using NTP to Control and Synchronize System Clocks - Part I: Introduction to NTP” (Julio de 2001).
- [7] Enciclopedia gratis, Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/> Accedido en Mayo de 2008.
- [8] Timing Committee TeleCommunications and Timing Group Range Commanders Council. “IRIG Serial Time Code Formats” (mayo de 1998).
- [9] Northeast Power Coordinating Council. “Guide to Time Synchronization of Substation Equipment” (28 de noviembre de 2006).
- [10] Northeast Power Coordinating Council. SP6 Report. “Synchronized Event Data Reporting” (9 de Febrero de 2005).
- [11] The Industrial Ethernet Book. “IEEE1588: Precise time synch for real time automation application” (Julio de 2008).
- [12] NIST – National Institute of Standards and Technology. IEEE Website. <http://ieee1588.nist.gov/> Accedido en Julio de 2008.
- [13] Paul Skoog. “IEEE-1588 Precision Time Protocol: Essential to next-generation test system”.
- [14] David Deeths. “Using NTP to Control and Synchronize System Clocks – Part II: Basic NTP Administration and Architecture”.