

Ethernet Industrial

AUTOR

Alberto Rodríguez Cabero.

Asignatura: Comunicaciones Industriales Avanzadas. Curso 2011-2012

RESUMEN

En el siguiente documento se va a presentar la evolución de Ethernet desde su patentado en 1978 hasta lo que conocemos actualmente como Ethernet. Esta revisión histórica se va a centrar en los estándares que se desarrollaron sobre este sistema y que han contribuido a que Ethernet se acerque a la realidad industrial.

A su vez, una vez presentada la evolución histórica se realizará una breve revisión de los principales protocolos de comunicación industriales que usan Ethernet como protocolo en la Capa de Enlace así como sus características más destacadas y que uso realizan de Ethernet.

1. Introducción

En las últimas décadas la evolución del mundo industrial ha sido muy rápida debida en gran medida al gran desarrollo tecnológico que ha traído consigo mejoras en el control de sistemas cada vez más complejos, extensos y distribuidos.

En los últimos años las tendencias principales en la industria han sido:

- Creación de estructuras descentralizadas a unidades descentralizadas localmente.
- El uso de Ethernet en todos los niveles de la automatización.
- El mundo de la automatización y la tecnología de la información ha ido desarrollándose de forma paralela.

En la siguiente figura se aprecia mejor los niveles de comunicación dentro de una planta a nivel industrial con sus correspondientes requisitos en cuanto al tiempo de ciclo.

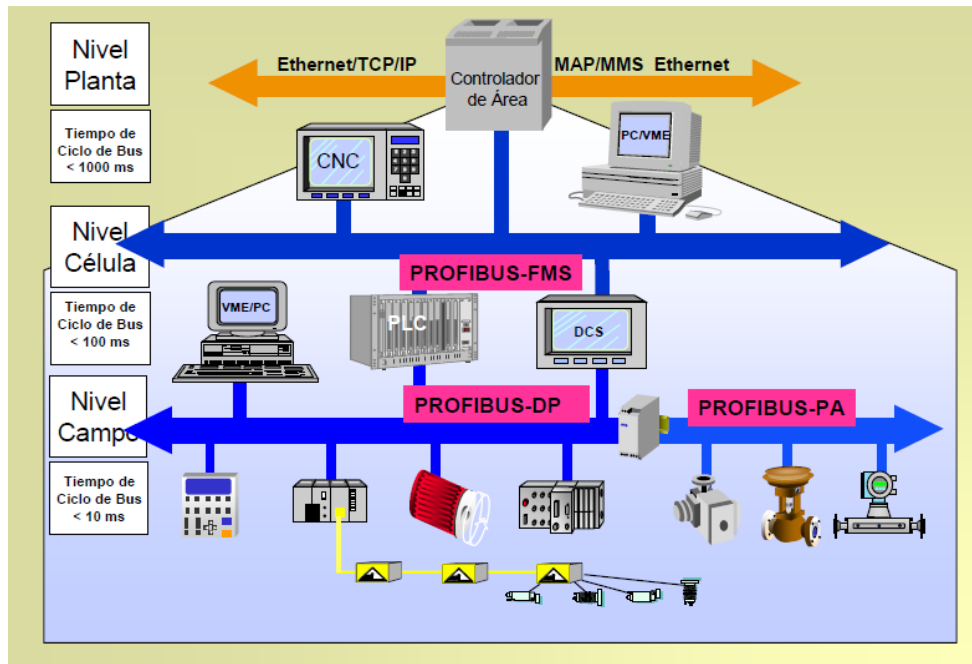


Figura 1: Esquema genérico de las comunicaciones a nivel industrial

2. Ethernet y su avance hasta la industria

Es cierto que Ethernet es un sistema muy famoso y extendido pero es necesario pensar que un sistema de comunicación para la industria ha de tener una serie de características que garanticen la seguridad del sistema.

Algunas de éstas son:

- Acceso determinista al medio.
- Mayor confiabilidad para las aplicaciones industriales que la ofrecida para las aplicaciones de oficina u hogar.
- Soportar ambientes industriales con condiciones desfavorables:
 - Temperaturas extremas.
 - Operación con diferentes niveles de alimentación, tanto en CC como con CA.

- Ruido eléctrico y electromagnético.
- Transitorios.
- Atmosferas agresivas y condiciones de uso extremas.
- Recuperación rápida entre fallos y seguridad, que ayude a una operación continua (24 horas al día, 7 días a la semana) y segura en los ambientes industriales.

Por desgracia Ethernet en su diseño original no asegura todas estas características aunque algunas de ellas se pueden asegurar utilizando un medio físico adecuado y adecuando los equipos cosa que, en la actualidad esta más que conseguido. Sin embargo, algunas de ellas en sí mismas no se pueden solucionar de forma tan sencilla siendo el determinismo el principal problema para su introducción en la industrial.

Antes de continuar, es necesario responder a una pregunta que nos facilitará el paso de Ethernet a un Ethernet adaptado a la industria:

- **¿Qué entendemos por determinismo y por aplicaciones de Tiempo Real y de qué forma nos afecta?**

Usando la definición dada por Donald Gillies, un “Sistema en Tiempo Real” es:

“...aquél en el que para dar por correctas las operaciones lógicas que se están realizando no se tiene en cuenta solo el resultado, implementación o diseño del sistema, sino que también se tiene en cuenta el tiempo en el que este resultado es entregado ...”

“...si las restricciones de tiempo no son respetadas podemos decir que el sistema ha fallado ...”

Así pues, atendiendo a la dureza de las restricciones temporales se pueden distinguir tres niveles:

Tiempo Real Estricto – Hard Real-Time

- Todas las acciones deben terminar dentro del plazo especificado.

Tiempo Real Flexible – Soft Real-Time

- Se pueden perder plazos de vez en cuando.
- El valor de la respuesta decrece con el tiempo.

Tiempo Real Firme – Firm Real-Time

- Se pueden perder plazos ocasionalmente.
- Una respuesta tardía no tiene valor.

Visto esto, cabe volver a preguntarse ¿por qué no se había utilizado Ethernet en la industrial con anterioridad, de qué forma nos afecta esto?

Los sistemas industriales típicamente están situados en los dos niveles más altos por lo que el determinismo de los mismos es muy estricto. Los sistemas deben cumplir su cometido dentro de un tiempo establecido y la comunicación entra dentro de este ciclo de tiempo máximo llamado “latencia”.

Así pues, en la industria los equipos que gobiernan los procesos deben cumplir dichas restricciones y si se quiere introducir Ethernet a todos los niveles de la misma ha de cumplir dichas restricciones temporales también. E ahí la respuesta a la pregunta que se acaba de plantear.

Por ejemplo, en aplicaciones del tipo “Hard Real-Time” es necesario garantizar un tiempo máximo de latencia, es decir, un tiempo máximo de ciclo. La técnica CSMA/CD de Ethernet (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) es en sí misma un control de acceso al medio no determinista ya que no garantiza un tiempo fijo y limitado en la comunicación.



Figura 2: Efecto de la colisión en una red Ethernet

Además, existe el peligro de las colisiones en el medio que solo puede ser calculado de forma probabilística con lo cual, es imposible determinar un tiempo de latencia máximo.

Con los años, algunos de estos problemas han podido ser solucionados con la introducción de sistemas full-duplex en la comunicación y la topología estrella. De esta forma, con la aparición de switches se ha podido evitar el problema de las colisiones que ha dado lugar a un Ethernet mucho más seguro y determinista.

Así pues, la tecnología “switch” consigue superar todas las limitaciones anteriores:

- Crea dinámicamente redes entre sus puertos de acuerdo a una tabla interna.
- Se crean “dominios de colisiones” aislados entre sí (la colisión en el enlace con un dispositivo no involucra a los demás dispositivos conectados al switch).
- Cada puerto opera a la máxima velocidad posible aprovechando así el máximo ancho de banda (en cualquier otro caso que no sea éste, topología estrella+ switch, la velocidad máxima del bus está limitada a la del equipo más lento conectado).
- Cada dispositivo puede operar en half-duplex o full-duplex y este hecho no afecta al resto de los dispositivos.

Sin embargo, esta solución que parece resolver todos los problemas introduce a su vez un nuevo obstáculo a la hora de lograr que Ethernet sea adecuado para toda aplicación industrial.

Este problema viene dado por los propios switches que se introducen para evitar las colisiones ya que obligan a tener un control de las colas de datos que de nuevo impide realizar un cálculo exacto de la latencia máxima de sistema, únicamente probabilístico.

De nuevo y al igual que antes, antes este nuevo problema se dio una solución. Para resolver el problema de los paquetes de datos en cola se necesita priorizar ciertos paquetes dentro de las colas.

Tal y como se ilustra en la *Figura 3*, a un mismo switch puede haber conectados dispositivos de muy distinta prioridad, como por ejemplo, sistemas de HMI (Interfaz Hombre-Máquina) para mostrar información del sistema que no tienen una prioridad elevada o, por otro lado, sistemas que periferia distribuida que reciben información de los sensores de una máquina, que tendría una prioridad de atención elevada.

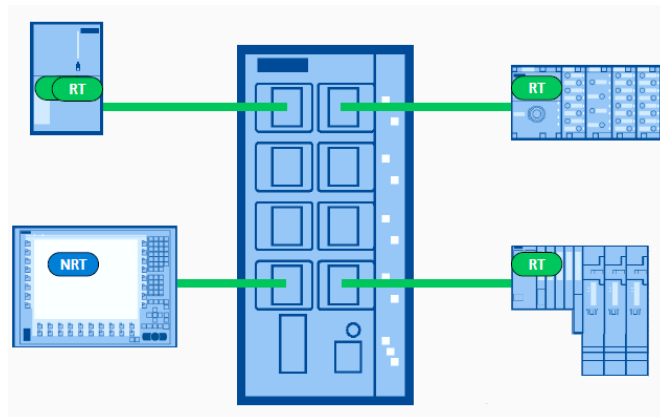


Figura 3: Topología en estrella dentro de una red Ethernet

Así pues, el switch debe ser capaz de distinguir y priorizar las tramas de datos que provengan de sistemas con restricciones temporales fuertes.

¿Cómo se logra el dar prioridad a los paquetes de datos?

Existen varias formas de lograrlo, una de ellas de a través del estándar IEEE 802.1P, a su vez englobado dentro del estándar IEEE 802.1Q.

Este último básicamente se comporta como un mecanismo que permite que múltiples redes puedan compartir un mismo medio físico sin problemas de interferencia entre ellas.

Su forma de uso es simple, consiste en añadir 2 bytes a la cabecera de Ethernet original. Dentro de esta cabecera establecida por el IEEE 802.1Q se encuentra la clave de la prioridad ya que existe una etiqueta formada por 3 bits reservados para realizar una selección de prioridad de la trama de datos pudiéndose así usar hasta un total de 8 niveles (0 menor prioridad, 7 más alta prioridad).

Las ventajas que introduce este estándar a favor del uso de Ethernet en la industria son muchas:

- Permite dar prioridad a los datos provenientes de un determinado dispositivo con respecto a los otros conectados a la red, acelerando así su transmisión.
- Con esta funcionalidad se impide que las tramas de alta prioridad se vean interrumpidas por el tráfico de tramas de menor prioridad.
- El switch es capaz de procesar y enviar todos los paquetes de mayor prioridad antes de hacerlo con los de menor prioridad.

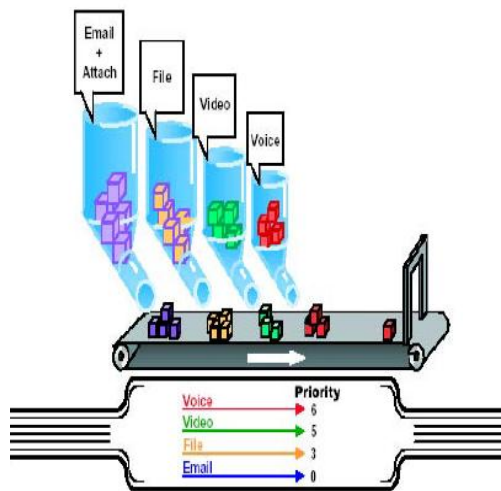


Figura 4: Niveles de prioridad de los distintos paquetes de datos

Sin embargo existen situaciones en las que no es posible el uso de este estándar, simplemente porque un dispositivo no es capaz de soportar esta norma.

Otra forma de lograr asignar prioridad a los datos Real-Time es mediante el propio switch y su configuración en estrella, es decir, asignar prioridad por puerto.

Port	Port Name	Link status	Port on	Flow Control on	Signal Contact mask	Auto-negotiation	Manual Configuration	Current settings	Port Priority
1		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100 Mbit/s FDX	-	6
2		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100 Mbit/s FDX	-	5
3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100 Mbit/s FDX	100 Mbit/s FDX	0

Figura 5: Asignación de prioridad de puerto en un switch

Ventajas que supone ésta forma de asignar prioridad a los paquetes de datos:

- Permite asignarle una prioridad a cada mensaje basándose en el puerto de origen sin tener en cuenta la asignada por los equipos conectados a éste.
- Permite asignar prioridades a equipos que no soportan la normal IEEE 802.1P.

La pega de este sistema esta que en se debe configurar el switch para esta función.

Gracias a la evolución mostrada, se ha logrado que Ethernet como estándar que define unas características de la capa física y de la capa de enlace que, a priori no eran aptas para un medio industrial, se convierta en una de las opciones cada vez más usadas.

Por último, a continuación se presenta el formato de una trama de Ethernet con las modificaciones que se han ido añadiendo al estándar original y que lo han guiado hacia una mayor seguridad y enfoque industrial.

Preámbulo	Delimitador de inicio de trama	MAC de destino	MAC de origen	Etiqueta (802.1Q) opcional	Ethertype	Payload	CRC
7 bytes	1 byte	6 bytes	6 bytes	4 bytes	2 bytes	De 46 a 1500 bytes	4 bytes

Tabla 1: Formato de la trama de Ethernet Industrial

3. Buses de campo que usan Ethernet aplicado a la industria

No debemos olvidar que Ethernet es un estándar que fija únicamente parámetros de la capa física y de la capa de acceso al medio de forma que, el resto de los niveles superiores están libres.

Este hecho ha propiciado la aparición de números protocolos centrados en la capa de aplicación que se han basado en Ethernet. Algunos de ellos son:

- PROFINET
- EthetNet/IP (Ethernet Industrial Protocol)
- EtherCat

A continuación se presenta una explicación más concreta de algunos de estos protocolos y como logran usar Ethernet garantizando en mayor o menor medida el determinismo.

PROFINET

Se trata de un estándar abierto basado en Ethernet Industrial desarrollado por la Asociación Internacional de PROFIBUS (PI). Como era de esperar, utiliza Ethernet en la capa enlace y centra todo su desarrollo en la capa de aplicación.

PROFINET está pensado para trabajar a 3 niveles según el tipo de aplicación y lo duras que sean las restricciones temporales:

PROFINET CBA (NRT, Not Real Time): Se trata de una transmisión de datos aciclica sin prioridad de tiempo. Utiliza funciones de TCP/IP y fundamentalmente está pensada para ser una comunicación a nivel superior, comunicación entre maquinaria. En la Figura 6 se pueden ver las capas que da uno este tiempo de enlace.

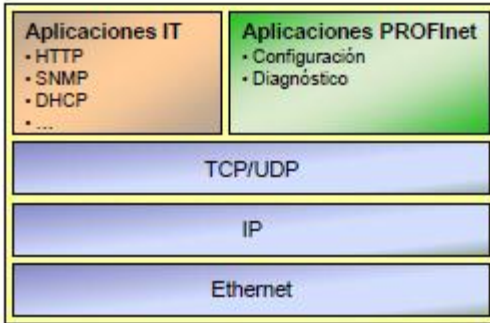


Figura 6: Esquema de las distintas capas en la comunicación PROFINET CBA

PROFINET I/O (RT, Real Time): Se trata de una transmisión de datos cíclica con prioridad de tiempo. Los datos de proceso y las alarmas se transmiten en tiempo real (aunque no 100% determinista).

PROFINET I/O (IRT, Isochronous Real-Time): Se trata de una transmisión de datos síncrona en tiempo real. Es una funcionalidad concreta de PROFINET I/O en la que el intercambio de datos suele estar en el intervalo de unos pocos cientos de microsegundos. Este modo de comunicación en tiempo real estricto solo es posible mediante la implementación de un hardware especial (ASICs), es la única forma de lograr los tiempos.

En la Figura 7 se pueden ver las capas que da uso la comunicación en tiempo real de PROFINET (tanto RT como IRT).

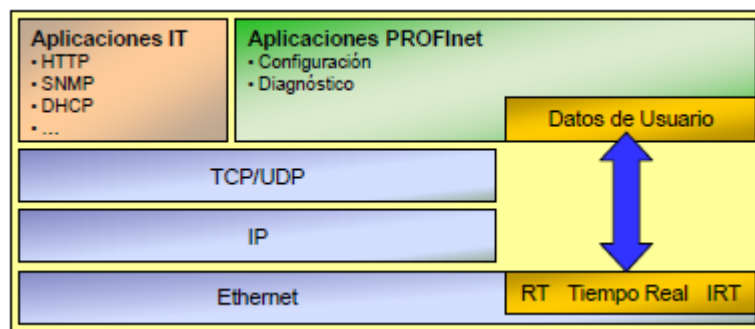


Figura 7: Esquema de las capas en la comunicación PROFINET I/O

Por otro lado, en la Figura 8 se puede ver de forma más gráfica la diferencia entre los 3 modos de comunicación que ofrece PROFINET. Mientras que CBA con un uso de

TCP/IP no puede garantizar tiempos de forma precisa, I/O en sus dos modalidades ofrece un intercambio de datos dentro de un intervalo mucho más reducido.

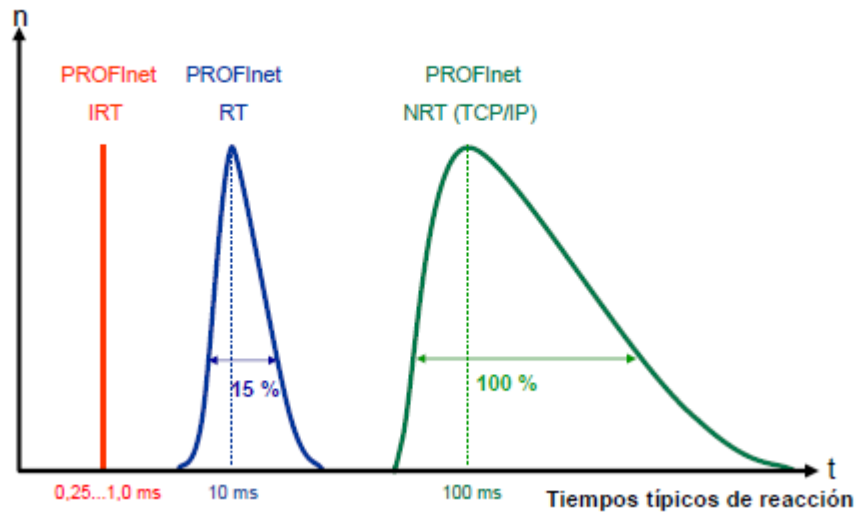


Figura 8: Comparativa entre los tiempos de ciclo para cada tipo de comunicación

El funcionamiento de PROFINET a nivel de la trama de datos va encapsulado dentro del payload (datos) de la capa Ethernet habitual. Este hecho es lógico ya que PROFINET está montado sobre una capa superior a la capa de enlace en la que opera Ethernet. El formato de la trama que maneja PROFINET se muestra a continuación.

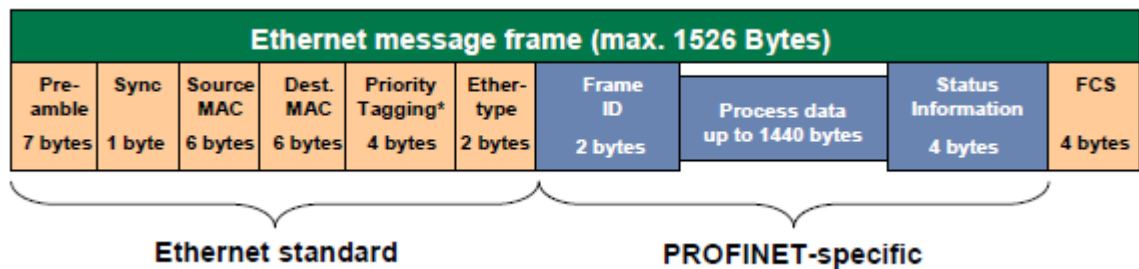


Figura 9: Formato de la trama de PROFINET a nivel de Ethernet

Sin embargo, con este estándar, estos 3 modos de comunicación pueden superponerse y funcionar a la vez en un mismo medio físico. Esto se consigue a través de varios trucos. En primer lugar, es necesario priorizar la comunicación del tipo RT sobre la comunicación de tipo TCP/IT cosa que se logra a través de la etiqueta destinada a dar prioridad a las tramas de datos incluida en el IEEE 802.1Q, descrito a apartados anteriores.

De esta forma, los paquetes del tipo RT se priorizan a la hora de ser comunicados, consiguiendo así garantizar los tiempos. Este hecho se puede ver con más claridad en la siguiente figura.

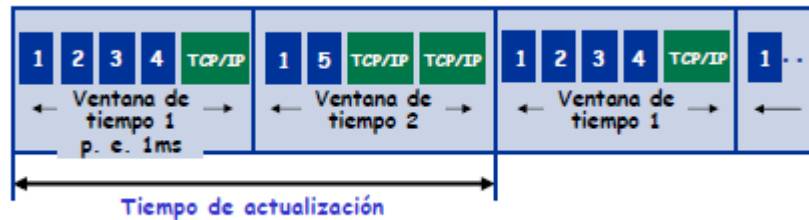


Figura 10: Transmisión de paquetes de tipo RT (azul) y NRT (verde)

Sin embargo, la comunicación en tiempo real síncrona es otro cantar porque se realiza desde hardware ya que este es el único modo de lograr la comunicación en apenas unos cientos de microsegundos.

Para ello se realiza la siguiente trampa, la comunicación se parte en dos ciclos bien diferenciados, en una parte se encapsulan los datos de tiempo real síncrono y en la otra parte se introducen los datos de tipo RT o TCP/IP.

De hecho se ilustra con más claridad en la Figura 11.

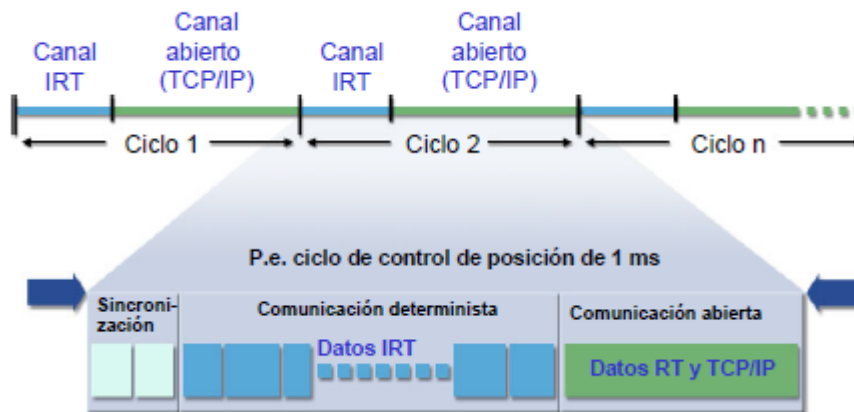


Figura 11: Transmisión de los datos IRT en comparación con los RT y NRT

Así pues, lo que se realiza es una reserva de espacio en cada ciclo para los datos de tiempo real estricto de forma que su tiempo de atención y envío es mínimo. De esta forma,

independientemente del tráfico que halla en la red, los datos de tipo IRT se envían por un “camino reservado” garantizando el envío sin restricciones.

Conclusiones:

El protocolo PROFINET es una buena apuesta para el uso de Ethernet a todos los niveles de la comunicación sin importar el tipo de restricciones que se tengan. PROFINET ha logrado implantar sobre la capa de aplicación un sistema que transmite datos con tres tipos de prioridad de forma simultánea y cumpliendo las distintas especificaciones.

Sin embargo en lo que a determinismo se refiere tiene sus pegas, sobre todo cuando llegamos a su modo IRT. En cuanto a la comunicación RT simple, PROFINET aprovecha la etiqueta incluida en el estándar IEEE802.1Q (explicado anteriormente) de forma que los paquetes de datos prioritarios son transmitidos con una menor latencia. Este hecho puede ocasionar problemas ya que no todos los equipos tienen porque soportar esta norma lo cual impide su uso aunque no necesita de un hardware específico.

Por otro lado, el hecho más llamativo y a su vez más peyorativo viene dado por el modo de comunicación IRT que es por cierto el que consigue otorgar la etiqueta de “determinista” a PROFINET ya que necesita de un hardware especial para poder llevarla a cabo.

En la siguiente imagen se puede ver la diferencia de la implantación de los 3 niveles. Mientras que para la comunicación NRT y RT (imagen de la izquierda) se puede usar un hardware estándar, para la comunicación IRT se requiere de un hardware específico.

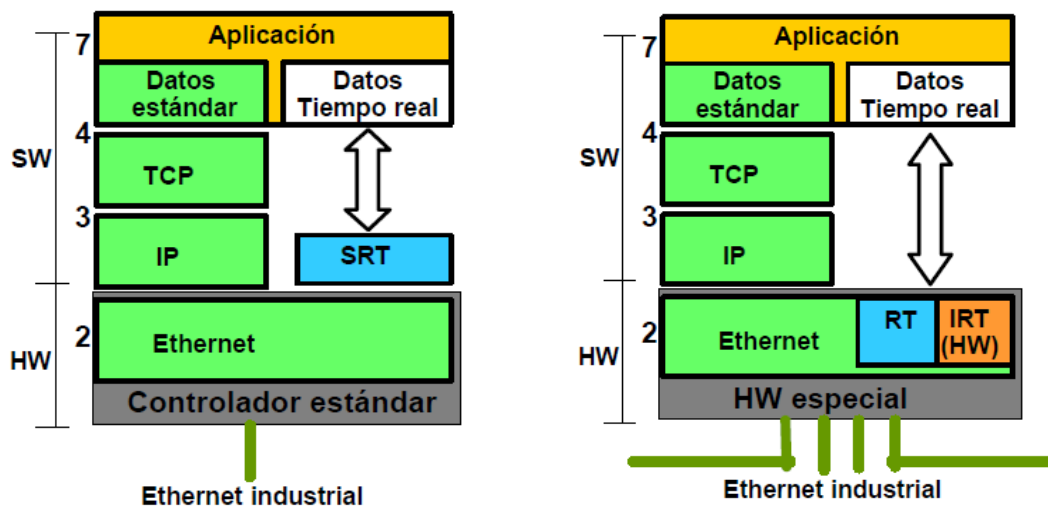


Figura 12: Comparación a nivel de capas entre PROFINET en RT y IRT

EtherNet/IP

Al igual que PROFINET, EtherNet/IP se trata de un protocolo de la capa de aplicación desarrollado por Rockwell Automation para aplicaciones de control y automatización de procesos industriales.

Ethernet/IP esta basado en los protocolos estándar TCP/IP y utiliza los ya bastante conocidos hardware y software de Ethernet para establecer un nivel de protocolo para configurar, acceder y controlar dispositivos de automatización industrial.

El funcionamiento a grandes rasgos de Ethernet/IP es simple, clasifica los nodos de acuerdo a los tipos de dispositivos preestablecidos, con sus actuaciones específicas. El protocolo de red Ethernet/IP está basado en el Protocolo de Control e Información (Control and Information Protocol - CIP) utilizado en DeviceNet y ControlNet.

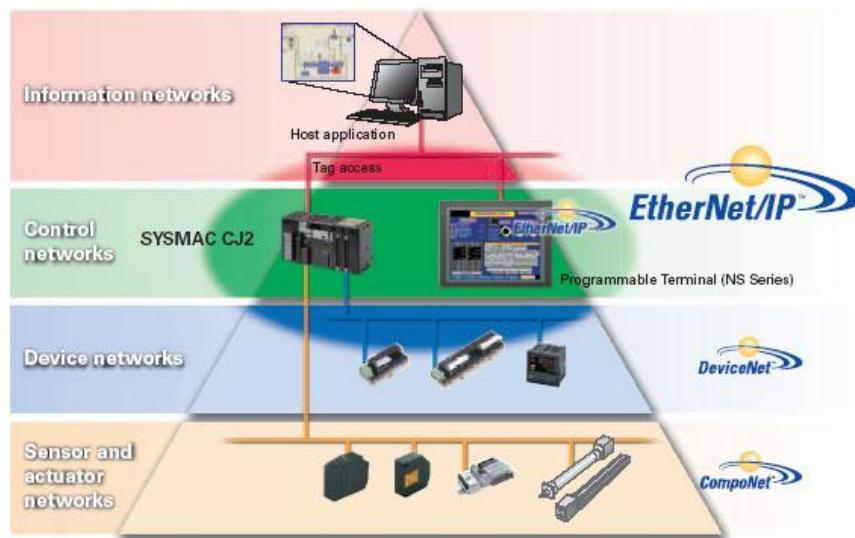


Figura 13: Niveles de comunicación en la industria

En si misma EtherNet/IP no fue desarrollada para ser una comunicación a todos los niveles como es el caso de PROFINET, EtherNet/IP se desarrolló con otros dos “hermanos” menores de forma que cubren toda la comunicación en la planta industrial, desde la información de alto nivel y supervisión hasta el manejo de dispositivos.

Estos dos “hermanos” son ControlNet y DeviceNet y cada uno de ellos está especializado en un tipo y lugar de comunicación específica. Por ello, al estar pensados para un ámbito de aplicación concreto sus capas físicas y de enlace no tienen porque se comunes (que de hecho no lo son) al contrario que PROFINET.

Sin embargo, en cuanto al punto importante en lo que a la seguridad y un control eficiente se refiere, EtherNet/IP únicamente se puede utilizar en las redes de automatización que pueden tolerar un cierto "no-determinismo".

Conclusiones:

EtherNet/IP representa una buena opción como sistema de comunicación basado en estándares siempre y cuando se use con ControlNet y DeviceNet. Es un sistema que se puede usar ni necesidad de un hardware especial. Sin embargo, el determinismo que puede soportar este sistema está limitado y no puede garantizar tiempo de latencia máximos.

ETHERCAT

EtherCAT significa "Ethernet para el Control de Tecnología de Automatización" (Ethernet for Control of Automation Technology). Se trata de un código abierto basado en un sistema de alto rendimiento que pretende utilizar protocolos de Ethernet (el sistema utilizado en las redes de área local) en un entorno industrial. El principio funcional, procesado en marcha, hace EtherCAT el sistema más rápido actualmente disponible.

Los medios de EtherCAT encajan bien para los ambientes industriales o de control puesto que puede ser accionado con o sin interruptores. EtherCAT es un estándar abierto que se ha publicado como especificación del IEC basada en entrada del grupo de la tecnología de EtherCAT.

La tecnología EtherCAT supera las limitaciones del sistema de otras soluciones de Ethernet: El paquete Ethernet ya no es recibido y entonces interpretado y copiado como proceso de datos en cada conexión. En lugar de ello, el marco Ethernet se procesa sobre la marcha: el recién desarrollado FMMU (campo unidad de gestión de memoria) en cada nodo esclavo lee los datos que le ha dirigido, mientras que el telegrama es enviado al dispositivo siguiente. Del mismo modo, los datos de entrada se añaden al telegrama, mientras que pasa a través del mismo. Los telegramas son sólo un retraso de unos nanosegundos.

El protocolo EtherCAT utiliza una asignación oficial Ether-type dentro del marco Ethernet. El uso de este Ether-type permite el transporte de datos de control directamente en el marco de Ethernet sin la redefinición del marco Ethernet estándar. El marco puede consistir en varios sub-telegramas, cada uno un área de memoria del proceso lógico que las imágenes pueden ser de hasta 4 gigabytes de tamaño. El direccionamiento de los terminales Ethernet pueden estar en cualquier orden porque la secuencia de datos es independiente del orden físico. Broadcast, Multicast y la comunicación entre los esclavos son posibles.

La transferencia directa en el marco Ethernet se utiliza en los casos en que EtherCAT componentes operan en la misma subred que el controlador maestro y donde el software de control tiene acceso directo al controlador Ethernet. Sin embargo, EtherCAT no se limita a aplicaciones de sistemas de control: EtherCAT los paquetes UDP EtherCAT en protocolo UDP / IP datagramas. Esto permite a cualquier unidad de control Ethernet direccionarse a los sistemas de EtherCAT. Incluso la comunicación a través de routers en otras subredes es posible. En esta variante, el rendimiento del sistema, obviamente, depende de el tiempo real las características del control y su implementación del protocolo Ethernet.

Los tiempos de respuesta de la propia red EtherCAT son apenas restringido a todos: El datagrama UDP sólo tiene que ser desempaquetado en la primera estación.

EtherCAT alcanza nuevas dimensiones en el rendimiento de la red. Gracias a FMMU en los nodos esclavos y al acceso DMA de la tarjeta de red Maestra el protocolo completo de procesamiento se lleva a cabo dentro de hardware y de esta manera, independiente del tiempo de ejecución de las pilas de protocolo, el rendimiento de la CPU o el software de implementación.

El tiempo de actualización para 1000 I / Os distribuidas está a 30 μ s. . Hasta 1486 bytes de proceso de datos pueden ser intercambiados con un único marco Ethernet - esto es equivalente a casi 12000 entradas y salidas digitales. La transferencia de esta cantidad de datos es sólo de 300 μ s.

La comunicación con 100 ejes servo es sólo de 100 μ s. Durante este tiempo, todos los ejes están siempre con los valores establecidos y los datos de control e informar acerca de su posición actual y su estado.

La técnica del reloj de distribución permite a los ejes ser sincronizado con una desviación significativa de menos de 1 microsegundo. El extremadamente alto rendimiento de la tecnología EtherCAT permite el control de conceptos que no pueden realizarse con los sistemas de bus de campo clásico. Con EtherCAT, la tecnología de la comunicación está disponible que coincida con la superior capacidad de cálculo de los modernos ordenadores industriales. El sistema de bus ya no es el "cuello de botella" del concepto de control. I / Os distribuidas se registran más rápido que con la mayoría de de interfaces locales de I / O.

Línea, árbol o estrella: EtherCAT soporta casi cualquier topología. La estructura de las líneas de bus conocidas también esté disponible para Ethernet. Se puede utilizar el cable estándar y flexible de transferencia de las señales, opcionalmente, a modo de Ethernet (100Base-TX) o por E-bus (LVDS) señal de la representación. La fibra óptica de plástico (FOP) se puede utilizar en aplicaciones especiales. El ancho de banda completo de la red Ethernet - como diferentes de fibra óptica y cables de cobre - se puede utilizar en combinación con interruptores o convertidores de medios de comunicación.

Fast Ethernet o E-bus puede ser seleccionada en función de la distancia. El Fast Ethernet física permite una longitud de cable de 100 metros entre dispositivos, mientras que la línea de E-bus está destinada a distancias de hasta 10 m. El tamaño de la red es casi ilimitado ya que se pueden conectar hasta 65535 dispositivos.

La tecnología EtherCAT es plenamente compatible con Ethernet y verdaderamente abierta. El protocolo Ethernet tolera otros servicios basados en protocolos y en la misma red física - por lo general, incluso con un mínimo de pérdida de rendimiento. No hay restricciones.

Por último, el formato de la trama de Ethercat se muestra a continuación:

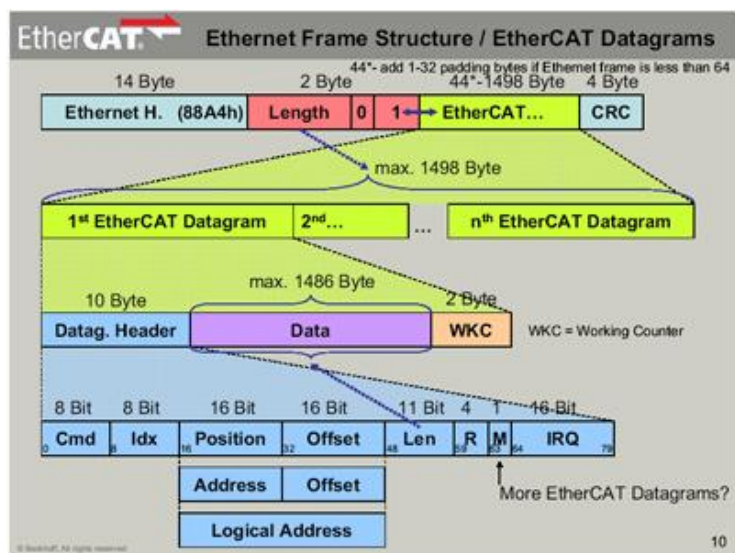


Figura 14: Formato de la trama de Ethercat

4. Bibliografía

- [1] http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1581/Ponencia_PHOENIX_profinet.pdf
- Consultada: 24 Abril
- [2] <http://www.automation.siemens.com/mcms/industrial-communication/es/ie/Pages/industrial-ethernet.aspx>
- Consultada: 24 Abril
- [3] <http://www.conectronica.com/Ethernet-Industrial/PROFINET-la-revoluci%C3%B3n-industrial-de-Ethernet.html>
- Consultada: 24 Abril
- [4] <http://www.ethernetindustrial.es/>
- Consultada: 24 Abril
- [5] http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1582/Ponencia_SIEMENS_ComInd.pdf
- Consultada: 24 Abril
- [6] http://isa.uniovi.es/docencia/ra_marina/cuatrim2/Temas/11%20-%20PROFINet.pdf
- Consultada: 24 Abril
- [7] <http://es.wikipedia.org/wiki/EtherCAT>
- Consultada: 24 Abril
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/PROFINET>
- Consultada: 24 Abril
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/EtherNet/IP>
- Consultada: 24 Abril
- [10] http://www.siemon.com/la/white_papers/03-10-13-ethernet-ip.asp
- Consultada: 24 Abril
- [11] <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/ethernetipdescripciondelistema.pdf>
- Consultada: 24 Abril
- [12] <http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1114/1.pdf>
- Consultada: 24 Abril