
GUÍA DE ESTUDIO TEMA 13. PROFIBUS

OBJETIVOS

- Ofrecer una idea global de la estructura básica de una red PROFIBUS:
- Mecanismos de acceso al medio.
- Mecanismos de transmisión
- Diferentes tipos de estaciones y sus máquinas de estados.

INTRODUCCIÓN

- Bus serie para interconectar dispositivos de campo.
- Predominante aplicación industrial: control y automatización.
- Estándares: DIN19245 y CENELEC 50170.
- Tres perfiles:
 - PROFIBUS-FMS (*Fieldbus Message Specification*): tareas de comunicaciones industriales en el nivel superior (nivel de célula) y en el nivel de dispositivos de campo.
 - PROFIBUS-DP (*Distributed Peripheral*): versión optimizada en prestaciones y dedicada especialmente a comunicaciones críticas en el tiempo entre sistemas de automatización y la periferia distribuida.
 - PROFIBUS-PA (*Process Automation*) es la versión utilizada en automatización. Permite seguridad intrínseca y alimentación de las estaciones por el bus.
- Dos tipos de estaciones:
 - Principal (maestro o activa): capaces de controlar el bus y transferir mensajes.
 - Subordinadas (esclavas o pasiva): periféricos más sencillos. No tienen derechos de acceso al bus, sólo confirman o responden mensajes enviados por una estación principal. Implementan un protocolo más sencillo.
 - Cada estación tiene una dirección única.
- 3 niveles OSI: PHY (física), FDL (enlace) y FMS/LLI (aplicación).
- 2 capas de gestión de red: FMA 7 (controla FMS y LLI) y FMA 1/2 (gestiona PHY y FDL).

CAPA FÍSICA. PHY

■ Medio Físico:

- ❑ Par de hilos trenzados y apantallados.
- ❑ El cable de bus debe terminarse con resistencias, que deben complementarse con una resistencia conectada a la masa de datos (pulldown) y otra conectada a la alimentación (pullup). Así se consigue que exista un valor de tensión bien definido en el bus cuando no hay ninguna estación transmitiendo.
- ❑ Las estaciones se conectan al bus con un conector de 9 patillas sub-D. El conector hembra se monta en la estación y el macho en el cable.
- ❑ Puede usar fibra óptica para aumentar la longitud del bus y trabajar en entornos ruidosos.

CAPA FÍSICA. PHY

■ Método de transmisión:

- ❑ Técnica de transmisión asíncrona orientada al carácter (11 bits: 1 bit de inicio, 8 de datos, 1 de paridad y 1 de fin).
- ❑ Codificación de cada bit: NRZ
- ❑ Entre dos tramas consecutivas debe transcurrir un tiempo en el que el bus está a 1 lógico durante 3 caracteres (33 bits).

■ Topología:

- ❑ Red = uno o varios segmentos.
- ❑ Repetidores bidireccionales: para unir segmentos.
- ❑ 32 cargas/segmentos y 3 repetidores máximo \Rightarrow 127 estaciones.

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

- Determina los medios para establecer, mantener e interrumpir un enlace de datos entre varias estaciones.
- Se añade información de control adicional a los datos a transmitir formando paquetes de datos.
- Transmisiones: a una estación (a su dirección), multidifusión (a varias) o difusión (a todas).
- Los parámetros de operación incluyen parámetros de bus (iguales para todas las estaciones) y parámetros específicos de cada estación.
- Parámetros obligatorios: dirección de estación, velocidad de transmisión y si se desea o no entrar en el anillo.
- Parámetros importantes:
 - Estaciones principales: factor de actualización del GAP (G) y tiempo de rotación objetivo(T_R).
 - Estaciones secundarias: mínimo tiempo de retardo de estación (min T_{SDR})

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

1. Método de acceso al medio controlado e híbrido:

- ❑ Entre estaciones principales: método descentralizado, determinista mediante multiplexado por división en el tiempo, por paso de testigo.
- ❑ Entre estaciones principales y subordinadas: método de sondeo y selección (polling)
- ❑ El testigo pasa automáticamente de una estación principal a la siguiente, en orden ascendente de número de estación, y desde la última de nuevo a la primera. El control del paso del testigo lo gestiona cada estación conociendo la dirección en el anillo lógico de su estación predecesora (PS, *Previous Station*) de la que recibe el testigo, la de su sucesora (NS, *Next Station*) a la que le envía el testigo y la suya propia (TS, *This Station*). Cada estación principal determina estos parámetros en la inicialización y los actualiza dinámicamente durante su operación, si es necesario.
- ❑ El método híbrido PROFIBUS posibilita sistemas diversos:
 - principal-subordinado: una estación principal y varias subordinadas.
 - principal-principal: todas principales y método de paso de testigo.
 - mezcla de las anteriores.

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

2. Procedimiento de transmisión:

- ❑ El intercambio de mensajes tiene lugar en ciclos.
- ❑ **Ciclo de mensaje:** una trama de acción enviada por la estación principal que tiene en ese momento el testigo, a una estación principal o subordinada, y la correspondiente trama de confirmación o respuesta de esta última.
 - Los datos de usuario pueden transmitirse en la trama de acción (envío) o en la trama de respuesta (recepción).
 - Las tramas de confirmación no transportan datos de usuario.
 - Los ciclos de mensajes sólo se interrumpen para realizar la transmisión del testigo o para el envío de datos a varias (*multicast*) o a todas (*broadcast*) las estaciones. En ambos modos sin confirmación.
- ❑ Tiempo de ranura: tiempo en el que la emisora (iniciadora) debe recibir confirmación.
 - Si no \Rightarrow reintenta la transmisión tras un Tiempo de espera.
 - Si la estación direccionada no responde después de un número determinado de intentos \Rightarrow se marca "no operacional" y queda en ese estado hasta que se completa un ciclo de mensaje.

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

3. Gestión de testigo:

1. Paso de testigo:

- Entre estaciones principales en orden creciente mediante trama testigo.

2. Recepción de testigo:

- Cuando una estación principal recibe una trama testigo:

Dirección de destino = TS (su dirección) Y

Si Dirección origen = PS LAS¹ ⇒ se apropia de él y puede ejecutar ciclos de mensajes.

Si Dirección origen ≠ PS ⇒ error y no acepta el mensaje.

Si hay un nuevo reintento de la misma PS, se acepta y se actualiza la LAS.

¹LAS = lista de estaciones activas: se crea después de la inicialización y se va actualizando con la llegada de testigos.

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

3. *Transmisión de testigo:*

- La estación que tiene el testigo intenta pasarlo a su estación sucesora (NS) cuando termina de enviar todos los mensajes de alta y baja prioridad, incluido el mantenimiento de la lista de GAP, o bien cuando se queda sin tiempo de retención del testigo.
- Si tras pasar el testigo y esperar el tiempo de sincronización (menor que el tiempo de ranura):
 - Detecta en el bus una trama válida \Rightarrow su NS tiene el testigo y está ejecutando ciclos de mensajes.
 - Detecta en el bus una trama inválida \Rightarrow otra estación (\neq NS) está transmitiendo.
- Si pasa el tiempo de ranura sin actividad en el bus \Rightarrow reintenta el paso de testigo dos veces.
 - Si pasados los dos intentos NS no tiene actividad \Rightarrow TS trata de pasar el testigo a la siguiente estación de su LAS.
 - Continúa hasta encontrar un sucesor o determinar que es la única estación en el bus.
 - Si no hay más estaciones \Rightarrow retira el testigo e inicia nuevos ciclos de mensajes.
 - Si no hay nada pendiente \Rightarrow se pasa el testigo a sí misma.
 - Cuando actualiza el GAP y encuentra otro sucesor, intenta pasarle el testigo.

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

4. Conexión y desconexión de estaciones.

- ❑ Las estaciones, tanto principales como subordinadas, pueden conectarse o desconectarse del medio de transmisión en cualquier momento.
- ❑ Cada estación principal en el anillo lógico es responsable de añadir nuevas estaciones o eliminar estaciones existentes, cuyos números de estación estén comprendidos entre el suyo (TS) y su sucesor (NS). Este rango de direcciones se denomina GAP y se representa en la lista de GAP (GAPL). El procedimiento es:
 - Cada estación principal examina su GAP (cada cierto tiempo: tiempo de actualización del GAP).
 - Envía la trama de acción "Request FDL Status with Replay" y esperando la confirmación durante un tiempo de ranura.
 - Si no hay confirmación ⇒ reintentará registrar la estación sólo si ésta existe en el GAPL.
 - Las estaciones que están en el GAPL (registradas anteriormente) y que no responden ⇒ eliminan del GAPL y se marcan como no operacionales (no se reintentan).
- ❑ Actualización del GAP: una en cada recepción de testigo siempre que quede tiempo de recepción después de completar los ciclos de mensajes pendientes.
- ❑ Respuestas posibles a la trama "Request FDL Status with Replay":
 - Estación secundaria: "slave station"
 - Estación principal:
 - ❑ "not ready"
 - ❑ "ready to enter logical token ring" ⇒ ésta será la NS de la que envió la trama Request ⇒ la estación que tiene el testigo modifica su GAP, GAPL y LAS.
 - "master station in logical ring" ⇒ error
 - ⇒ la estación que tiene el testigo no cambia su GAPL y pasa el testigo a su NS
 - ⇒ la estación que responde incorrectamente se retira del bus y genera de nuevo la LAS y espera a que su estación PS la invite a volver al anillo.

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

5. Inicialización del anillo lógico:

- ❑ Si después del encendido una estación se encuentra en el estado *Listen-Token* y no hay actividad en el bus (temporizador Time Out) ⇒ la estación toma el testigo y comienza la inicialización del bus en estado *Claim Token*.
- ❑ Siempre va a comenzar la inicialización del sistema PROFIBUS la estación principal con dirección de red más baja.
- ❑ Proceso:
 - Transmite dos tramas testigo con TS=dir_origen=dir_destino, para informar a las demás estaciones principales que ella es la única en el bus ⇒ las demás estaciones principales completan la creación de su LAS, con esta estación.
 - Transmite una trama "Request FDL Status with Reply" a cada estación en orden ascendente para intentar registrar otras estaciones que quieran entrar en el anillo.
 - Si una estación responde con "master station not ready" o con "slave station" la pone en su GAPL.
 - La primera estación principal que contesta con "ready to enter logical token ring" se registra como NS en la LAS y con ello se cierra el GAP de la estación que tiene el testigo.
 - Ahora que ya se conoce la estación sucesora se le pasa el testigo. Si después de recorrer todo el GAP no se encuentra ninguna estación sucesora, entonces se pasa el testigo a sí misma y entra en el estado *Use-Token*.
- **Reinicialización del anillo por pérdida de testigo:**
 - ❑ Las listas LAS y GAPL de las estaciones principales existen y son válidas.
 - ❑ Expira Time Out ⇒ la estación con dirección más baja pasa a estado *Active_Idle* ⇒ Genera el testigo y pasa a *Claim Token*. ⇒ Envía mensajes en *Use-Token* o pasa el testigo a su sucesora (si no tiene mensajes).

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

6. **Tiempo de rotación objetivo T_{TR}** : intervalo de tiempo en el cual el testigo debe de recorrer completamente el anillo lógico.
- La asignación fija de tiempos de transmisión desperdicia tiempo \Rightarrow distribución de tiempo flexible:
 - Se usa un temporizador en cada estación principal que mide el tiempo de rotación real del testigo T_{RR} . La estación transmite si $T_{RR} < T_{TR}$.
 - Prioridades: Independientemente del tiempo T_{RR} , cada estación principal siempre puede ejecutar un mensaje de alta prioridad por testigo recibido.
 - Para poder ejecutar otros mensajes de alta o baja prioridad $T_{RR} < T_{TR}$
 - El mínimo T_{TR} depende del número de estaciones principales, duración de los ciclos del testigo y duración de los ciclos de mensajes de alta prioridad. Además debe ser suficiente para realizar ciclos de mensajes de baja prioridad y tener además un margen de seguridad para posibles reintentos.

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

7. Modos de envío:

- **Envío/petición acíclico:** se envían ciclos de mensajes esporádicos.
 - Se inicia cuando recibe el testigo y debido a una petición del usuario.
 - Si hay varias peticiones se continúa este modo de operación mientras exista tiempo de retención del testigo.
- **Envío/petición cíclico:** la estación principal direcciona otras estaciones cíclicamente con la trama "*Send and Request Data* (prioridad baja)" de acuerdo con una secuencia predeterminada denominada lista de consulta (*Poll List*) que le pasa el usuario al FDL
 - Las estaciones de la lista que no responden durante una consulta, incluyendo los posibles reintentos, se marcan como no operacionales.
 - La gestión de la lista de consultas cíclicas se hace cuando ya no hay mensajes de alta prioridad por enviar ⇒ en el tiempo de retención para mensajes de baja prioridad.
 - Primero se envían los ciclos de consulta.
 - Si queda tiempo se envían los mensajes de baja prioridad en el mismo orden que llegaron.
 - Si no queda tiempo, se espera al siguiente período disponible para envío de mensajes de baja prioridad.
 - Si el ciclo de consulta necesita varias recepciones del testigo ⇒ su procesamiento se hace de forma segmentada pero sin intercalar otros ciclos de mensajes de baja prioridad en medio. Estos últimos sólo se llevan a cabo cuando se completa el ciclo de consulta.

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

8. Si el usuario solicita una lista de estaciones conectadas
⇒ Modo de operación **Petición del estado de todas las estaciones**.
 - Se inicia al acabar los mensajes de baja prioridad.
 - Las estaciones principales que no están en la LAS y que contestan se introducen la lista de estaciones vivas.
9. **Prioridad de las tramas**: alta o baja.
 - Al recibir el testigo, la estación envía los datos de **alta prioridad** siempre con los posibles reintentos, incluso aunque expire el tiempo de retención de testigo (reducirá el tiempo de la siguiente posesión).
 - El orden de los servicios de **baja prioridad** es:
 - Lista de consulta (cíclica)
 - Mensajes de baja prioridad (acíclicos)
 - Lista de estaciones vivas
 - Actualización del GAP (una dirección por cada posesión).

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

10. Seguridad en los datos y gestión de errores

- PROFIBUS utiliza distancia Hamming de 4 para la detección de errores.
- No proporciona mecanismos de corrección.
- El nivel de enlace detecta y corrige errores en el anillo lógico: aparición de varios testigos, pérdida de testigo, error en el paso de testigo, direcciones duplicadas, estaciones con receptores defectuosos, etc.
- Causas de error: transmisores defectuosos, medio mal apantallado, reflexión de señales, excesiva diferencia entre las frecuencias del emisor y el receptor, etc.
- Errores detectables: de trama, de "overrun", de paridad, etc.
- Si la estación recibe una trama de acción errónea no la procesa (ni confirma ni responde) ⇒ el emisor la reintentará.
- Si la estación recibe una trama de confirmación o respuesta errónea ⇒ no la acepta y reenvía la trama de acción.
- Un ciclo de mensaje se da por finalizado cuando:
 - El iniciador:
 - recibe una confirmación o respuesta válida
 - no obtiene respuesta después de los reintentos
 - El respondedor:
 - recibe una nueva petición del mismo iniciador con bit FCB cambiado
 - recibe una petición de otro iniciador
 - la trama de acción es para otra estación

CAPA de ENLACE de DATOS. FDL

11. Servicio de transferencia de datos:

- ❑ Acíclicos:
 - SDA: la estación principal envía un mensaje a la subordinada que sólo puede confirmarlo inmediatamente.
 - SDN: multidifusión o difusión sin confirmación.
 - SRD: se piden datos a la subordinada, pudiendo enviarle datos o no en la trama de petición. La subordinada envía datos inmediatamente (tiempo real).
- ❑ Cíclicos:
 - CSRD: sondeo cíclico de las estaciones de la lista de consulta.

APLICACIONES y PRODUCTOS COMERCIALES

1. Medio de comunicación para intercambiar información entre sistemas de automatización industrial y dispositivos de campo distribuidos.
2. Fabricación y automatización de procesos y edificios.
3. Dispositivos implementables con PROFIBUS:
 - Estaciones subordinadas DP sencillas
 - Estaciones subordinadas inteligentes FMS y DP.
 - Estaciones principales complejas FMS y DP.
 - Dispositivos para el protocolo PA.

CONCLUSIONES

- PROFIBUS es el bus con más aceptación a nivel mundial.
- Se trata de un bus serie asíncrono orientado a caracteres de 11 bits.
- Apropiado para comunicaciones en tiempo real.
- Las estaciones principales tienen una gestión de tiempos, temporizadores y contadores muy complicada, que complican la implementación del protocolo, pero favorecen su robustez.
- El método de acceso híbrido, paso de testigo entre principales y sondeo con secundarias, garantiza el tiempo de respuesta máximo de la respuesta y admite varios modelos de control.