

Calidad de Servicio en la Red Industrial WorldFIP

Miguel Angel León Chávez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Computación
14 Sur y Av. San Claudio, CP 72570, Puebla, México
Tel. (+52) 222 229 55 00 ext. 7213 Fax (+52) 222 229 56 72
email: mleon@cs.buap.mx

Resumen. Este artículo presenta un análisis de la Arquitectura de Calidad de Servicio de WorldFIP, la cual es una red industrial, conocida también como bus de campo (Fieldbus). El análisis muestra que esta red satisface y garantiza, en línea, la transmisión de los mensajes periódicos usando mecanismos que son configurados fuera de línea. Sin embargo, mientras las aplicaciones industriales se ejecutan, es decir en línea, existen también mensajes aperiódicos, producto de eventos aleatorios, cuya transmisión no está garantizada dentro de un intervalo de tiempo dado, por lo que se requieren nuevas arquitecturas de calidad de servicio que ofrezcan servicios garantizados en línea. Este artículo presenta entonces la especificación, usando el Lenguaje de Especificación y Descripción (SDL), de una arquitectura de calidad de servicio para WorldFIP.

Palabras claves: Redes Industriales, Calidad de Servicio y WorldFIP.

1 Introducción

Las Redes Industriales (RI) o buses de campo (Fieldbus) son redes de área local (LANs) cuyo propósito original fue conectar toda clase de dispositivos en la industria, tales como sensores, actuadores, transmisores, controladores programables, máquinas, procesadores, terminales, etc. Actualmente estas redes soportan las aplicaciones distribuidas de supervisión y de control industrial. Generalmente, las estas redes están basadas en una arquitectura en capas, la cual sólo incluye la capa física, la capa de enlace de datos y la capa de aplicación, de acuerdo al modelo de referencia OSI.

Hoy en día existe una aproximación para definir la Arquitectura de Calidad de Servicio (Quality of Service, QoS) de las RI, es decir el estándar [IEC 61158] el cual se puede ver como una colección de estándares ya que define ocho tipos de servicio de enlace de datos (Data Link Services, DLS) numerados del 1 al 8, cada uno correspondiendo a un estándar de RI, como sigue: TS 61158, ControlNet, Profibus, P-Net, Foundation Fieldbus, SwiftNet, WorldFIP e Interbus.

En esta aproximación, un usuario de los DLS puede seleccionar, directa o indirectamente, los parámetros de los atributos de QoS con el fin de determinar la calidad de los DLS. Sin embargo, los atributos de QoS (es decir, prioridad, retraso máximo de confirmación, autenticación, política de despacho y “timeliness”) que define el IEC 61158 sólo están definidos por el tipo 1 de DLS, es decir el TS 61158. El IEC 61158 pretende generalizar esta arquitectura de QoS para el resto de los tipos de DLS mapeando los atributos de QoS y definiendo las entidades de enlace de datos para controlarlos, como en el caso de SwiftNet.

Otra aproximación es definir una arquitectura de QoS basada en el modelo Cliente-Servidor [León, 2001], el cual se usa para modelar las interacciones entre las capas del modelo de referencia OSI, donde una capa es un cliente de su capa inferior y una capa es un servidor de su capa superior. Este artículo analiza la red industrial WorldFIP y presenta la especificación, usando el Lenguaje de Especificación Descripción (SDL), de una arquitectura de QoS para WorldFIP basada en el modelo cliente-servidor.

El resto del presente artículo está organizado como sigue: el capítulo 2 analiza la red industrial WorldFIP, el capítulo 3 presenta la especificación SDL de la arquitectura de QoS para WorldFIP, finalmente se presentan las conclusiones y algunas perspectivas.

2 WorldFIP

“World Factory Instrumentation Protocol” (WorldFIP) [EN50170-3] define un Arbitro del Bus (AB) el cual otorga permiso para transmitir a cada productor de información. La capa de aplicación envía al AB, el cual se encuentra en la capa de enlace de datos, un conjunto de primitivas de solicitud de servicio que describen la ejecución de los Ciclos Básicos y los Macro Ciclos (el encadenamiento de uno o más Ciclos Básicos).

Un Ciclo Básico está compuesto de al menos una ventana, la ventana periódica, y a lo más de cuatro ventanas: una ventana periódica, una ventana de variables aperiódicas, una ventana de mensajes aperiódicos y posiblemente una ventana de sincronización para ajustar la duración constante del Ciclo Básico, como se muestra en la figura 1.

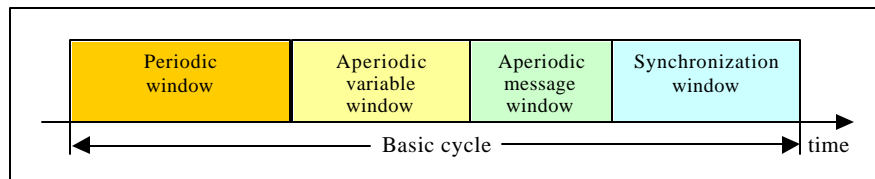


Fig. 1. Ciclo Básico de WorldFIP.

Cada variable de una aplicación industrial distribuida es identificada por un identificador único y cada nodo puede ser un productor y/o consumidor de una o más variables. Durante la ventana periódica, el AB lee una lista de variables periódicas y transmite cada identificador de variable por la red. Cada variable tiene sólo un productor, los consumidores que necesiten utilizar una variable, alertados por su identificador, almacenan y usan el valor transmitido por el productor.

Cuando se produce una variable aperiódica o un mensaje aperiódico, el productor utiliza la respuesta, de un identificador de variable periódica recibido, para solicitar su transmisión. El AB almacena el identificador, que lleva la respuesta, en la lista apropiada. Después de terminar de transmitir los identificadores de variables periódicas, el AB maneja las variables aperiódicas y los mensajes aperiódicos solicitados en la misma forma que las variables periódicas en su respectiva ventana, donde los productores involucrados responden con los valores corrientes.

Se puede notar que las ventanas de un Ciclo Básico proporcionan dos niveles de QoS, es decir, la ventana periódica provee un servicio garantizado cíclico y las ventanas de variables y de mensajes aperiódicos proveen un servicio del mejor esfuerzo. De hecho, en [Song, 1991] se presenta una evaluación del rendimiento de WorldFIP y se muestra que es posible calcular y acotar el retraso en la transferencia de los mensajes para construir la lista de variables

periódicas y para calcular el tamaño de la ventana periódica en un Ciclo Básico. Por otro lado, las ventanas de variables y de mensajes aperiódicos sólo proveen el servicio del mejor esfuerzo ya que si la duración de la ventana de sincronización es cero, en cualquier Ciclo Básico, entonces nuevas solicitudes de transmisión de variables y de mensajes aperiódicos serán realizadas en el siguiente Ciclo Básico y por lo tanto no es posible acotar el retraso en la transmisión de estos mensajes.

Se puede notar además, que WorldFIP usa un mecanismo de reservación de recursos estático y centralizado, es decir, existe un nodo, el AB, que tiene diferentes listas de identificadores que definen en cualquier momento los requerimientos en comunicación de todos los nodos. En particular, los requerimientos de transmisión de variables periódicas son conocidos a priori y no cambiarán durante la ejecución de la aplicación, de aquí es posible asignar un identificador a cada variable periódica.

Aún más, si el número de nodos incrementa o si el número de variables periódicas cambia es necesario detener la aplicación con el fin de determinar si el nuevo conjunto de requerimientos puede ser satisfecho y garantizado. Si es así, los requerimientos son configurados y la aplicación reiniciada.

3 Arquitectura de QoS para WorldFIP

Con el fin de definir una Arquitectura de QoS para WorldFIP que ofrezca servicios garantizados en línea, este artículo propone usar la aproximación de reservación de recursos, es decir, antes de que la red provea un servicio garantizado, los recursos necesarios para proveerlo deben ser reservados y asignados. Así, un componente básico de esta arquitectura es un Protocolo de ReSerVación de Recursos (RSVP). En las siguientes secciones se presentan los criterios de diseño de este protocolo y su especificación.

3.1 Criterios de diseño del RSVP-WorldFIP

El Protocolo de ReSerVación de Recursos debe tomar en cuenta la existencia de dos usuarios principales de WorldFIP: los humanos y los dispositivos. Los usuarios humanos son la gente que está a cargo del control, de la producción, del mantenimiento, de la administración técnica, etc. Los usuarios dispositivos son los dispositivos de campo interconectados por WorldFIP. Los usuarios humanos pueden enviar solicitudes de servicio al Arbitro del Bus con el fin de configurar dinámicamente una variable o un nodo, pero también para observar el valor de una variable o de una lista de variables. Por otro lado, los dispositivos sólo pueden configurar dinámicamente una variable.

Un punto clave de la especificación del RSVP es la regularidad de la producción de las variables, es decir, si la variable es periódica o aperiódica. En el caso de las variables periódicas, el protocolo de reservación debe permitir especificar su validez, llamada validez de reservación, es decir, el intervalo de tiempo durante el cual la variable será producida, por ejemplo, un día, un mes, un año, etc. Esta aproximación se conoce con el nombre de reservación por adelantado.

Además de la regularidad, el RSVP-WorldFIP debe permitir especificar el nombre de la variable, su tiempo inicial de producción y si los parámetros de QoS son negociables o no. Cabe señalar que este protocolo es un protocolo para reservar recursos, es decir para configurar en línea nuevas variables y nodos, y no es un protocolo de aplicación ni de control de acceso al medio. La tarea del protocolo RSVP es establecer y mantener la reservación de recursos entre los nodos y el Arbitro del Bus y entre los usuarios humanos y el AB.

3.2 Especificación SDL de la Arquitectura de QoS de WorldFIP

El RSVP y la arquitectura de QoS son especificados en el Lenguaje de Especificación y Descripción (Specification and Description Language, SDL) [ITU-T, Z.100] porque es un lenguaje que es inteligible a los humanos y lo suficientemente formal para soportar el análisis y la comparación de funcionamiento [Bræk, 1996].

Para propósitos de validación, SDL utiliza el término modelo de validación, el cual es una descripción del sistema disponible para su validación, es decir para aplicarle técnicas de validación tales como pruebas del modelo formal, la validación exhaustiva (análisis de alcanzabilidad), validación no exhaustiva (análisis de un subconjunto aleatorio de estados alcanzables), simulación y técnicas de validación informal (checklist).

Un modelo de validación es siempre ejecutable. Así, para construir el modelo de validación de la arquitectura de QoS de WorldFIP así como las primitivas de servicio del RSVP se utilizó la herramienta ObjectGEODE, la cual incluye un editor SDL, un editor MSC, un chocador, un simulador interactivo, un simulador exhaustivo, generador de código C y C++, librerías y un trazador de diseño [Hogrefe, 1996].

Las primitivas de servicio del RSVP de WorldFIP se presentan a continuación:

- ⌘ *ShowListVarPeriod*, solicitud para mostrar la lista de variables periódicas al usuario
- ⌘ *ShowListVarAperiod*, solicitud para mostrar la lista de variables aperiódicas al usuario
- ⌘ *ShowListMsgAperiod*, solicitud para mostrar la lista de mensajes aperiódicos al usuario
- ⌘ *ShowVar*, solicitud para mostrar una variable al usuario
- ⌘ *CfgVar*, solicitud para configurar en línea una variable
- ⌘ *ListVarPeriod*, respuesta para mostrar la lista de variables periódicas al usuario
- ⌘ *ListVarAperiod*, respuesta para mostrar la lista de variables aperiódicas al usuario
- ⌘ *ListMsgAperiod*, respuesta para mostrar la lista de mensajes aperiódicos al usuario
- ⌘ *Var*, respuesta para mostrar una variable al usuario
- ⌘ *CfgAccept*, respuesta para indicar que *CfgVar* es aceptada
- ⌘ *CfgReject*, respuesta para indicar que *CfgVar* no es aceptada
- ⌘ *CfgVarPC*, solicitud de un nodo productor/consumidor para configurar en línea una variable
- ⌘ *CfgAcceptPC*, respuesta para indicar que *CfgVarPC* es aceptada
- ⌘ *CfgRejectPC*, respuesta para indicar que *CfgVarPC* no es aceptada
- ⌘ *VarModify*, solicitud para modificar una variable previamente configurada. Esta primitiva de servicio no es especificada en la versión actual del protocolo.
- ⌘ *VarDeallocate*, solicitud para liberar los recursos de una variable previamente configurada. Esta primitiva de servicio no es especificada en la versión actual del protocolo.

En SDL, el funcionamiento siempre se realiza en el contexto de un sistema (system), empezando con una descripción a alto nivel del sistema. La Fig. 2 muestra la especificación del sistema newWorldFIP, la cual está compuesta de los bloques siguientes: las capas de aplicación y de enlace de datos del Arbitro del Bus (ApplicaLayerBA y DataLinkLayerBA), la capa de enlace de datos de los nodos productores y/o consumidores (DataLinkLayerPC1,...,N) y la capa física. Estos bloques están interconectados por canales (channels), nombrados c0, c1, c2 y c3. El canal ca conecta el Arbitro del Bus con el medio ambiente y es la interfaz con el usuario. Además, la figura 2 muestra la señales (signals) que pasan en cada dirección sobre los canales, como lo indican las flechas de los canales. Más aún, esta figura muestra la declaración de las señales así como la declaración de las siguientes estructuras de datos: RSV, ListVP, ListVA y ListMsgA. RSV define los parámetros de QoS que usan las primitivas de servicio definidas arriba, las listas definen los identificadores de las variables periódicas (ListVP), las variables aperiódicas

(ListVA) y los mensajes aperiódicos (ListMsgA). Cabe señalar que esta última lista se definió sólo con fines de simulación ya que los mensajes no tienen asignado un identificador.

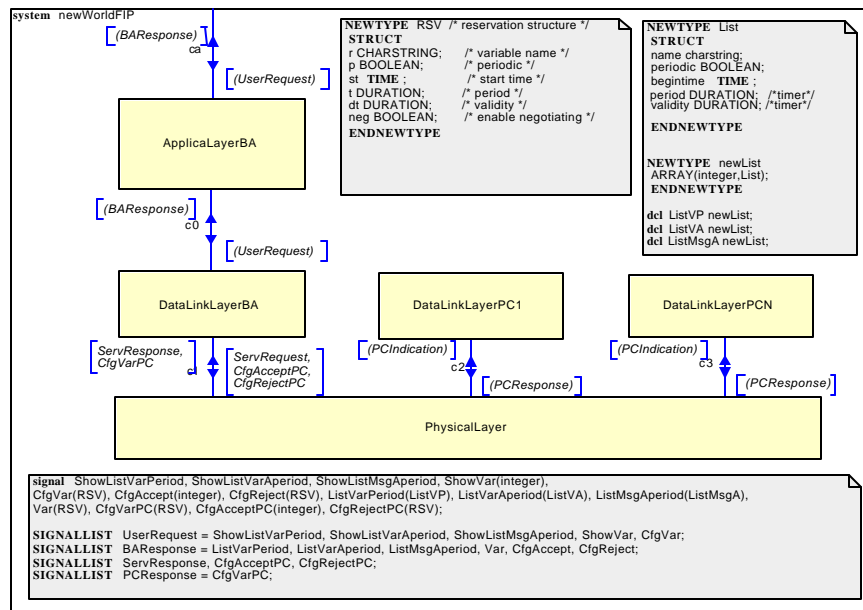


Fig. 2. Sistema newWorldFIP

En SDL un sistema sólo aparece en el ámbito superior, mientras que los bloques (blocks) sólo aparecen dentro de un sistema. El sistema se descompone recursivamente en bloques y canales en tantos niveles como sea necesario hasta alcanzar el componente básico, llamado proceso (process).

Las figuras 3 y 4 presentan los bloques aplicación y enlace de datos del Arbitro del Bus, los cuales están compuestos de procesos. Se puede notar la arquitectura de QoS del modelo Cliente-Servidor entre estos bloques. La Fig. 5 presenta el bloque de enlace de datos de los nodos productor y/o consumidor. La Fig. 6 presenta el bloque de capa física y se asume que se dispone de un medio confiable para la transferencia de datos.

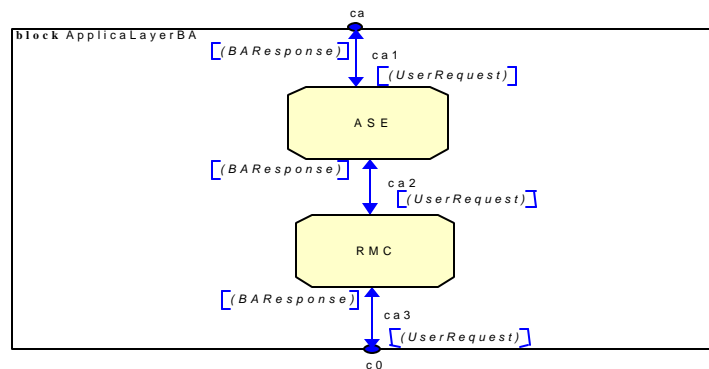


Fig. 3. Bloque de aplicación del Arbitro del Bus.

Un proceso SDL es un objeto concurrente con su propio flujo de control y es descrito por una Máquina Extendida de Estados Finitos Comunicantes (Extended Communicating Finite State Machine, FSM), la cual es compuesta de las siguientes partes: puerto de entrada, FSM, timers y variables.

El Puerto de entrada contiene una cola infinita de señales de entrada, Las señales que llegan a un proceso son reunidas en el puerto de entrada y son ordenadas en el orden en que llegan, los conflictos se resuelven seleccionando un orden secuencial arbitrario. Las señales permanecerán en el puerto de entrada hasta que sean consumidas por la FSM, la cual realiza una transición de un estado a otro por cada señal consumida. Esta transición toma un tiempo corto pero indefinido. En el caso de que no haya señales en el puerto de entrada, la FSM permanecerá en el mismo estado hasta que llegue una señal. En cada transición, la FSM puede generar señales de salida; realizar operaciones sobre las variables y sobre los timers. Este funcionamiento estado-transición de la FSM se expresa en términos de un diagrama de proceso, los cuales no se muestran por falta de espacio.

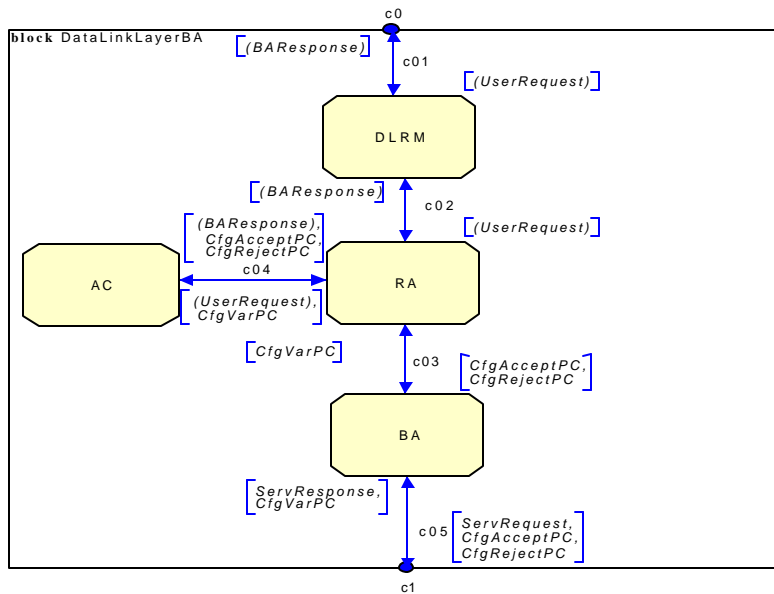


Fig. 4. Bloque de enlace de datos del Arbitro del Bus.

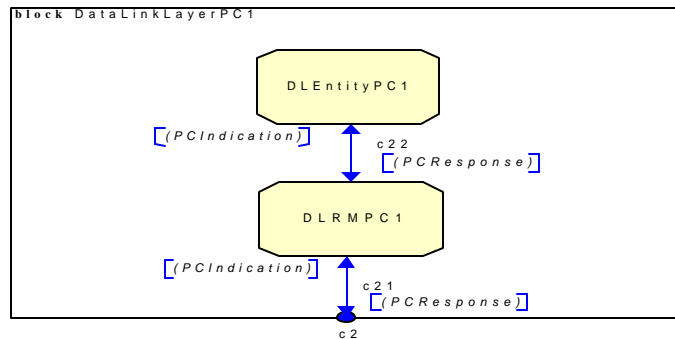


Fig. 5. Bloque de enlace de datos de los nodos Productor/Consumidor

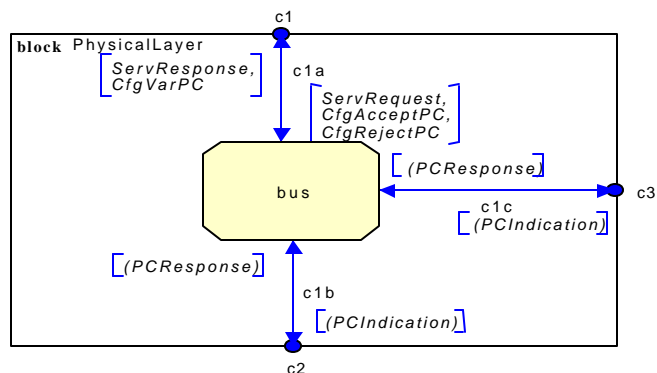


Fig. 6. Bloque de la capa física

Conclusión

Este artículo ha presentado un análisis de la arquitectura de Calidad de Servicio (QoS) de la red de campo, o Fieldbus, WorldFIP, la cual se utiliza en aplicaciones de fabricación distribuida donde la mayor parte del tráfico está compuesto de variables periódicas, las cuales se conocen a priori, es decir antes de que la aplicación se ejecute, por lo que WorldFIP puede garantizar retrasos en la transmisión acotados y el despacho de los identificadores en línea, es decir mientras la aplicación se ejecuta. Sin embargo, este servicio garantizado no se ofrece para los variables aperiódicos ni para los mensajes aperiódicos.

El artículo ha presentado también la especificación de una nueva arquitectura de QoS de WorldFIP y de un Protocolo de ReSerVación de Recursos (RSVP) entre los nodos productores y/o consumidores y el Arbitro del Bus y entre éste y los usuarios humanos con el fin de ofrecer un servicio garantizado en línea. La especificación se realizó usando el Lenguaje de Especificación y Descripción (SDL) y se verificó por simulación usando la herramienta ObjectGEODE.

El protocolo RSVP-WorldFIP permite configurar en línea nuevas variables periódicas y aperiódicas involucrando un proceso de negociación de los parámetros de QoS. Este protocolo es un protocolo de señalización de la reservación, por lo que las primitivas de servicio de WorldFIP han permanecido inalterables, tales como las de configuración del Micro Ciclo y las del Macro Ciclo, las cuales no se muestran en la especificación presentada.

Esta arquitectura de QoS puede ser extendida para las configuraciones distribuidas, tales como la de ControlNet, donde no existe un nodo que coordine las comunicaciones y esta extensión es nuestro trabajo de investigación futuro.

Referencias

- [IEC 61158] International Electrotechnical Commission. Digital Data Communications for Measurement and Control – Fieldbus for use in Industrial Control Systems. IEC 61158, 1999.
- [León, 2001] M. León, “Quality of Service and Fieldbuses”, in *Proceedings of the 2001 Fieldbus Technology (FeT)*, Nancy, France, pp. 160-164.

- [EN50170-3] CENELEC EN 50170-3, WorldFIP, General Purpose Field Communication System, EN 50170-3, 1995.
- [Song, 1991] Song, Y-Q. Etude de Performance de FIP, Aide au Dimensionnement d'Applications. *Ph.D. Thèse*, INPL, France, 1991.
- [ITU-T, Z.100] ITU-T, ITU Recommendation Z.100, *The Specification and Description Language (SDL)*; ITU, Geneva, 2000.
- [Bræk, 1996] R. Bræk, "SDL Basics", *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 28, no. 12, 1996, pp. 1585-1602.
- [Hogrefe, 1996] D. Hogrefe, "Validation of SDL systems", *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 28, no. 12, 1996, pp. 1659-1668.