

O Bus de Campo FIP

Carlos Cardeiras^(*, 1, 2), Jean-Pierre Thomesse⁽³⁾

⁽¹⁾ *Secção de Sistemas, DEM, Instituto Superior Técnico
Avenida Rovisco Pais, P-1096 Lisboa Codex, Portugal
D2462@ist. utl. pt*

⁽²⁾ *CRAN (Centro de Recherche en Automatique de Nancy,
Ensem, 2 av de la Forêt de Haye, F-54516 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France
ccardeir@ensem. u-nancy.fr ou cardeira@loria.fr*

⁽³⁾ *CRIN (Centre de Recherche en Informatique de Nancy)
Ensem, 2 av de la Forêt de Haye, F-54516 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France
tohomesse@ensem.u-nancy.fr ou thomesse@loria.fr*

^(*) *Programa Ciência-JNICT (BD-1052)*

resumo

Neste artigo apresentamos uma introdução ao protocolo FIP (Factory Instrumentation Protocol), um dos protocolos concorrentes à norma internacional de bus de campo actualmente em discussão. Essencialmente este artigo pretende ser uma introdução à problemática dos bus de campo em geral e apenas nos últimos parágrafos se pormenorizam algumas das particularidades do FIP. Deste modo, pretende-se sensibilizar os leitores para a importância dos buses de campo nas redes locais industriais, que equipam já algumas unidades de produção, situando-se no primeiro nível de uma arquitectura CIM (Computer Integrated Manufacturing).

The FIP Fieldbus

abstract

The Authors present an introduction to the FIP protocol (Factory Instrumentation Protocol), which is a vigorous candidate to the actual discussion for defining an international fieldbus standard conception. After such an introduction some FIP features are pointed out. The basic usefulness of the reading is to become sensitive for the importance of fieldbuses on industrial local networks, which are used on the first level of CIM architecture in some manufacturing unities.

1. Introdução

Assiste-se desde há vários anos a um esforço de normalização de um bus de campo que possa ser económico, fiável, robusto e universal, para uniformizar as ligações eléctricas entre sensores, actuadores e equipamentos de controlo (autómatos programáveis, calculadores numéricos e outros). Dados os enormes interesses económicos em jogo tal tarefa não tem sido fácil e ainda não existe uma norma internacional única que obtenha um consenso global [5].

Vários fabricantes vão entretanto lançando os seus produtos de modo a conquistar desde já algum mercado e deste modo ter mais força nas negociações ao nível dos comités de normalização.

Independentemente desta guerra comercial, que envolve questões económicas e políticas bastante importantes, o objectivo deste artigo é o de apresentar as motivações técnicas que estiveram na origem da criação dos bus de campo (do inglês *fieldbus*) ou redes de terreno (do francês *réseaux de terrain*). Deste modo pretende-se dar resposta a questões como “O que é o Bus de Campo?”, “Porque é que se decidiu criar este novo tipo de rede?”, “Em que difere um bus de campo de uma rede normal?”, “Que características se devem esperar de um bus de campo?”.

Assim, este artigo está organizado do seguinte modo: numa primeira parte são abordadas as práticas mais correntes sobre processos de interligação entre sensores, actuadores e dispositivos de controlo. Numa segunda parte é introduzida

a noção de bus de campo e é feita uma discussão das vantagens e desvantagens que esta nova arquitectura implica, e finalmente é dada uma atenção especial ao FIP e aos serviços fornecidos por este conjunto de protocolos.

2. Ligações ponto-a-ponto

As práticas mais correntes de ligação de sensores e actuadores aos equipamentos de controlo ou regulação (autómatos programáveis, por exemplo), consistem em dedicar cartas de entradas/saídas a cada sensor/actuador. Qualquer construtor de autómatos programáveis oferece um conjunto grande de cartas de entradas/saídas analógicas e digitais, na maior parte dos casos com a possibilidade de dispor de um número elevado (8, 18, 24) de entradas/saídas (E/S) por carta instalada.

O utilizador "apenas" tem que ligar cada E/S ao sensor/actuador correspondente e o programa instalado no automático controlará o processo conforme previsto.

O tipo de conectores encontra-se igualmente mais ou menos normalizado e os tipos de sinais enviados pelas ligações também. Assim, o mais frequente é encontrar os anéis de corrente 4-20 mA para as E/S analógicas, e pares de contactos livres de potencial para as E/S digitais. No entanto existem outras soluções, como a transmissão de níveis de tensão (0-10 V, 0-24 V) tanto em E/S digitais como analógicas. A solução de transmitir os valores em corrente e não em tensão deve-se principalmente ao facto da corrente ser sempre a mesma ao longo de um fio condutor, o que já não é verdade para a tensão, uma vez que existem sempre quedas de tensão ao longo do condutor, quedas estas proporcionais ao comprimento da ligação. Tais quedas de tensão induzem erros indesejáveis nas medidas efectuadas.

Outra prática corrente consiste em escolher uma gama de valores que não inclua o valor zero. Assim, um anel de corrente de 4-20 mA, transmite o valor 4 mA quando o sensor mede o valor mais baixo da sua escala. Se o valor enviado fosse zero não haveria maneira de distinguir o valor medido de um corte accidental no fio condutor.

A maior parte dos fabricantes de autómatos programáveis propõe também um conjunto de cartas de rede que interligam os autómatos entre eles, permitindo a comunicação entre si, normalmente através de uma zona de memória comum, ou através de instruções específicas para aceder a variáveis de outros autómatos.

Resumindo: a arquitectura normal de um sistema automatizado "actual" consiste num automático programável com um conjunto mais ou menos grande de E/S que ligam ponto-a-ponto aos sensores numa ligação tipo estrela, em que o automático é o nó central. O automático centraliza o controlo do processo, quer através do programa instalado na sua memória, quer através de cartas de controlo específicas (por ex: PID) utilizadas quando a velocidade de processamento do automático não for suficiente para manter a estabilidade do processo. No caso de sistemas fortemente distribuídos, em que um automático pode não ser suficiente, recorre-se à ligação destes autómatos em redes; todos os construtores propõem

uma solução para a ligação dos seus autómatos em rede, com protocolos mais ou menos normalizados.

Chega portanto a altura de perguntar: porquê mexer nesta situação, que até parece estável e responde à maior parte das exigências actuais?

3. Motivações para criação de um bus de campo normalizado

Por estranho que pareça, a motivação para mudar o estado de coisas descrito no parágrafo anterior prende-se essencialmente com os custos de cablagem das unidades industriais. Frequentemente, os custos de cablagem ultrapassam os 75% do custo total do sistema de controlo, quase independentemente do custo dos controladores, sensores e actuadores utilizados. As distâncias a cobrir atingem facilmente um elevado número de quilómetros, os custos de mão-de-obra para efectuar todas as ligações tornam-se determinantes no custo total.

Surgiu, por isso, a ideia da criação de redes que ligassem directamente os sensores, actuadores e equipamentos de controlo segundo uma estrutura em bus, que é bastante mais económica. Um simples cabo "visitando" todos os sensores, actuadores e equipamento de controlo seria muito mais simples de instalar e bastante mais económico que as tradicionais ligações ponto-a-ponto centralizadas nos equipamentos de controlo, mesmo que o tipo de cabo a utilizar fosse mais caro.

Embora esta seja a vantagem principal, a verdade é que a criação de um bus de campo standard abre as portas a um conjunto de **vantagens** e motivações muito mais vasto, conforme se refere a seguir.

1. *Maior Imunidade ao Ruído*

A informação transmitida num bus de terreno é veiculada numa forma digital e por isso será praticamente insensível ao ruído. Esta vantagem é bastante importante, sobretudo se tivermos em conta que os buses de campo existem em ambientes que podem estar carregados de interferências magnéticas e de correntes parasitas, no fundo ambientes bastante hostis para a transmissão analógica de dados e que podem provocar grandes degradações na relação sinal/ruído dos valores medidos (sensores) ou enviados (actuadores). Um valor analógico, depois de digitalizado pode ser transmitido no bus e percorrer as distâncias que forem necessárias sem qualquer degradação.

2. *Custos de Hardware cada vez Mais Baixos*

Transformar um sensor "banal" num sensor capaz de se ligar a um bus de campo tem naturalmente os seus custos. Onde antes bastaria ter o transdutor grandeza física/corrente eléctrica torna-se agora necessário colocar também pelo menos um microprocessador, alguma memória e toda a interface para ligação à rede. Tal tem os seus custos e é por essa razão que muitos dos sensores que já dispõem de interface directa para ligação a um bus de campo são os sensores cujo preço é suficientemente elevado para ser

insensível aos custos adicionais da sua ligação a um bus de campo.

Ora, é do conhecimento geral que os custos de hardware têm descido todos os anos e de uma forma exponencial. Por isso, esta desvantagem tende a ser cada vez mais reduzida num futuro próximo, desde que os comités de normalização cheguem a acordo na criação de uma interface única, pois só com uma grande produção de interfaces idênticas é que se poderão baixar verdadeiramente os custos adicionais.

3. Instrumentação Inteligente

Uma vez que a ligação de um sensor/actuador a um bus de campo exige a introdução de processadores e memória, surge a ideia natural de utilizar este processador para realizar também outras funções, como por exemplo, a linearização do sinal produzido, a filtragem do sinal adquirido, a produção automática de mensagens de alarme, etc. Surge então o termo "Instrumentação Inteligente" para designar este conjunto de sensores/actuadores capazes de realizar, por si só, algumas funções que outrora eram realizadas pelos equipamentos de controlo.

Os equipamentos de controlo ficam aliviados da sobrecarga de realizar estes pré-tratamentos, em troca de uma ligeira sobrecarga em cada um dos processadores localizados nos sensores/actuadores "inteligentes". Em particular, quando o número de sensores/actuadores for elevado, o conjunto de pré-tratamento a realizar sobrecarrega bastante o autómato programável (equipamento de controlo), enquanto que a distribuição destes pré-tratamentos pelos sensores gera apenas sobrecargas ligeiras em cada sensor/actuador "inteligente".

4. Distribuição da Inteligência do Sistema

Esta vantagem resulta de uma generalização das funções que é possível colocar em cada sensor/actuador "inteligente". Na realidade, o autómato programável, ao ficar liberto de todas as funções relacionadas com pré-tratamentos de sinal, poderá eventualmente ser também dispensado das funções de controlo desde que elas sejam devidamente repartidas pelos sensores/actuadores, aproveitando para isso o "espaço" ainda disponível nos sensores/actuadores existentes. Deste modo, um sistema automatizado baseado num bus de campo pode inclusivamente dispensar o autómato programável, ficando todas as funções de controlo repartidas pelos equipamentos ligados ao bus.

Nada obriga a que estas funções sejam fixadas a determinados equipamentos; podem migrar entre estes equipamentos consoante a sobrecarga existente, podendo esta migração ser completa (transferência do código e contexto de execução ou apenas transferência do contexto de execução no caso de existência de cópias do código executável nas ROMs dos equipamentos de destino. Actualmente, muitos trabalhos estão a ser desenvolvidos nesta pertinente área [4].

5. Acessibilidade da Informação

As variáveis difundidas pelos sensores/actuadores "viajam" por todo o bus, pelo que podem ser lidas/enviadas por qualquer equipamento instalado em qualquer lugar do siste-

ma distribuído, de uma forma absolutamente transparente, independentemente do lugar onde produzidas. Esta vantagem é bastante importante pois permite a reconfiguração rápida de qualquer instalação por uma simples mudança do novo equipamento, que poderá ser instalado onde for mais conveniente sem necessidade de refazer toda a cablagem já instalada. O novo equipamento poderá ser ligado em qualquer ponto do bus de campo, por um único conector standard, independentemente da localização dos sensores/actuadores que pretendem ler/comandar.

Estas são algumas das vantagens que uma arquitectura baseada num bus de campo poderá trazer a um sistema automatizado de produção. Existem, no entanto, alguns **inconvenientes** entre os quais podem considerar as indicadas a seguir.

1. Partilha do Suporte de Transmissão

O suporte de transmissão do bus de campo (cabo coaxial, fibra óptica, etc.), independentemente da sua qualidade e velocidade máxima de transmissão admissível deixa de ser dedicado a cada sensor, pelo que os equipamentos de controlo deixam de poder ler a informação sempre que queiram; terão de esperar que esta informação seja antes difundida pelo bus. O tráfego na rede, portanto, terá que ser cuidadosamente escalonado, de modo que as informações cheguem ao(s) destinatários(s) num intervalo de tempo que não ponha em causa a sua validade temporal.

Situações em que todos os possíveis geradores de tráfego comecem a emitir ao mesmo tempo, provocando colisões ou outros tipos de atrasos na comunicação, não podem ser permitidas sob pena de colocar em risco toda a segurança do sistema. Este facto, por si só, coloca de parte a utilização de protocolos, como o sobejamente conhecido Ethernet, uma vez que as possibilidades de colisões provocam tempos de acesso ao canal de comunicação que não se podem majorar. A necessidade de respeitar a validade temporal das variáveis transmitidas é, com efeito, uma das grandes diferenças entre as redes destinadas a funcionar em tempo-real (das quais os buses de campo são um exemplo) em relação às redes informáticas de uso geral, em que é suficiente garantir que a rede terá um comportamento estatístico aceitável. Num sistema tempo-real um resultado que chegue depois de expirada a sua validade temporal é um resultado falso [14] mesmo que não tenham existido quaisquer erros de transmissão.

2. Coerência da Informação Distribuída

Um bus de campo, uma vez que constitui a base de um sistema de controlo em tempo-real e distribuído sofre do mesmo problema de todos os sistemas distribuídos.

Assim, não existe uma memória central única, pelo contrário, as variáveis encontram-se copiadas nas memórias locais de cada processador, pelo que é necessário garantir que estas cópias sejam coerentes entre elas e com a sua imagem no ambiente exterior [7].

Por outro lado, um sistema distribuído não dispõe de um único relógio centralizado; cada equipamento dispõe do seu

próprio relógio de tempo-real. Mesmo que estes relógios sejam bastante precisos, a deriva dos relógios é um dado inevitável. Sendo a horodatação das operações efectuadas um imperativo nos sistemas tempo-real, quanto mais não seja para ajudar ao diagnóstico de avarias, relógios dessincronizados podem pôr em causa relações de causalidade essenciais ao diagnóstico de avarias. Deste modo, torna-se necessário dispor de protocolos de sincronização dos diversos relógios existentes, de modo a obter um tempo global coerente.

Note-se que esta área também está muito desenvolvida, existindo já algoritmos de sincronização de relógios capazes que, dependendo da qualidade do meio de transmissão, podem atingir precisões elevadas ($<10^{-7}$ s), bastando para isso algumas mensagens de sincronização (frequentemente denominadas vagas de sincronização) que são transmitidas quase em termos das velocidades de transmissão do suporte físico (por exemplo, uma vez cada 5 minutos). A eficiência destes protocolos de sincronização depende naturalmente da deriva máxima dos relógios locais, da qualidade do meio de transmissão, do intervalo de tempo entre cada resincronização dos relógios e do número de mensagens trocadas durante cada vaga de sincronização [13, 8].

3. Segurança

Um sistema tempo-real que controle uma aplicação crítica tem necessidade de continuar a funcionar correctamente mesmo resistindo a falhas materiais que possam surgir localmente ao longo do seu funcionamento. A concentração de todas as informações num único bus de campo pode ser indesejável, pois um corte acidental neste provocaria o descontrolo imediato de toda a instalação, independentemente de ponto onde o acidente se produzisse (enquanto que nos

sistemas centralizados, em que as ligações são efectuadas ponto-a-ponto, um corte acidental apenas afecta a informação correspondente a esse sensor/actuador, o que pode ser mais ou menos crítico, dependendo da importância desse sensor no sistema, mas não acarreta necessariamente danos irreparáveis).

Este problema é actualmente resolvido pela duplicação ou n -plicação) do suporte de transmissão. As mensagens são transmitidas pelos dois (ou n) suportes (por vezes até com codificações diferentes), o que é fiável uma vez que será altamente improvável que dois suportes físicos avariem ao mesmo tempo (naturalmente se a instalação for feita de modo a que os cabos redundantes não passem fisicamente pelos mesmos sítios).

Note-se que esta duplicação do suporte de transmissão reduz a vantagem citada inicialmente da redução dos custos de cablagem, mas, por outro lado, aumenta fortemente a robustez do sistema, permitindo que ele continue a funcionar correctamente mesmo na presença de avarias locais.

Conforme se viu, a maior parte das desvantagens pode ser resolvida por soluções já existentes ou que é previsível ver resolvidas a breve prazo.

Todas as considerações feitas até aqui são independentes de qualquer fabricante ou proposta actual de bus de campo. Apresentámos uma introdução genérica aos problemas que a existência de um bus de campo pretende resolver, e os serviços que é legítimo esperar da futura norma internacional de bus de campo. Seguidamente vamos pormenorizar um pouco a norma FIP [10, 6, 9, 15, 16, 12], uma das candidatas à normalização internacional, e analisar como é que esta norma pretende responder aos requisitos enunciados.

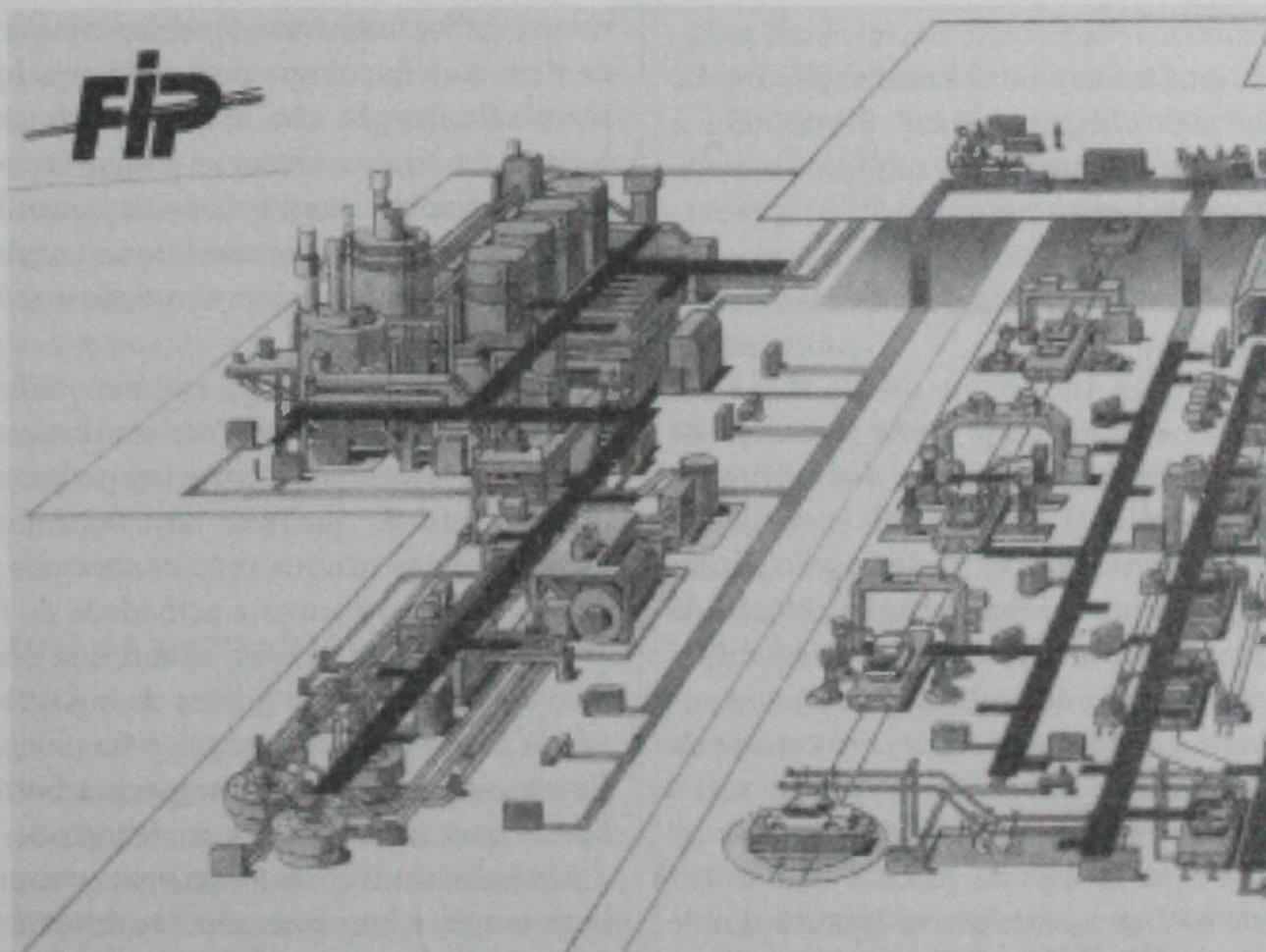


Fig. 1 - Esquema de rede local industrial, com protocolo FIP.

4. O bus de campo FIP

4.1. Modelo Produtor-Distribuidor-Consumidor(es)

Uma noção fundamental do FIP é o processo utilizado para realizar uma transferência entre dois ou mais nós da rede.

Assim, um determinado nó é conhecido como "árbitro do bus". O equipamento que realiza a função de árbitro de bus dispõe na sua memória local de um conjunto de identificadores (de 16 bits), correspondendo cada um a uma única variável do sistema distribuído. Assim, à variável temperatura produzida por um determinado sensor de temperatura é atribuído um destes valores, que ficará associado ao nome temperatura. O mesmo acontece para todas as outras variáveis do sistema (pressões, posições, velocidades, etc.), que são todas conhecidas pelo árbitro de bus.

Além disso, na configuração do sistema deve-se dispor dos intervalos de tempo correspondentes à validade temporal de cada variável. Assim, é necessário indicar que uma determinada temperatura deve ser lida e difundida todos os 10 ms, determinada pressão todos os 50 ms, etc.

Com base nestas informações os programas de configuração da rede calculam uma tabela circular que é colocada na memória local do árbitro de bus. Este lê a tabela sequencialmente e fica a saber qual a variável que deve ser difundida em cada instante (eventualmente nenhuma, se já todas foram difundidas e ainda for "cedo" para transmitir as próximas).

A tabela é construída de modo a que os identificadores de uma mesma variável se encontram regularmente espaçados na tabela, consoante o período correspondente à respectiva variável.

Resta agora saber como é que o árbitro de bus coordena a aquisição e difusão de uma determinada variável. Esta operação é realizada em três fases, a seguir referidas.

1. O árbitro difunde uma trama com um campo de controlo específico indicando que "chegou a hora" de difundir a variável correspondente ao identificador contido na trama difundida a todos os nós da rede.

2. Perante a passagem desta trama todos os nós a lêem e três coisas podem acontecer:

- a) *O nó em questão reconhece-se como produtor da variável.* Tal sucederá se, por exemplo, o identificador difundido corresponder à temperatura e o nó em questão for o respectivo sensor. Neste caso, o sensor fica a saber que o árbitro desencadeou a difusão da nova temperatura e, portanto, este sensor deverá difundir esta temperatura logo de seguida.
- b) *O nó em questão reconhece-se como consumidor da variável.* Tal será o caso de um nó cuja função seja a de animar permanentemente um sinóptico com as informações mais pertinentes do sistema a controlar. Neste caso, este nó fica a saber que na trama seguinte será difundido o valor da variável da qual ele é consumidor.

c) *O nó em questão não consome nem produz esta variável,* porque ela é perfeitamente indiferente ao seu funcionamento. Neste caso este nó deverá ignorar a mensagem seguinte.

3. Nesta fase o nó produtor difunde para o bus o novo valor da variável que produz e praticamente ao mesmo tempo (apenas o atraso correspondente ao tempo de propagação do bus de campo), e ...

4. ... Todos os nós que se reconheceram como consumidores da variável difundida copiam, do bus, o valor desta para as suas memórias locais.

5. O árbitro de bus passa ao identificador seguinte presente na sua tabela.

Deste modo, o novo valor de cada variável é sequencialmente "refrescado" em todos os consumidores desta mesma variável. Todos os consumidores lêem a mesma informação e por isso esta será coerente. Tal processo de estabelecimento de comunicações é conhecido por modelo "Produtor-Distribuidor-Consumidor(es)", que difere do conhecimento modelo/servidor em que se baseia a maior partes das redes existentes, como é o caso da rede MAP (Manufacturing Automation Protocol).

Este protocolo garante que não haverá colisão, uma vez que o acesso ao bus só é realizado mediante o "convite à emissão" enviado pelo árbitro de bus. Dado que não pode haver dois produtores da mesma variável nunca haverá mais de um emissor, podendo, isso sim, haver múltiplos receptores da informação.

Um cuidado especial deve ser tido em conta ao realizar a tabela (tabela de amostragem) do árbitro de bus, de modo a garantir que o tráfego gerado consiga "passar" pela largura de banda autorizada pelo suporte de transmissão. A construção desta tabela é feita estaticamente, com recurso às ferramentas de desenvolvimento propostas. De qualquer maneira, eventuais sobrecargas são detectadas antes da colocação do sistema em funcionamento e podem ser corrigidas em tempo útil. Na criação desta tabela poderão ser utilizados algoritmos existentes para o escalonamento de tarefas periódicas, assunto que já foi profusamente abordado nos últimos 20 anos [1, 3, 1, 2].

Os intervalos de tempo em que o árbitro de bus não tem nenhum identificador para transmitir são ocupados a difundir variáveis para as quais houve um pedido expresso de difusão (proveniente de qualquer nó), ou a difundir tramas com identificadores neutros (não conhecidos por qualquer outro nó) apenas para manter a actividade do bus de campo.

A tolerância a avarias é realizada por uma redundância activa de um segundo árbitro de bus que dispõe também da tabela de amostragem e segue o funcionamento do primeiro. Em caso de avaria deste, o segundo árbitro detecta silêncio no bus e assume as funções de árbitro de bus continuando a difundir os identificadores no ponto em que o primeiro árbitro interrompeu a sua execução. Os restantes nós respondem ao segundo árbitro sem que se apercebam da falha que ocorreu entretanto, continuando o bus a funcionar correctamente.

4.2. Mecanismos de garantia da validade temporal das variáveis transmitidas

Já foi oportunamente afirmado que num sistema tempo-real (nos quais se integram os buses de campo) é de extrema importância garantir a validade temporal das informações transmitidas, uma vez que qualquer resultado, ainda que bem calculado e difundido mas que tenha já ultrapassado o intervalo de tempo durante o qual ele é válido, será um resultado incorrecto.

Deste modo, os protocolos FIP introduzem bits associados às variáveis que informam sobre a validade temporal da variável difundida.

Sempre que um sensor actualiza uma variável na sua memória local (por exemplo, lendo o seu valor exterior) é automaticamente armado um temporizador que permanecerá activo durante um tempo configurado para ser igual à validade temporal desta variável. Este bit, denominado "estado de refrescamento" (refresh status) é indissociável da variável e "viaja" sempre com ela. Assim, todos os consumidores desta variável lêem também este bit, que no caso de ser zero indica que a variável foi bem transmitida mas o valor que estava na memória local do sensor já tinha expirado a sua validade temporal, pelo que é falso.

Por outro lado, quando as variáveis difundidas pela rede chegam aos consumidores, é também armado um temporizador local que permanecerá igualmente durante um tempo configurável. O programa instalado no nó consumidor deve também ler esta variável durante este intervalo; caso contrário terá perdido tempo demais e está a ler uma variável que foi bem produzida, bem difundida, mas que levou tempo demais a ser lida, e por isso já é falsa. A este bit, proveniente dos temporizadores armados nos nós receptores, dá-se o nome de "estado de prontidão" (prompt status).

Estes temporizadores que controlam a validade temporal das variáveis podem ser armados de uma forma sincronizada. Neste último caso, o árbitro difunde uma trama de sincronização antes de começar o envio dos identificadores das variáveis pertencentes à lista de variáveis que se pretende sincronizadas. Assim, as variáveis difundidas na rede são os valores adquiridos no mesmo instante (excluindo os atrasos de comunicação e de reacção de cada sensor).

Qualquer variável consumida só é considerada correcta se estiverem activos ambos os bits que indicam a sua validade temporal. Estes mecanismos são importantes para garantir o respeito das restrições temporais de funcionamento a que os buses de campo estão sujeitos.

5. Estado actual da normalização internacional

É sempre difícil estabelecer a situação actual da normalização internacional num documento deste tipo, uma vez que a informação exposta se desactualiza muito rapidamente.

A norma internacional está a ser construída em torno de uma versão reduzida do modelo OSI (Open Systems Interconnection), contendo apenas 3 das 7 camadas do mode-

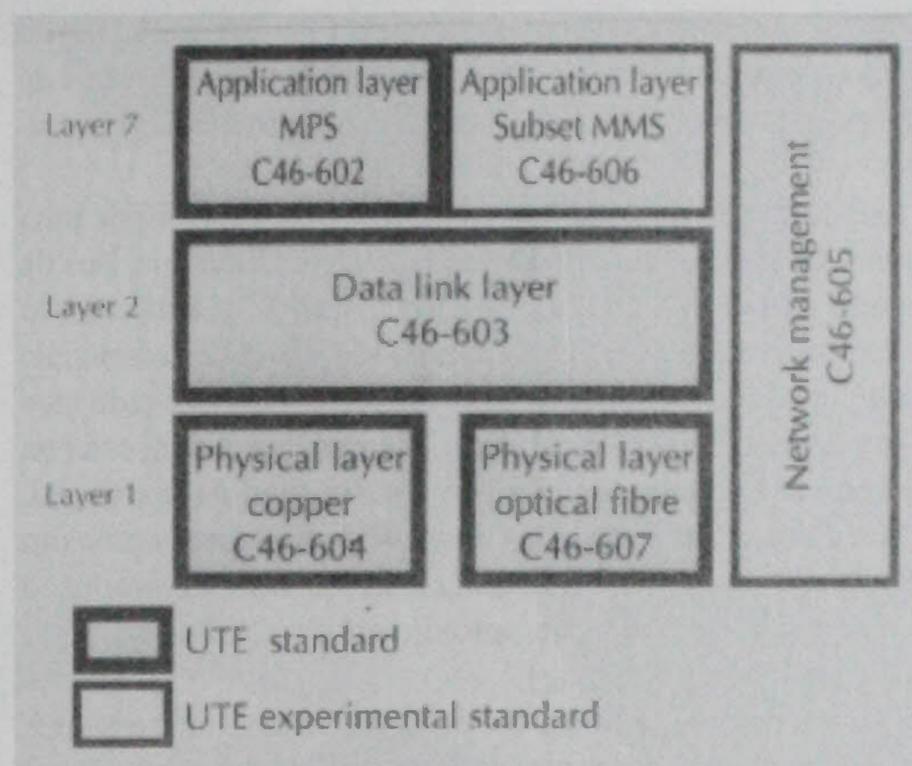


Fig. 2 - As três camadas do modelo FIP (completadas pela "gestão da rede" C46-605).

lo original; retém do modelo original somente as camadas mais baixas (físicas e ligação de dados) e a camada aplicação. As principais propostas candidatas continuam a ser a proposta francesa FIP, apoiada por industriais franceses como Telemecanique e Cegelec, e a proposta alemã PROFIBUS, defendida pela Siemens.

A criação da norma internacional foi confiada à IEC (International Electrotechnical Commission). A camada física já estabilizou e é praticamente idêntica à de FIP. A camada ligação de dados ainda não estabilizou, mas a norma FIP encontra-se também bem posicionada, pois é apoiada pela ISA (Instrument Society of America). Ao nível da camada aplicação subsistem algumas das maiores dificuldades, uma vez que é necessário definir todos os serviços dos quais a instrumentação inteligente poderá necessitar. A modelização de equipamentos inteligentes é inclusivamente alvo de alguns projectos europeus Esprit, como é o caso do projecto DIAS (Distributed Intelligent Actuators and Sensors).

Entretanto, têm sido criadas associações de grupos empresariais em torno de uma ou outra proposta, que pretendem acelerar (ou forçar) o processo de normalização. Assim, surge o grupo ISP (Interoperable System Project) reagrupando Allen Bradley, Honeywell, Exxon, Fugi, Hitachi e Mitsubishi, entre outros.

Até lá (1996) muita coisa pode ainda acontecer, uma vez que, como já foi dito, os interesses económicos (e até políticos) em jogo são muito importantes. De qualquer modo, os diferentes fabricantes já fizeram investimentos de tal modo elevados que parecem comprometer a criação de uma única norma internacional. O mais provável será que o consenso seja obtido em torno de uma norma internacional mas eventualmente com vários perfis.

6. Conclusões

Neste artigo pretendeu-se apresentar o bus de campo FIP de uma forma tão geral quanto possível, procurando dar ênfase a tudo o que diz respeito a um bus de campo em geral,

4. O bus de campo FIP

4.1. Modelo Produtor-Distribuidor-Consumidor(es)

Uma noção fundamental do FIP é o processo utilizado para realizar uma transferência entre dois ou mais nós da rede.

Assim, um determinado nó é conhecido como "árbitro de bus". O equipamento que realiza a função de árbitro de bus dispõe na sua memória local de um conjunto de identificadores (de 16 bits), correspondendo cada um a uma única variável do sistema distribuído. Assim, à variável temperatura produzida por um determinado sensor de temperatura é atribuído um destes valores, que ficará associado ao nome temperatura. O mesmo acontece para todas as outras variáveis do sistema (pressões, posições, velocidades, etc.), que são todas conhecidas pelo árbitro de bus.

Além disso, na configuração do sistema deve-se dispor dos intervalos de tempo correspondentes à validade temporal de cada variável. Assim, é necessário indicar que uma determinada temperatura deve ser lida e difundida todos os 10 ms, determinada pressão todos os 50 ms, etc.

Com base nestas informações os programas de configuração da rede calculam uma tabela circular que é colocada na memória local do árbitro de bus. Este lê a tabela sequencialmente e fica a saber qual a variável que deve ser difundida em cada instante (eventualmente nenhuma, se já todas foram difundidas e ainda for "cedo" para transmitir as próximas).

A tabela é construída de modo a que os identificadores de uma mesma variável se encontram regularmente espaçados na tabela, consoante o período correspondente à respectiva variável.

Resta agora saber como é que o árbitro de bus coordena a aquisição e difusão de uma determinada variável. Esta operação é realizada em três fases, a seguir referidas.

1. O árbitro difunde uma trama com um campo de controlo específico indicando que "chegou a hora" de difundir a variável correspondente ao identificador contido na trama difundida a todos os nós da rede.

2. Perante a passagem desta trama todos os nós a lêem e três coisas podem acontecer:

- a) *O nó em questão reconhece-se como produtor da variável.* Tal sucederá se, por exemplo, o identificador difundido corresponder à temperatura e o nó em questão for o respectivo sensor. Neste caso, o sensor fica a saber que o árbitro desencadeou a difusão da nova temperatura e, portanto, este sensor deverá difundir esta temperatura logo de seguida.
- b) *O nó em questão reconhece-se como consumidor da variável.* Tal será o caso de um nó cuja função seja a de animar permanentemente um sinóptico com as informações mais pertinentes do sistema a controlar. Neste caso, este nó fica a saber que na trama seguinte será difundido o valor da variável da qual ele é consumidor.

c) *O nó em questão não consome nem produz esta variável,* porque ela é perfeitamente indiferente ao seu funcionamento. Neste caso este nó deverá ignorar a mensagem seguinte.

3. Nesta fase o nó produtor difunde para o bus o novo valor da variável que produz e praticamente ao mesmo tempo (apenas o atraso correspondente ao tempo de propagação do bus de campo), e ...

4. ... Todos os nós que se reconheceram como consumidores da variável difundida copiam, do bus, o valor desta para as suas memórias locais.

5. O árbitro de bus passa ao identificador seguinte presente na sua tabela.

Deste modo, o novo valor de cada variável é sequencialmente "refrescado" em todos os consumidores desta mesma variável. Todos os consumidores lêem a mesma informação e por isso esta será coerente. Tal processo de estabelecimento de comunicações é conhecido por modelo "Produtor-Distribuidor-Consumidor(es)", que difere do conhecimento modelo/servidor em que se baseia a maior partes das redes existentes, como é o caso da rede MAP (Manufacturing Automation Protocol).

Este protocolo garante que não haverá colisão, uma vez que o acesso ao bus só é realizado mediante o "convite à emissão" enviado pelo árbitro de bus. Dado que não pode haver dois produtores da mesma variável nunca haverá mais de um emissor, podendo, isso sim, haver múltiplos receptores da informação.

Um cuidado especial deve ser tido em conta ao realizar a tabela (tabela de amostragem) do árbitro de bus, de modo a garantir que o tráfego gerado consiga "passar" pela largura de banda autorizada pelo suporte de transmissão. A construção desta tabela é feita estaticamente, com recurso às ferramentas de desenvolvimento propostas. De qualquer maneira, eventuais sobrecargas são detectadas antes da colocação do sistema em funcionamento e podem ser corrigidas em tempo útil. Na criação desta tabela poderão ser utilizados algoritmos existentes para o escalonamento de tarefas periódicas, assunto que já foi profusamente abordado nos últimos 20 anos [11, 3, 1, 2].

Os intervalos de tempo em que o árbitro de bus não tem nenhum identificador para transmitir são ocupados a difundir variáveis para as quais houve um pedido expresso de difusão (proveniente de qualquer nó), ou a difundir tramas com identificadores neutros (não conhecidos por qualquer outro nó) apenas para manter a actividade do bus de campo.

A tolerância a avarias é realizada por uma redundância activa de um segundo árbitro de bus que dispõe também da tabela de amostragem e segue o funcionamento do primeiro. Em caso de avaria deste, o segundo árbitro detecta silêncio no bus e assume as funções de árbitro de bus continuando a difundir os identificadores no ponto em que o primeiro árbitro interrompeu a sua execução. Os restantes nós respondem ao segundo árbitro sem que se apercebam da falha que ocorreu entretanto, continuando o bus a funcionar correctamente.

4.2. Mecanismos de garantia da validade temporal das variáveis transmitidas

Já foi oportunamente afirmado que num sistema tempo-real (nos quais se integram os buses de campo) é de extrema importância garantir a validade temporal das informações transmitidas, uma vez que qualquer resultado, ainda que bem calculado e difundido mas que tenha já ultrapassado o intervalo de tempo durante o qual ele é válido, será um resultado incorrecto.

Deste modo, os protocolos FIP introduzem bits associados às variáveis que informam sobre a validade temporal da variável difundida.

Sempre que um sensor actualiza uma variável na sua memória local (por exemplo, lendo o seu valor exterior) é automaticamente armado um temporizador que permanecerá activo durante um tempo configurado para ser igual à validade temporal desta variável. Este bit, denominado "estado de refrescamento" (refresh status) é indissociável da variável e "viaja" sempre com ela. Assim, todos os consumidores desta variável lêem também este bit, que no caso de ser zero indica que a variável foi bem transmitida mas o valor que estava na memória local do sensor já tinha expirado a sua validade temporal, pelo que é falso.

Por outro lado, quando as variáveis difundidas pela rede chegam aos consumidores, é também armado um temporizador local que permanecerá igualmente durante um tempo configurável. O programa instalado no nó consumidor deve também ler esta variável durante este intervalo; caso contrário terá perdido tempo demais e está a ler uma variável que foi bem produzida, bem difundida, mas que levou tempo demais a ser lida, e por isso já é falsa. A este bit, proveniente dos temporizadores armados nos nós receptores, dá-se o nome de "estado de prontidão" (prompt status).

Estes temporizadores que controlam a validade temporal das variáveis podem ser armados de uma forma sincronizada. Neste último caso, o árbitro difunde uma trama de sincronização antes de começar o envio dos identificadores das variáveis pertencentes à lista de variáveis que se pretende sincronizadas. Assim, as variáveis difundidas na rede são os valores adquiridos no mesmo instante (excluindo os atrasos de comunicação e de reacção de cada sensor).

Qualquer variável consumida só é considerada correcta se estiverem activos ambos os bits que indicam a sua validade temporal. Estes mecanismos são importantes para garantir o respeito das restrições temporais de funcionamento a que os buses de campo estão sujeitos.

5. Estado actual da normalização internacional

É sempre difícil estabelecer a situação actual da normalização internacional num documento deste tipo, uma vez que a informação exposta se desactualiza muito rapidamente.

A norma internacional está a ser construída em torno de uma versão reduzida do modelo OSI (Open Systems Interconnection), contendo apenas 3 das 7 camadas do mode-

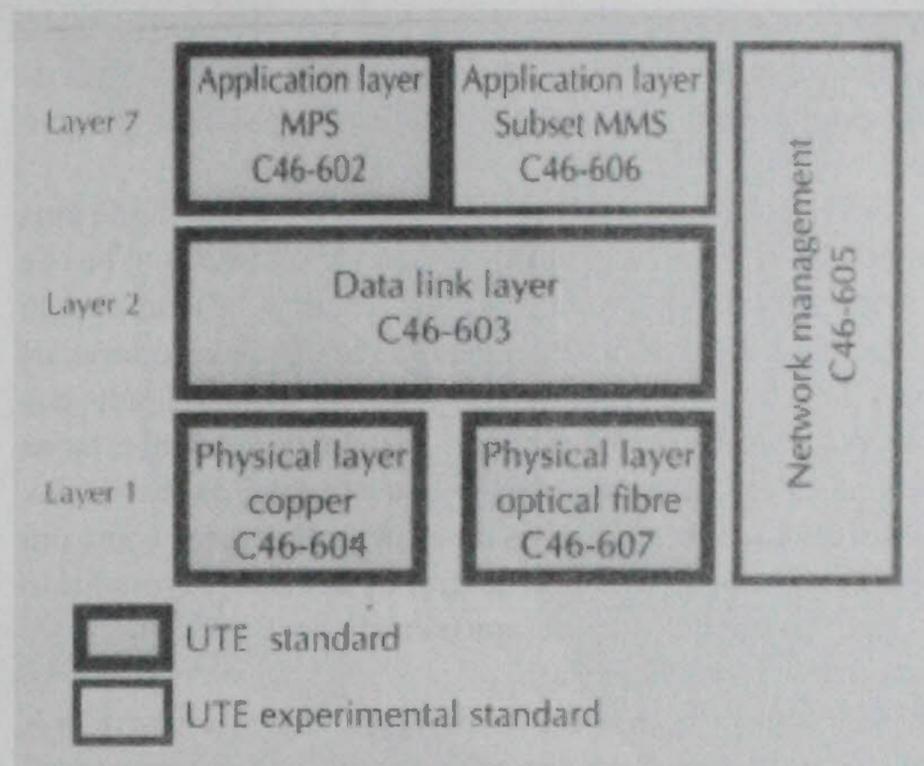


Fig. 2 - As três camadas do modelo FIP (completadas pela "gestão da rede" C46-605).

lo original; retém do modelo original somente as camadas mais baixas (físicas e ligação de dados) e a camada aplicação. As principais propostas candidatas continuam a ser a proposta francesa FIP, apoiada por industriais franceses como Telemecanique e Cegelec, e a proposta alemã PROFIBUS, defendida pela Siemens.

A criação da norma internacional foi confiada à IEC (International Electrotechnical Commission). A camada física já estabilizou e é praticamente idêntica à de FIP. A camada ligação de dados ainda não estabilizou, mas a norma FIP encontra-se também bem posicionada, pois é apoiada pela ISA (Instrument Society of America). Ao nível da camada aplicação subsistem algumas das maiores dificuldades, uma vez que é necessário definir todos os serviços dos quais a instrumentação inteligente poderá necessitar. A modelização de equipamentos inteligentes é inclusivamente alvo de alguns projectos europeus Esprit, como é o caso do projecto DIAS (Distributed Intelligent Actuators and Sensors).

Entretanto, têm sido criadas associações de grupos empresariais em torno de uma ou outra proposta, que pretendem acelerar (ou forçar) o processo de normalização. Assim, surge o grupo ISP (Interoperable System Project) reagrupando Allen Bradley, Honeywell, Exxon, Fugi, Hitachi e Mitsubishi, entre outros.

Até lá (1996) muita coisa pode ainda acontecer, uma vez que, como já foi dito, os interesses económicos (e até políticos) em jogo são muito importantes. De qualquer modo, os diferentes fabricantes já fizeram investimentos de tal modo elevados que parecem comprometer a criação de uma única norma internacional. O mais provável será que o consenso seja obtido em torno de uma norma internacional mas eventualmente com vários perfis.

6. Conclusões

Neste artigo pretendeu-se apresentar o bus de campo FIP de uma forma tão geral quanto possível, procurando dar ênfase a tudo o que diz respeito a um bus de campo em geral,

antes de entrar nas particularidades do FIP. Tentou-se, deste modo, sensibilizar os leitores para a problemática dos bus de campo sem entrar nos pormenores de um protocolo particular.

Foi feita uma análise das vantagens e desvantagens de uma arquitectura de um sistema automatizado assente num bus de campo em relação a uma estrutura "clássica". Da discussão feita ressalta que os buses de campo são entidades essenciais para uma maior flexibilidade, robustez e fiabilidade dos sistemas automatizados, ao mesmo tempo que podem estar na origem de enormes economias no custo total da instalação. Além disso, a introdução dos buses de campo surge como um passo importante para fazer migrar as unidades de produção para arquitecturas que se aproximem do CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Apresentámos também as particularidades interessantes de FIP enquanto proposta para a normalização internacional de bus de campo, como sejam a existência de indicadores da validade temporal das variáveis e a independência entre os identificadores das variáveis a ser difundidas e o nó onde são produzidas.

Finalmente, resta esperar que os grupos de trabalho IEC consigam levar a cabo a conciliação dos importantes interesses que estão em jogo de modo a que a norma internacional esteja pronta em tempo útil, pois é bem conhecida a velocidade com que actualmente os equipamentos ficam obsoletos.

Referências

- [1] C. Cardeira, Z. Mammeri, *Ordonnancement de tâches dans les systèmes temps-réel et répartis*, Rapport interne, Centre de Recherche en Informatique de Nancy, Vandoeuvre-lès-Nancy, 1993, soumis à APII.
- [2] C. Cardeira, M. Siebert, J. P. Thomesse, *Scheduling on Fielbus with smart Transducers/Transmitters*, in C. Eugène, editor, *Proceedings International Symposium on Intelligent Instrumentation for Remote and On-Site Measurements*, pages 259-265, Brussels (Belgium), May 1993, IBRA-BIRA (Belgian Federation of Automatic Control).
- [3] T. Casavant, J. Kuhl, *A Taxonomy of Scheduling in General-Purpose Distributed Computing Systems*, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 14(2):141-54, February 1988.
- [4] Kang G. Shing, Yi-Chieh Chang, *Load Sharing in Distributed Real-Time Systems with State Change Broadcasts*, *IEEE Transactions on Computers*, 38(8), August 1989.
- [5] H. Duarte-Ramos. *Bus de Campo*, *Electricidade*, (267):169-178, Maio 1990.
- [6] D. Galara, J. P. Thomesse, *Proposition d'un système de transmission série multiplexée pour les échanges d'informations entre des capteurs, des actinners et des automates réflexes*, Ministère de l'Industrie et de la Recherche, Paris, 1984.
- [7] H. Kopetz, *Scheduling in Distributed Real Time Systems*, Technical Report, Technical University of Vienna, Austria, January 1986.
- [8] L. Lamport, R. Shostak, M. Pease, *The byzantine general problem*, *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, 4(3):382-401, July 1982.
- [9] P. Leterrier, *The Fip Protocol*, WorldFip Europe, 3 rue de la Salpêtrière, 54 Nancy, France, 1992.
- [10] P. Leterrier, J. P. Thomesse, *Fonctions d'un bus de terrain. Application et bases de données industrielles réparties. Services du système de communication*, *FIP.Mini Micro*, (328):34-36, Octobre 1989.
- [11] C. Liu, J. Layland, *Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard real-time environment*, *In Proceedings Workshop CIM in the Process Industry*, Athens Greece, March 1991.
- [13] P. Ramanathan, K. G. Shin, R. W. Bulter, *Fault-tolerant clock synchronization in distributed systems*, *Computer*, pages 33-42, October 1990.
- [14] J. Stankovic, K. Ramamritham, *The Spring kernel: a new paradigm for real-time systems*, *IEEE Software*, 8(3):62-72, May 1991.
- [15] J. P. Thomesse, P. Lorenz, J. P. Bardinnet, P. Leterrier, T. Valentin, *Factory Instrumentation Protocol: Model, Products, and Tools*, *Control Engineering*, 38(12):65-67, September 1991.
- [16] J. P. Thomesse, *Le réseau de terrain Fip. Etat de l'art* In *RTS'93*, pg. VIII.5-VIII.13. Teknèa, January 1993.

Biografia dos Autores

Carlos Cardeira (Lic.'85, MSc'90) licenciou-se em Engenharia Electrotécnica no Instituto Superior Técnico, onde é Assistente desde 1985. Desde 1991 encontra-se a realizar o seu doutoramento em Nancy, onde se integrou na equipa "Informatique Industrielle" do "Centre de Recherche en Informatique de Nancy", uma das equipas que colaborou fortemente na elaboração da proposta do bus de campo FIP.

As suas áreas de interesse de investigação prendem-se actualmente com os sistemas tempo-real e distribuídos, em particular com a sincronização entre escalonamento das tarefas em processadores e o escalonamento do tráfego da rede do sistema distribuído de modo a otimizar o desempenho global do sistema.

Jean-Pierre Thomesse (Lic.'70, MSc'71, PhD'80) licenciou-se em Informática e é, desde 1971, docente no "Institut National Polytechnique de Lorraine", em particular na "École Nationale d'Electricité et de Mécanique" onde é professor desde 1991. É também director da "Equipe Informatique Industrielle" do "Centre de Recherche en Informatique de Nancy", que congrega cerca de 20 investigadores. Entre 1980 e 1984, foi responsável pelo grupo de definição de FIP no Ministério da Investigação em França.

As suas áreas de interesse de investigação prendem-se actualmente com a introdução dos aspectos temporais no desenvolvimento de sistemas distribuídos, e em particular, com a introdução dos aspectos temporais nos protocolos de comunicação.

Nota: As ilustrações foram inseridas no texto pela Redacção. ■