

Um Estudo para Utilização dos Protocolos TCP/IP em Redes Locais Industriais

Mauro Roisenberg

Liane Margarida Rockenbach Tarouco

Instituto de Informática - Departamento de Informática Aplicada

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

91501-970 - Porto Alegre - RS

Email:informat@inf.ufrgs.br*

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo quanto a viabilidade da utilização do conjunto de protocolos TCP/IP em aplicações de redes locais industriais, considerando as características destes protocolos e seu comportamento frente aos requisitos de comunicação presentes nos ambientes industriais, tais como as restrições temporais, de confiabilidade e o porte dos equipamentos de controle existentes. Dentro deste contexto, são sugeridas alternativas de configuração e implementação de redes locais industriais utilizando o TCP/IP de maneira adequada ao atendimento das restrições existentes. Também é apresentada uma comparação com as arquiteturas MAP e Mini-MAP.

Abstract

This paper presents an investigation about the viability of use of the TCP/IP protocol suite in industrial local area network applications, regarding the features of these protocols and their behavior under the communication requests found in the industrial environment, such as time and security constraints and the capacity of the existing control equipments. Inside this context, suggestions of configuration and implementation of industrial local area networks using the TCP/IP are given. This should be adequate to the existing constraints. Also is presented a comparison with the MAP and Mini-MAP architectures.

* XI - Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC

1. Introdução

Enquanto todos os usuários esperavam o surgimento de produtos conformantes com os protocolos OSI/ISO, a arquitetura Internet baseada no conjunto de protocolos TCP/IP se tornou um padrão "de-facto" para interconexão de sistemas computacionais.

Por sua vez, na área de comunicação de dados em ambientes industriais, o padrão MAP (*Manufacturing Automation Protocol*) define os protocolos para as diversas camadas do modelo de referência OSI da ISO para a interconexão de equipamentos programáveis em automação industrial. Para aplicações envolvendo tempos críticos, é proposta também uma arquitetura reduzida de três camadas chamada Mini-MAP.

Hoje em dia, enquanto os produtos para redes locais industriais baseados nas normas MAP e Mini-MAP não se popularizam, seria interessante poder contar com um padrão simples, altamente conhecido, difundido e de baixo custo para interconexão dos equipamentos existentes no ambiente da automação da manufatura. Este padrão simples, popular e de baixo custo pode ser a arquitetura TCP/IP.

No entanto, a arquitetura TCP/IP foi desenvolvida para utilização na interconexão de equipamentos na Internet, onde os requisitos de segurança e tempo de resposta são bastante diferentes dos encontrados na automação da manufatura.

Neste artigo, pretende-se mostrar que a utilização adequada da arquitetura TCP/IP pode ser uma solução que atende a contento as restrições de comunicação encontradas nos ambientes industriais.

2. O Protocolo TCP/IP

Através de pesquisas financiadas pela DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) a arquitetura DARPA INTERNET, comumente chamada de arquitetura TCP/IP ou simplesmente TCP/IP, começou a ser desenvolvida durante a década de 70, sendo primeiramente utilizada nos computadores conectados à ARPANET no início dos anos 80. Em poucos anos a interconexão baseada nos protocolos TCP/IP se espalhou pelos cinco continentes, sendo utilizada em Universidades, Laboratórios de Pesquisa, Empresas, etc. No final de 1987 o crescimento estimado dos sistemas interconectados através dos protocolos TCP/IP crescia cerca de 15% ao mês. Em junho de 1992 havia mais de 720.000 computadores integrados à Internet.

Hoje em dia, os protocolos TCP/IP estão disponíveis quase que de forma padrão em máquinas UNIX, Computadores Pessoais, Mainframes, Supercomputadores, etc. Ele pode ser utilizado para conectar desde dois computadores pessoais na mesma sala, até um computador na Internet.

A arquitetura TCP/IP é na verdade composta por uma série de protocolos além do TCP e do IP, podendo ser a grosso modo mapeada em cinco níveis conceituais correspondentes do modelo ISO. Este mapeamento conceitual dos protocolos que compõem o TCP/IP pode ser visto na figura 2.1.

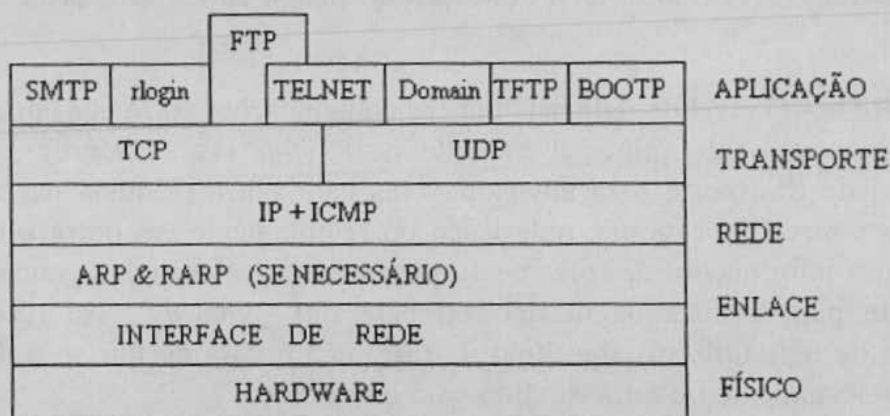


Figura 2.1 Mapeamento Conceitual dos Protocolos que Compõem a Arquitetura TCP/IP

- **Nível de Aplicação** - No nível mais alto, os usuários invocam programas de aplicação. Uma aplicação interage com um protocolo de nível de transporte para enviar e receber dados. Cada programa de aplicação escolhe seu próprio formato de dados que é passado para o nível de transporte para ser enviado. Um dos grandes fatores do sucesso do TCP/IP está na existência de uma série de protocolos de aplicação que são oferecidos de forma padrão pelos produtos que implementam o TCP/IP. Entre os protocolos do nível de aplicação mais conhecidos e que são oferecidos pela família de protocolos TCP/IP estão: TELNET (Protocolo de Terminal Remoto), FTP (*File Transfer Protocol* - Protocolo de Transferência de Arquivos), SMTP (*Simple Mail Transport Protocol* - Protocolo de Correio Eletrônico), etc.

- **Nível de Transporte** - A principal tarefa do nível de transporte é a de propiciar a comunicação entre dois programas de aplicação. O nível de transporte pode regular o fluxo de informações, bem como prover o transporte confiável das mensagens, garantindo que os dados cheguem sem erros e em seqüência.

O TCP/IP possui dois protocolos no nível de transporte, o TCP (*Transmission Control Protocol*) e o UDP (*User Datagram Protocol*).

O TCP é um protocolo orientado a conexões que provê um fluxo de bytes confiável e "*full-duplex*" entre dois programas de aplicação.

O UDP por sua vez é um protocolo não orientado a conexões que como única ferramenta de confiabilidade possui um "*checksum*". Ao contrário do TCP ele não oferece nenhuma garantia ao programa de aplicação de que um datagrama tenha chegado ao seu destino.

A complexidade e por conseguinte a segurança oferecida por um protocolo de transporte é fator essencial para a implementação de uma rede intrinsecamente confiável, como deve ser uma rede em ambiente industrial. No entanto, quanto maior a segurança oferecida pelo nível de transporte, maior o "overhead" e o atraso introduzido na transferência de mensagens. Portanto, uma descrição detalhada destes dois protocolos será vista mais adiante.

- **Nível de Rede** - O nível de rede manipula as comunicações entre duas máquinas. O TCP/IP possui como protocolo principal de rede o IP (*Internet Protocol*). Ele aceita requisições do nível de transporte para enviar pacotes para outra máquina na rede. Esta máquina pode estar conectada à mesma rede física ou remotamente em outra sub-rede. O protocolo de rede usa informações de roteamento para determinar se o datagrama deve ser enviado diretamente para a máquina destino ou para um "gateway". Na recepção de datagramas, o nível de rede utiliza o algoritmo de roteamento para decidir se o datagrama deve ser processado localmente ou retransmitido para outra rede.

No nível de rede podem estar presentes quatro protocolos, o ICMP (*Internet Control Message Protocol*), o IP (*Internet Protocol*), o ARP (*Address Resolution Protocol*) e o RARP (*Reverse Address Resolution Protocol*).

O ICMP é o protocolo que manipula mensagens de erro e de controle entre gateways e hosts.

O IP é o protocolo que provê serviços de roteamento e transmissão de pacotes para o TCP, UDP e ICMP.

O ARP é o protocolo que mapeia endereços Internet, também chamados *Endereços IP*, em endereços de hardware (p.ex.: endereços Ethernet).

O RARP é o protocolo que mapeia endereços de hardware em endereços IP.

Tanto o ARP como o RARP são protocolos que estão ligados ao tipo de protocolo de enlace que está sendo utilizado pela rede, sendo que em algumas redes eles não são necessários.

- **Nível de Enlace** - O nível de enlace é responsável por aceitar os datagramas IP e transmiti-los através de uma tecnologia de rede específica. Neste nível é comum a utilização de protocolos como Ethernet, IEEE 802.2/802.3, SLIP (*Serial Line Internet Protocol*), PPP (*Point-to-Point Protocol*), etc.

- **Nível Físico** - É o nível físico de comunicação sobre o qual se assentam os protocolos de nível de enlace. Neste nível são utilizadas tecnologias como cabo coaxial, par trançado, fibra-ótica, etc., com velocidades variadas.

3. Características do Protocolo TCP/IP e sua Aplicabilidade em Redes Locais Industriais

A seguir serão descritas com maior profundidade algumas das características mais importantes dos níveis de enlace, de rede e de transporte da suíte de protocolos TCP/IP, e como estas características influenciam a utilização do TCP/IP em redes locais industriais.

3.1 Nível Físico e de Enlace

A arquitetura TCP/IP não especifica nenhum protocolo em particular nos níveis físicos e de enlace. A conexão entre redes com diferentes protocolos de enlace e tecnologias de transmissão é feita através de equipamentos roteadores chamados *gateways*.

Como tecnologia de nível físico para uma rede em ambiente industrial podemos utilizar os padrões definidos pela arquitetura MAP (ISO 8802/4 Broadband e Carrierband). No nível de enlace, o sub-nível de controle de acesso ao meio (MAC) mais adequado para uma rede operando em um ambiente industrial é o de "passagem de permissão" (*token-bus* - ISO 8802/4 - MAC) utilizado também pelas arquiteturas MAP e Mini-MAP.

No sub-nível de controle do enlace lógico (LLC), a adoção do padrão ISO 8802/2 é o mais recomendável. Como veremos mais tarde, dependendo do protocolo de transporte utilizado, devemos utilizar a classe especificada pelo MAP (serviços do tipo 1 - sem conexão e sem reconhecimento) ou o especificado pelo Mini-MAP (serviços de tipo 3 - sem conexão e com reconhecimento).

A utilização do padrão Ethernet ou Cheapernet não é completamente descartada e vai depender de fatores de projeto, como a confiabilidade requerida, o nível de ruído por onde será estendida a rede, a carga de tráfego, o determinismo requerido para o tempo de acesso a rede e o protocolo de transporte utilizado. O padrão Ethernet mostra-se bastante atrativo devido a grande disponibilidade e baixo custo das placas de comunicação, além disso, para redes pouco carregadas, o atraso na transmissão utilizando-se o padrão Ethernet é menor do que o obtido utilizando-se o esquema de passagem de permissão para taxas de ocupação de até 35% /ADA 87/.

3.2 Nível de Rede

Como já foi dito anteriormente, o protocolo IP do nível de rede provê um sistema de comunicação não confiável e não orientado a conexões. Qualquer associação entre datagramas deve ser suportado pelos níveis superiores. Do mesmo modo, o protocolo IP não oferece qualquer garantia de que o datagrama chegou sem erros à máquina destino, sendo que esta confiabilidade também deve ser suportada pelos níveis superiores.

A principal função do protocolo IP é o roteamento das mensagens a serem transmitidas pela rede. O roteamento é baseado em um endereçamento chamado Endereço Internet ou Endereço IP.

Um Endereço IP é composto por 32 bits e contém um espaço destinado ao endereçamento de rede e outro ao endereço de nó da estação. A quantidade de bits reservada para endereço de rede e de nó é variável, sendo que as diferentes classes de endereços podem ser vistas na figura 3.1.

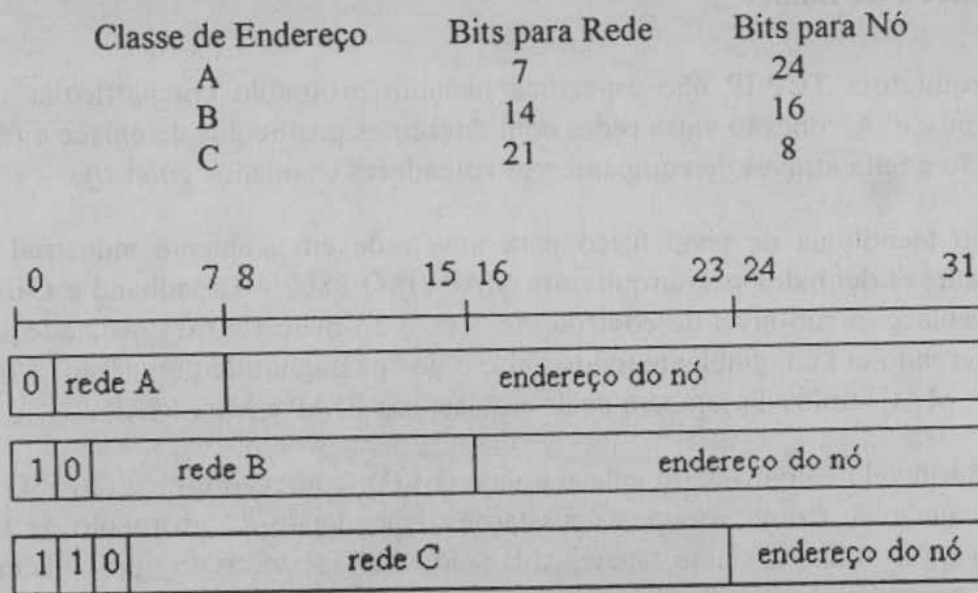


Figura 3.1 Classes de Endereços IP

O formato detalhado do cabeçalho IP é mostrado na figura 3.2.

0	4	8	16	31
VERS	TAM	TIPO DE SERVIÇO	TAMANHO TOTAL	
IDENTIFICAÇÃO			FLAGS	OFFSET DO FRAG.
TEMPO EXIST	PROTOCOLO	CHECKSUM CABEÇALHO		
ENDEREÇO IP DA ORIGEM				
ENDEREÇO IP DO DESTINO				
OPCOES				PADDING

Figura 3.2 Formato Detalhado do Cabeçalho IP

Para realizar o roteamento, o protocolo verifica o Endereço IP destino da mensagem. Se o endereço de rede destino não for o da própria rede onde se encontra a máquina origem da mensagem, o datagrama é enviado para um *gateway*, que se encarregará de prosseguir o roteamento do datagrama por outras redes e *gateways* até a máquina destino.

No padrão MAP, o protocolo de rede especificado é o ISO/DIS 8473 que provê serviços de rede não-orientados a conexão. As sub-camadas que compõem o nível de rede especificado são:

- o "Subnetwork Access function/protocol" (SNAc), responsável pela interface com a camada de enlace e os protocolos específicos de acesso a sub-rede;
- o "Subnetwork Dependent Convergence function/protocol" (SNDC), responsável por prover a "harmonização" das características de duas sub-redes, uniformizando os serviços para a sub-camada superior; e
- o "Subnetwork Independent Convergence function/protocol" (SNIC), que suporta todas as primitivas de serviços de rede e permite a execução do roteamento.

O MAP considera três níveis de roteamento

- entre empresas diferentes;
- entre redes diferentes da mesma empresa; e
- entre um sistema final ("end system") e outro sistema final ou intermediário ("intermediate system") da mesma rede.

Por outro lado, no padrão Mini-MAP, devido a não existência de um protocolo de rede, as estações não podem se comunicar com outros dispositivos que não estejam conectados na mesma sub-rede.

A grande vantagem do protocolo IP como protocolo de rede, é a simplicidade do processamento do algoritmo de roteamento na máquina origem da mensagem devido ao fato do endereço da rede destino da mensagem estar embutido no endereço IP, resultando em um "overhead" de processamento mínimo. Além disso, ao contrário do Mini-MAP, a utilização do protocolo IP permite que mensagens sejam enviadas para outros dispositivos que não estejam conectados na mesma sub-rede.

Como a arquitetura TCP/IP foi desenvolvida visando a interconexão de diferentes sub-redes através da Internet, existem adicionalmente, uma série de protocolos específicos para roteamento (EGP, HELLO, RIP, etc.). Todavia, no caso ora em análise, o que se busca é avaliar o contexto inerente à situação de uma célula industrial, na qual os equipamentos de controle estão interligados em uma sub-rede local que será atendida por um *Gateway*, quando for necessária a comunicação com equipamentos de fora da sub-rede. Portanto, os equipamentos de controle terão que dispor apenas de funções para apoiar a comunicação entre si ou com o roteador, cabendo a este, o trabalho de interação com outras sub-redes para fins de construção e manutenção das tabelas de roteamento.

3.3 Nível de Transporte

Na arquitetura TCP/IP o UDP provê um serviço de transmissão não-confiável e não-orientado a conexões, utilizando o protocolo IP para transportar mensagens entre máquinas até a estação destino. Ele não utiliza mensagens de reconhecimento, não ordena mensagens que chegam e não provê nenhum mecanismo de controle para a velocidade com que as informações fluem entre as máquinas. No entanto, o UDP possibilita uma maneira de endereçar diferentes processos de aplicação dentro de uma mesma máquina e possui como único mecanismo de confiabilidade um *checksum* que engloba o cabeçalho e a área de dados transmitidos/recebidos.

O protocolo UDP é extremamente simples, e portanto, ideal para a transmissão de mensagens altamente prioritárias em uma rede industrial, devido ao mínimo "overhead" de processamento inserido para transmissão e recepção de mensagens. No entanto, devido a sua pouca confiabilidade e como o protocolo IP também não oferece nenhum mecanismo de segurança, se utilizarmos os protocolos UDP e IP em cima de um protocolo de enlace do tipo Ethernet ou ISO 8802/2 tipo 1, não teremos nenhuma garantia de que a mensagem foi recebida sem erros pela estação destino.

Para que tenhamos alguma garantia de que a mensagem foi recebida corretamente, devemos inserir um mecanismo de reconhecimento e retransmissão de mensagens. Existem duas alternativas:

- a primeira é delegar estas funções de reconhecimento ao protocolo de aplicação;
- a segunda alternativa é utilizar um protocolo de enlace que conte com algum mecanismo de confiabilidade, como o ISO 8802/2 tipo 3, como já acontece na arquitetura Mini-MAP.

O formato geral de um datagrama UDP pode ser visto na figura 3.3 . O formato detalhado do cabeçalho é mostrado na figura 3.4.

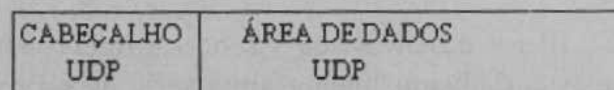


Figura 3.3 Formato Geral de um Datagrama UDP

0	16	31
PORTA ORIGEM	PORTA DESTINO	
TAMANHO	CHECKSUM UDP	

Figura 3.4 Formato Detalhado do Cabeçalho UDP

Por sua vez, o protocolo TCP é um protocolo altamente confiável e orientado a conexões. Entre as principais características do protocolo estão:

- a orientação a fluxo, isto é, não existe uma delimitação ou estruturação das mensagens, elas devem ser encaradas como uma cadeia de bytes que fluem de uma máquina para outra.

- orientado a conexão. Antes que duas máquinas possam trocar mensagens, elas devem estabelecer uma conexão e trocar informações sobre esta conexão.

- full-duplex. A conexão estabelecida pelo protocolo TCP permite a transferência simultânea de dados em ambas as direções. Além disso, as informações de reconhecimento de bytes recebidos anteriormente, podem ser transmitidos nos mesmos pacotes que os dados eventualmente transmitidos, reduzindo o tráfego na rede.

- transferência bufferizada. As aplicações vão transferindo os dados para o protocolo TCP em pacotes de tamanho que as aplicações consideram convenientes. Para fazer com que a transmissão seja mais eficiente e minimizar o tráfego na rede, implementações do protocolo normalmente bufferizam estes dados até completar um tamanho considerado ideal para ser transmitido pela rede.

No entanto, para as aplicações onde os dados devam ser transmitidos mesmo que não completem um tamanho ideal de buffer, existe um mecanismo chamado de "push" que força o protocolo a transmitir os dados, mesmo que o buffer não esteja cheio. Na máquina destino, o mesmo mecanismo força o TCP a entregar os dados para a aplicação sem nenhum atraso. O mecanismo de "push" apenas garante que todos os dados serão transmitidos, não garantindo nenhuma delimitação da mensagem. Mesmo que a transmissão seja forçada, o software de TCP pode decidir dividir o fluxo de maneira imprevisível.

Esta transferência bufferizada é uma característica pouco desejada em comunicações no ambiente industrial, pois na maioria das vezes desejamos que um processo de transmissão seja disparado tão logo ele seja requisitado pela aplicação. Uma solução para este problema é utilizar o mecanismo de "push" em todas as mensagens transmitidas e durante a fase de abertura de conexão negociar um tamanho máximo de pacote pequeno, de modo a forçar o TCP a transmitir os dados tão logo eles sejam entregues pela aplicação.

Um recurso bastante interessante do protocolo TCP é que ele permite ao transmissor especificar que alguns dados são urgentes, significando que eles devem ser transmitidos e entregues tão rapidamente quanto possível. O protocolo especifica que quando um dado urgente é encontrado, o TCP receptor deve notificar ao programa de aplicação associado para passar a operar em um modo "urgente". Depois que todos os dados urgentes foram recebidos, o TCP informa ao programa de aplicação para voltar ao modo de operação normal. Esta característica pode apresentar uma grande utilidade nas aplicações do TCP em redes industriais, possibilitando um mecanismo para transmissão de mensagens prioritárias, como por exemplo, indicação de alarme.

O formato geral de um segmento TCP pode ser visto na figura 3.5. O formato detalhado do cabeçalho é mostrado na figura 3.6.

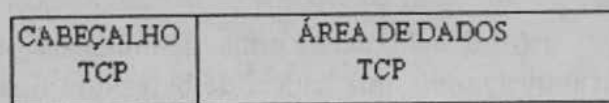


Figura 3.5 Formato Geral de um Datagrama TCP

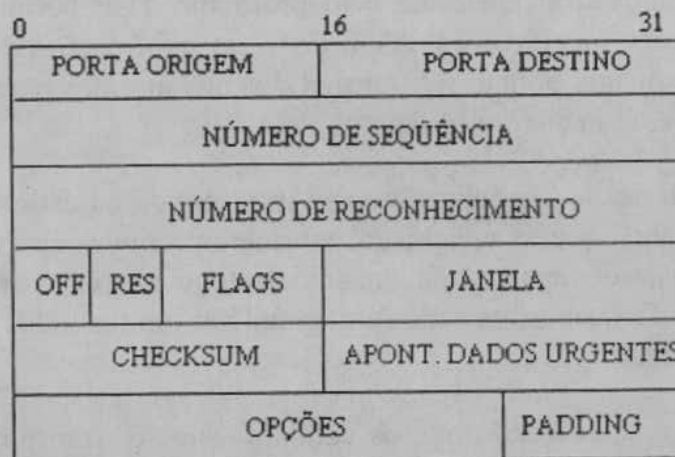


Figura 3.6 Formato Detalhado do Cabeçalho TCP

No protocolo TCP/IP é possível que mais de um processo de usuário (aplicação) esteja utilizando os protocolos TCP e/ou UDP ao mesmo tempo. Para que isto seja possível, é necessário um método de identificação dos dados recebidos/transmitidos com o processo de aplicação correspondente. Para possibilitar esta identificação os protocolos TCP e UDP possuem em seu cabeçalho um inteiro de 16 bits chamado número de porta.

Os processos servidores possuem números de porta fixos e bem definidos chamados "well-known ports". Por exemplo, o protocolo servidor que implementa serviços de transferência de arquivos (FTP - File Transfer Protocol) possui o número de porta 21 sobre

o protocolo TCP. Os processos clientes por sua vez escolhem randomicamente o seu número de porta dentro de uma faixa determinada, permitindo que as respostas enviadas pelos servidores sejam entregues ao processo cliente correspondente.

Na arquitetura MAP o protocolo de transporte especificado é o ISO/DIS 8072 e 8073 classe 4, também chamado de TP4. Esta é a classe de serviços mais complexa e que prevê serviços orientados a conexão, suportando controle de fluxo, multiplexação, além de detecção de erros para pacotes fora de seqüência, perdidos ou destruídos. Na verdade, este protocolo de transporte foi derivado do protocolo TCP. /COM 88/

Existe, no entanto, uma característica do protocolo TCP que restringe sua utilização em uma rede em que o tempo de resposta, bem como o tempo de validade das informações é crítico. Esta característica é o mecanismo de "timeout" e retransmissão adotado pelo TCP. Como o TCP foi projetado para operar no ambiente da Internet, onde uma mensagem pode passar por diversos gateways e linhas com diferentes velocidades, o mecanismo de *timeout* e retransmissão implementado é adaptativo sendo impossível especificar "a priori" o tempo de *timeout* das mensagens.

Para resolver esta limitação, sugere-se que, no ambiente industrial, o protocolo de aplicação seja responsável pelo controle do tempo de resposta das mensagens transmitidas. Assim, se o TCP não indicar que uma mensagem transmitida foi reconhecida dentro de determinado tempo, o protocolo de aplicação detecta um *timeout* e avisa à aplicação para que tome as medidas necessárias. Se a indicação do reconhecimento da mensagem chegar após o tempo de *timeout*, esta indicação é ignorada.

Quanto ao fato do TCP ser um protocolo orientado a conexões, este "overhead" pode ser minimizado se todas as conexões entre os processos de aplicação foram realizadas durante a fase de inicialização da operação do sistema. Isto possibilita também que outros processos que inserem atraso nas comunicações, como por exemplo, o processo de mapeamento de endereços Internet em endereços de Hardware (ARP) também sejam realizados, diminuindo o "overhead" durante a operação normal do sistema.

3.4 Nível de Aplicação

Como já foi dito anteriormente, grande parte da popularidade alcançada pela arquitetura TCP/IP se deve a uma grande variedade de serviços oferecidos por programas de aplicação. Estes programas de aplicação são contruídos utilizando os serviços oferecidos pelos protocolos UDP e/ou TCP, dependendo do grau de segurança e modo de transmissão desejado. Além disso, são normalmente implementados seguindo o modelo cliente-servidor, no qual os servidores aguardam chamadas em pontos de acesso bem definidos (*well-known ports*), de modo que os clientes saibam como acessá-los.

Novos protocolos de aplicação podem ser facilmente implementados, bastando definir um ponto de acesso livre sobre os protocolos TCP e/ou UDP para o processo

servidor e programando os processos clientes para acessarem este ponto de acesso. A idéia então é utilizar nas redes instaladas em ambientes industriais, um protocolo de aplicação que permita a troca de mensagens entre os dispositivos programáveis da manufatura, tais como CLPs, CNCs, Controladores Single Loop e Estações de Controle e Supervisão.

O nível de aplicação proposto para o MAP prevê a utilização do protocolo MMS ("*Manufacturing Message Specification*"). Este protocolo caracteriza-se por seguir um modelo cliente-servidor na interação entre os Processos de Aplicação (AP), sendo que os serviços são oferecidos para serem executados em Dispositivos Virtuais de Manufatura (VMDs).

O MMS define a sintaxe e a semântica gerais das mensagens a serem implementados pelos equipamentos de controle. Aspectos específicos do MMS relacionados a cada tipo de equipamento de controle como o mapeamento das funções dos equipamentos em serviços MMS e a especificação das classes de serviços a serem suportadas pelos equipamentos, são descritos em documentos denominados "Companion Standards".

Existem uma série de artigos descrevendo implementações do protocolo MMS para diferentes tipos de equipamentos. Estas descrições podem ser encontradas em /AGU 91/, /WIL 91/ e /ROI 88b/.

O que se propõe neste artigo é que o MMS seja implementado em cima dos protocolos TCP e UDP, sendo que classes de serviços consideradas prioritárias, tais como gerenciamento de eventos, se comuniquem utilizando o protocolo UDP, enquanto as outras se utilizem dos serviços oferecidos pelo TCP.

4. A Implementação de um Processador de Comunicações TCP/IP para Redes Industriais.

Para validação das hipóteses levantadas no capítulo anterior, torna-se necessário a obtenção de medidas de tempo e desempenho de uma implementação da arquitetura TCP/IP com a configuração descrita. Assim, mostrou-se interessante o desenvolvimento de um Processador de Comunicações TCP/IP para Redes Industriais. Este Processador será um sistema dotado de hardware e software para execução dos serviços de comunicação em rede industriais. Estes serviços envolvem a implementação dos protocolos de enlace, IP, ICMP, UDP, TCP e MMS. As funções de controle do processo são realizadas por uma outra CPU específica, sendo que as duas CPUs devem se comunicar através de alguma interface (por exemplo: memória "dupla-porta").

Uma visão geral da arquitetura deste Processador pode ser vista na figura 4.1.

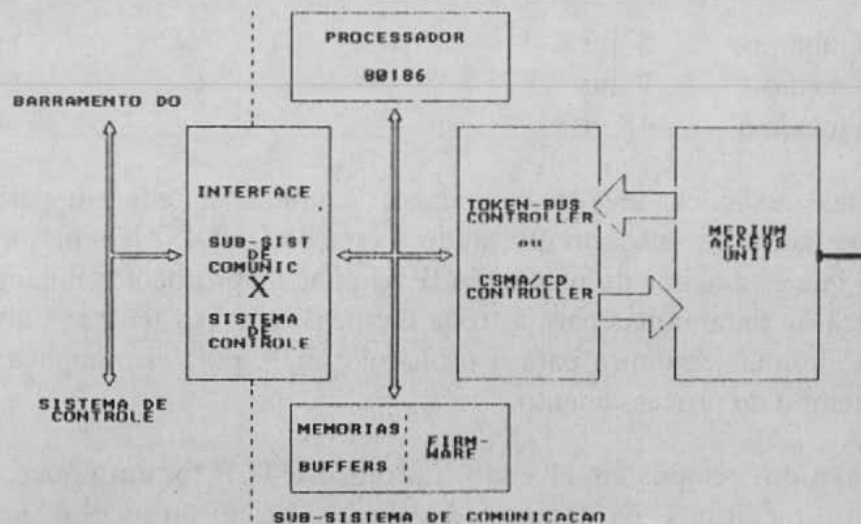


Figura 4.1 Arquitetura do Processador de Comunicações TCP/IP

Um protótipo deste sistema está sendo implementado em um computador PC compatível (386 SX operando a 13 MHz), dotado de uma placa de comunicação Ethernet padrão NE-1000 e ligado à Internet através da rede do Instituto de Informática da UFRGS. Inicialmente foi implementado o conjunto de protocolos das camadas IP e TCP. Desta forma, podemos medir alguns tempos envolvidos no processamento dos protocolos TCP/IP, bem como a complexidade e o tamanho do software implementado. Deve ser considerado ainda que a performance desta CPU operando a esta velocidade é cerca de 25% maior do que um processador 80286 operando a 8 MHz (índice obtido com SI - System Information - Norton Utilities v5.0)

A arquitetura TCP/IP foi implementada em linguagem C e Assembler e atingiu o tamanho de 65Kbytes entre código e dados, comunicando-se com a placa de comunicação através de uma interface fornecida pelo fabricante da placa, compatível com o padrão "Packet Driver". Os diversos protocolos eram executados através de um "escalonador" que verificava serviços de comunicação pendentes e executava a "pilha" de protocolos a cada 10 ms.

Como não se dispunha de equipamento específico para análise e monitoração dos tempos na rede, foram utilizados alguns artifícios para medição dos tempos envolvidos.

A fim de que se pudesse estimar o tempo de resposta utilizando-se como protocolo de transporte o UDP, foi enviado de uma estação de trabalho SUN (sistema operacional do

tipo UNIX) situada na mesma sub-rede da estação de desenvolvimento, mensagens de "echo request" de ICMP para a estação de desenvolvimento onde estava sendo executado o TCP/IP implementado. Na estação de desenvolvimento o protocolo ICMP respondia com um "echo reply". A chegar na estação de trabalho, o tempo de resposta era medido e contabilizado. Os tempos assim obtidos foram:

- tempo mínimo: 5 ms.
- tempo médio: 9 ms.
- tempo máximo: 18 ms.

Para estas medições, teve-se o cuidado de utilizar a rede em períodos de baixo tráfego e sem nenhum outro usuário utilizando a estação UNIX. Além disso, como o ICMP é um protocolo que está acima do protocolo IP na pilha de protocolos implementados e que também se utiliza de datagramas para a troca de mensagens, os tempos obtidos podem ser estendidos com alguma segurança para o protocolo UDP, pois este implica em quantidade equivalente de tempo de processamento.

A medição dos tempos envolvendo o protocolo TCP foi um pouco mais difícil de ser obtida. Para medirmos os tempos envolvidos neste protocolo, foram colocadas instruções para leitura do número de tiques de relógio do PC em pontos específicos do programa. Assim, quando uma tarefa era disparada, o valor do relógio era lido. Quando a tarefa terminava, o relógio era novamente lido e o tempo decorrido calculado.

Deste modo, para se obter, por exemplo, o tempo dispendido no processo de abertura de conexão, foi medido o número de tiques de relógio no instante em que o protocolo de aplicação solicitava a abertura de uma conexão TCP com a estação UNIX e também quando o protocolo TCP informava ao protocolo de aplicação que a conexão havia sido aberta. Subtraindo-se os dois valores, foi obtido o número de tiques dispendidos pelo processo de estabelecimento de conexão.

Como os tiques de relógio do PC foram programados para serem gerados a cada 10 ms e a "pilha" de protocolos é executada pelo escalonador a cada tique, esta foi a resolução dos tempos obtidos.

Tempo para abertura de conexões TCP:

- tempo mínimo: 20 ms
- tempo médio: 24.7 ms
- tempo máximo: 190 ms
- desvio padrão: 17.9 ms

Tempo para recebimento de eco por parte da estação UNIX (rodando aplicativo de "echo" - porta 7 - sobre o TCP).

- tempo mínimo: 10 ms

- tempo médio: 27 ms
- tempo máximo: 80 ms
- desvio padrão: 16.5 ms

Pelos tempos obtidos, verificou-se que tanto os eventos confirmação de abertura de conexão, como de reconhecimento de transmissão levam em torno de 20 ms para serem reconhecidos pelo software de TCP/IP implementado. Na realidade este tempo é limitado pelo intervalo em que o escalonador executa a "pilha" de protocolos. Os tempos de resposta maiores são em quantidade muito pequena e talvez se devam a alguma condição de carga de trabalho na estação UNIX. Mesmo assim, estes tempos nunca ultrapassaram os 200 ms, em todos os experimentos realizados, mesmo em períodos de intenso tráfego na rede.

Deve-se ressaltar que estes tempos foram obtidos utilizando-se um processador mais potente e rápido do que o proposto para ser utilizado no Processador de Comunicações. No entanto, mesmo que a performance sofra uma deterioração de 100%, ainda assim teremos tempos bastante aceitáveis em termos de operação em ambiente industrial.

5. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi analisar a arquitetura TCP/IP sob a ótica das características e restrições de comunicação existentes nos ambientes industriais, procurando viabilizar a sua utilização neste ambiente.

Verificou-se que a independência do TCP/IP do nível físico e de enlace permite a adoção de padrões compatíveis com a segurança e determinismo exigidos pelas redes industriais nestes níveis.

Constatou-se também que a filosofia de endereçamento e de roteamento do IP como protocolo de rede não introduz praticamente nenhuma complexidade no processamento da comunicação nos equipamentos de controle, além de permitir a comunicação entre equipamentos localizados em diferentes sub-redes.

A nível da camada de transporte, foi visto que é possível adaptar o TCP, utilizando os mecanismos de "push" e mensagens urgentes, para sua utilização em redes locais industriais, devendo no entanto atentar para o mecanismo de "timeout" e retransmissão implementado. Além disso, utilizando-se o UDP em uma sub-rede que possua como protocolo de enlace o padrão ISO 8802/2 TIPO 3, obtém-se uma configuração bastante semelhante à proposta pelo Mini-MAP, com a vantagem de permitir a comunicação entre sub-redes.

Por fim, o tamanho do código necessário para a implementação da arquitetura TCP/IP e os tempos de resposta obtidos nas experimentações justificam a popularidade e disseminação do TCP/IP e permitem concluir que ele é um protocolo viável de ser utilizado nos equipamentos que controle tipicamente encontrados em redes locais industriais enquanto os padrões específicos não se popularizam.

Aém disso, a utilização do MMS como protocolo de aplicação, permite uma transição extremamente facilitada para redes que utilizem o padrão MAP ou Mini-MAP, bastando substituir o conjunto de protocolos TCP/IP pelo conjunto de protocolos MAP/Mini-MAP, sendo isto transparente para a aplicação.

A continuidade deste trabalho prevê a implementação do protocolo MMS operando sobre os protocolos TCP e UDP e o desenvolvimento de um hardware específico para o Processador de Comunicações.

6. Bibliografia

/ADA 87/ ADAMS, W.M. & GEOFFREY, JT. DECnet/Ethernet: today and tomorrow on the plant floor. *Control engineering*, New York, 34(11):32-5, Oct. 1987.

/AGU 91/ AGUIAR, M.V.C., SPOHR, E., JOBERTO, S.B.M. Aspectos de implementação de um servidor MMS. 9. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Anais. Florianópolis, 1987. p.331-342.

/COM 88/ COMER, D. E. *Internetworking with TCP/IP - principles, protocols, and architecture*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1988.

/EIA 87/ EIA RS-511. proposed american national standard. Manufacturing message for bidirectional transfer of digitally encoded information. Draft 6. 1987.

/ISO 82/ ISO 7498. Information processing systems - open systems interconnection - basic reference model. International Standards Organization, ISO 7498, 1982.

/MAP 88/ MANUFACTURING AUTOMATION PROTOCOL - Version 3.0. 1988.

/ROI 88a/ ROISENBERG, M. Redes de comunicação de dados em ambiente industrial. Dissertação de mestado. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, 1988.

/ROI 88b/ ROISENBERG, M. & SEVERO, C.R.M. Implementação da norma RS-511. 21. Congresso Nacional de Informática - SUCESU'88. Anais. Rio de Janeiro. 1988. Vol 2. p. 760-766.

/STE 90/ STEVENS, W.R. *UNIX network programming*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1990.

/TAN 88/ TANENBAUM, A.S. Computer networks, 2a. ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1988.

/TAR 92/ TAROUCO, L. Arquitetura TCP/IP. Simpósio Nacional de Redes de Computadores e suas Aplicações - TELEMÁTICA 92. Anais. Porta Alegre. 1992.

/WIL 91/ WILLRICH, R., FARINES, J., FRAGA, J.S. Uma proposta de um modelo de implementação do padrão MMS numa arquitetura Mini-MAP. 9. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Anais. Flarianópolis, 1987. p.358-371.