



Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Bacharelado em Ciência da Computação
Redes de Computadores I

Redes de Computadores I

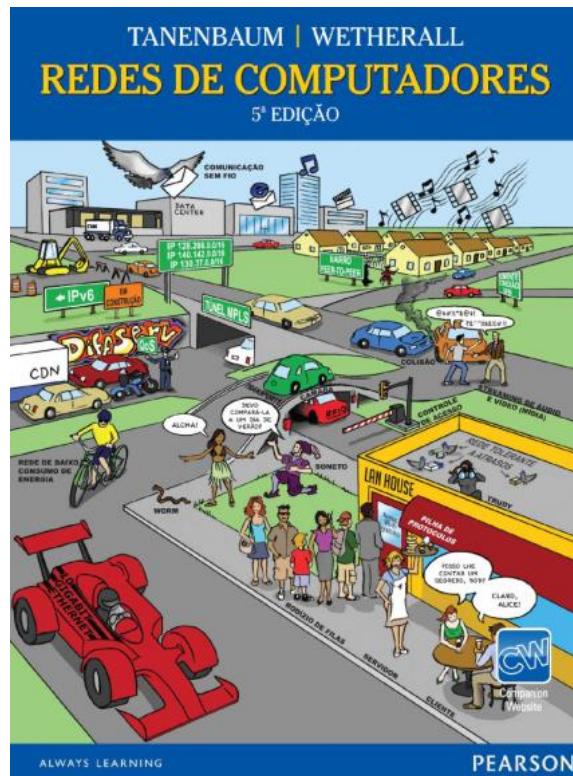
Profª: Raquel Mini
raquelmini@pucminas.br

Ementa

- Conceitos básicos de redes de computadores, protocolos e serviços de comunicação. Arquitetura de redes de computadores. Camadas inferiores dos modelos de referência OSI/ISO e TCP/IP: física, enlace , rede e transporte.

Bibliografia Recomendada

- Andrew S. Tanenbaum. Redes de Computadores. Tradução da 5^a Edição. Pearson.



Método de Avaliação

- 2 Provas (30, 30) 60 pontos
- Avaliação de Desempenho Acadêmico 05 pontos
- Apresentação de Seminários 15 pontos
- Trabalho Prático 20 pontos

Introdução

Progresso Tecnológico

- Século XVIII: grandes sistemas mecânicos que acompanharam a Revolução Industrial
- Século XIX: máquinas a vapor
- Século XX: aquisição, processamento e distribuição de informações
 - ◆ Instalação de redes de telefonia em escala mundial
 - ◆ Invenção do rádio e da televisão
 - ◆ Nascimento e crescimento da indústria da informática
 - ◆ Lançamento dos satélites de comunicação
 - ◆ COMPUTAÇÃO

Comunicação

- Redes especializadas em manipular um tipo específico de dados (voz, vídeo ou toques de teclas) e elas se conectam a um tipo específico de dispositivo (aparelho de TV, telefone, terminal):
 - ◆ Sistema de telefonia
 - ◆ Sistema de TV a cabo
 - ◆ Conjunto de linhas seriais usadas para conectar terminais burros a computadores de grande porte (*mainframes*)

Computação + Comunicação

- A fusão dos computadores e das comunicações teve uma profunda influência na forma como os sistemas computacionais eram organizados
 - ◆ Não existe mais o conceito de “centro de computação” como uma sala com um grande computador ao qual os usuários levam seu trabalho para processamento



Redes de Computadores

Computação + Comunicação

- Redes de Computadores:
 - ◆ Os trabalhos são realizados por um grande número de computadores separados, mas interconectados
 - ◆ São construídas para *hardware* programável de propósito geral
 - ◆ São capazes de transportar vários tipos diferentes de dados para uma grande variedade de aplicações

O que é uma Rede de Computadores?

- Conjunto de computadores autônomos interconectados entre si
 - ◆ Autônomos: não existe uma relação mestre-escravo entre computadores
 - ◆ Interconectados: capazes de trocar informações entre si através de algum meio – par trançado, cabo coaxial, fibra ótica, microondas, satélite

Redes de Computadores X Sistemas Distribuídos

- Sistemas distribuídos:
 - ◆ “*Coleção de computadores independentes que se apresenta ao usuário como um sistema único e consistente*” **Andrew Stuart Tanenbaum**
- Computação distribuída:
 - ◆ Consiste em adicionar o poder computacional de diversos computadores interligados por uma rede de computadores ou mais de um processador trabalhando em conjunto no mesmo computador, para processar colaborativamente determinada tarefa.

**Por que as pessoas estão
interessadas em redes de
computadores?**

Motivações para uso de Redes de Computadores em Organizações

- Compartilhamento de recursos: significa a disponibilidade para qualquer usuário de recursos como programas, dados, dispositivos físicos, independente de sua localização geográfica
 - ◆ Exemplo: um grupo de funcionários de um escritório que compartilham uma impressora comum

Motivações para uso de Redes de Computadores em Organizações

- Compartilhamento de informações:
 - ◆ Comunicação pessoal entre os funcionários
 - ◆ Produção de relatório por duas ou mais pessoas ao mesmo tempo
 - ◆ Videoconferência
 - ◆ Negócio eletrônico
 - ◆ Comércio eletrônico
 - ◆ Treinamento a distância

Motivações para uso de Redes de Computadores por Pessoas

- Rede social
- Acesso a informação remota
 - ◆ Instituições financeiras, *home shopping*, jornais e outros periódicos, bibliotecas, Web
 - ◆ Interação pessoa com banco de dados/servidor
- Comunicação entre pessoas
 - ◆ Email, WhatsApp, facebook, twitter
 - ◆ Educação à distância

Motivações para uso de Redes de Computadores por Pessoas

- Entretenimento interativo
 - ◆ Vídeo sob demanda, televisão interativa, jogos
- Comércio eletrônico
 - ◆ Fazer compras em casa
 - ◆ Leilões *on-line*

Motivações para uso de Redes de Computadores por Usuários Móveis

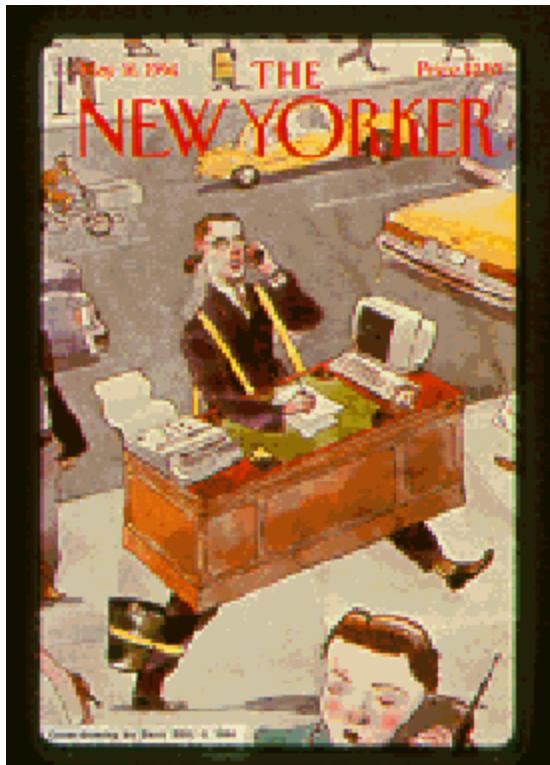
O que é Computação Móvel?

Computação Móvel

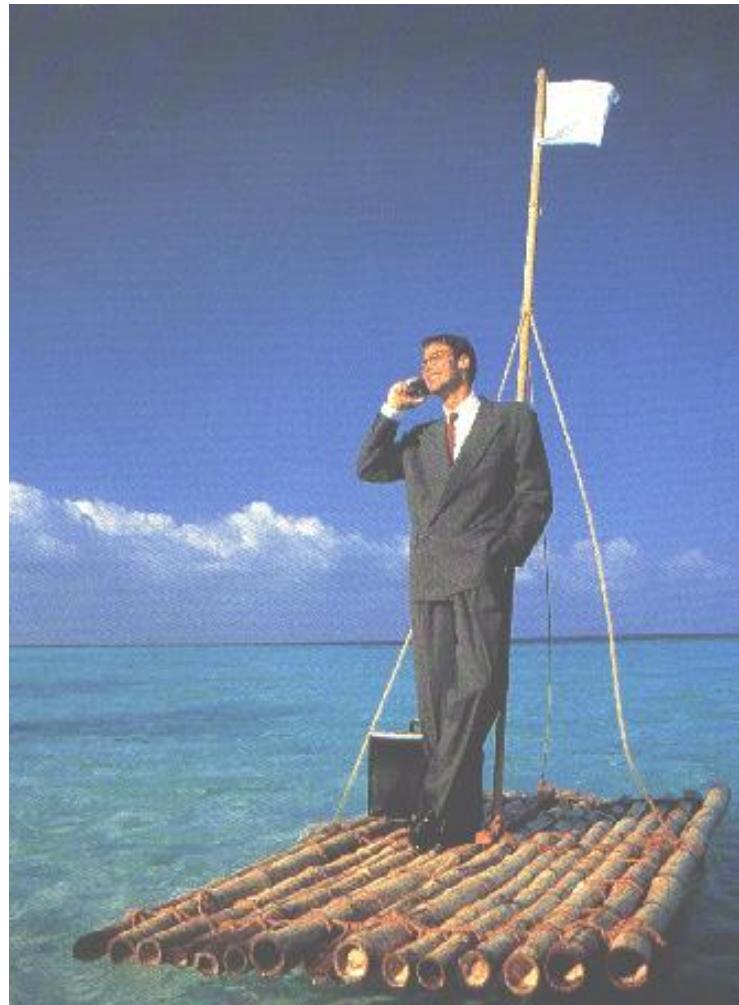
- Processamento + Mobilidade + Comunicação sem fio
= Computação Móvel
- Computação Móvel define um novo paradigma computacional
 - ◆ Nova forma de utilizar recursos computacionais através de dispositivos portáteis

Computação Móvel

Acesso a informação
a qualquer lugar, a qualquer momento



Acesso a Qualquer Lugar, a Qualquer Momento



Computação Móvel

- Dispositivos Computacionais:
 - ◆ Notebook
 - ◆ *Tablets*
 - ◆ *Smartphones*
 - ◆ Sensores

Computação Móvel

■ Aplicações

- ◆ Escritório portátil
- ◆ Controle de estacionamento sem fio
- ◆ Aplicações militares
- ◆ Comunicação sem fio para as máquinas automáticas de venda
- ◆ Leitura de medidores de consumo de serviços de utilidade pública
- ◆ Detectores de fumaça sem fio
- ◆ Comércio móvel (*m-commerce*)
- ◆ Serviços baseados em localização

O que vem por aí?

- Telemedicina
- Espaços inteligentes
- Redes de Sensores Sem Fio
- ...

Espaços Inteligentes

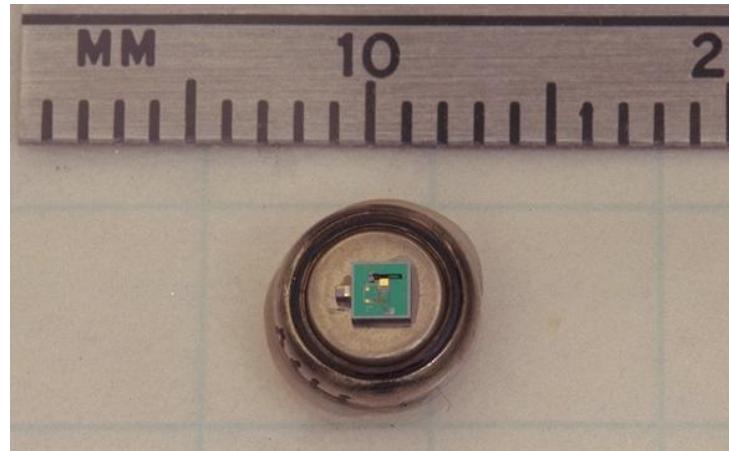
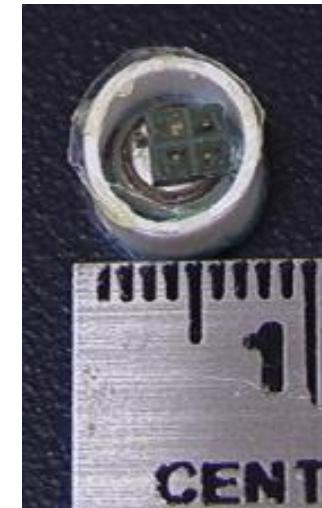
- A tecnologia dará vida a nossos ambientes (mesas, paredes, veículos, relógios, cintos, entre outros) por meio de atuadores, sensores, lógica, processamento, armazenagem, câmeras, microfones, alto-falantes, painéis e comunicação

Espaços Inteligentes

- Ceiva Digital Photo Receiver (<http://www.ceiva.com>)



Redes de Sensores Sem Fio



Redes de Sensores Sem Fio

■ Características:

- ◆ Comunicação sem fio
- ◆ Dispositivos computacionais de baixo custo com severas restrições de memória, processamento e energia
- ◆ A bateria dos dispositivos computacionais é finita e sua recarga nem sempre é possível

■ Aplicações:

- ◆ Monitoramento, rastreamento, coordenação e processamento de diversas aplicações

Algumas Frases

- “*Quatro ou cinco computadores devem ser suficientes para o mundo inteiro até o ano 2000.*”
T. J. Watson, 1945 (presidente da IBM)
- “*Não há nenhuma razão para qualquer indivíduo ter um computador em casa.*”
Ken Olsen, 1977 (presidente da Digital Equipment Corporation)

Algumas Frases

“A Internet e tudo o que ela habilita é uma vasta fronteira nova, cheia de desafios surpreendentes. Há espaço para grandes inovações. Não fiquem limitados à tecnologia existente hoje. Soltem sua imaginação e pensem no que poderia acontecer e transformem isto em realidade.”

Leonard Kleinrock

Leonard Kleinrock é professor de Ciência da Computação da Universidade da Califórnia em Los Angeles. Em 1969, seu computador na UCLA se tornou o primeiro nó da Internet.

Exercício

1. No futuro, quando todo mundo tiver um terminal doméstico conectado a uma rede de computadores, será possível realizar plebiscitos instantâneos sobre questões importantes. É provável que a política atual seja eliminada, permitindo que as pessoas expressem seus desejos de uma maneira mais direta. Os aspectos positivos dessa democracia direta são óbvios, analise alguns dos aspectos negativos.

Hardware de Rede

Hardware de Rede

- Classificação das redes:
 - ◆ Não existe uma taxonomia na qual todas as redes se encaixam
- No entanto, existem dois pontos importantes:
 - ◆ Tecnologia de transmissão
 - ◆ Escala

Tecnologias de Transmissão

- Basicamente dois grandes grupos:
 - ◆ Redes difusão (*broadcast*) ou acesso múltiplo
 - ◆ Redes ponto-a-ponto (*point-to-point*)

Redes Difusão

- Canal de comunicação é compartilhado entre os computadores da rede
- Mensagens são enviadas por uma das máquinas e recebidas por todas as outras
- É necessário um algoritmo para controlar o acesso ao meio
- Toda mensagem possui um campo de endereço

Redes Difusão

- Algoritmo para recebimento de mensagens executado por cada máquina:
 - ◆ Computador verifica endereço de destino;
se endereço no quadro = meu endereço **então**
 processa o quadro
senão
 descarta o quadro
fimse
- É possível enviar mensagem para todos computadores da rede (*broadcasting*) ou para um subconjunto deles (*multicasting*)

Redes Difusão

- Formas de alocação do canal de comunicação:
 - ◆ Estática
 - ◆ Dinâmica (sob demanda)

Redes Difusão

- Alocação estática:
 - ◆ Tempo dividido em intervalos (slots)
 - ◆ É executado um algoritmo tipo “ciranda” (round robin) onde cada máquina transmite somente no seu slot
 - ◆ Desvantagem: canal fica vazio se uma estação não tem nada a transmitir

Redes Difusão

■ Alocação dinâmica:

- ◆ Centralizada:

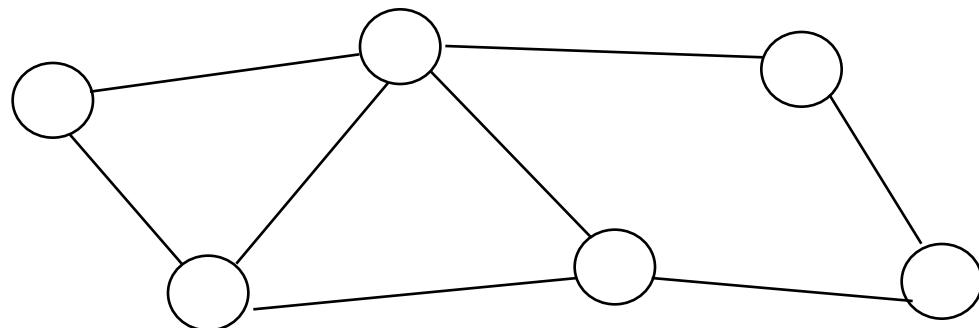
- Existe uma entidade que arbitra qual é a próxima estação a ter acesso ao meio (a entidade recebe requisições e faz uma escolha de acordo com um algoritmo)

- ◆ Descentralizada:

- Cada máquina decide se transmite num determinado momento ou não

Redes Ponto-a-ponto

- Conexões são entre pares de computadores
- Pacotes são enviados na modalidade *store-and-forward*
- Algoritmos de roteamento são muito importantes



Redes Difusão x Ponto-a-ponto

- Em geral,

Difusão	Ponto-a-ponto
Redes menores	Redes maiores
Localizadas geograficamente	Espalhadas

Exercício

2. Explique a necessidade de um mecanismo de controle de acesso ao meio nas redes difusão.

Escala

- Classificação de processadores interconectados em função da distância entre eles, ou seja, em relação ao tamanho da rede
- O tamanho de uma rede normalmente possui implicações na tecnologia básica que pode ser utilizada
- O tamanho de uma rede nos fornece informações importantes como a quantidade de tempo gasta para os dados se propagarem de uma ponta à outra

Escala

Distância entre os processadores	Processadores localizados no(a) mesmo(a)	Exemplo
1 m	Metro quadrado	Rede pessoal
10 m	Sala	
100 m	Edifício	Rede local
1 km	Campus	
10 km	Cidade	Rede metropolitana
100 km	País	Rede geograficamente distribuída
1.000 km	Continente	
10.000 km	Planeta	A Internet

Algumas Redes Importantes

- Redes locais (LANs – *Local Area Networks*)
- Redes metropolitanas (MANs – *Metropolitan Area Networks*)
- Redes geograficamente distribuída (WANs - *Wide Area Networks*)
- Redes sem fio (*Wireless Networks*)

Redes Locais (LANs)

- Redes privativas:
 - ◆ Conectam computadores pessoais em escritórios, instalações industriais, empresas, escolas, etc.
 - ◆ Compartilhamento de recursos e troca de informações
- Poucos erros de transmissão
- Velocidades:
 - ◆ Tradicionais: 10 a 100 Mbps
 - ◆ Modernas: 10 Gbps

Redes Locais (LANs)

- Tamanho
 - ◆ Alguns quilômetros
 - ◆ Baixa latência (μ s ou ns)
 - ◆ O pior tempo de transmissão é limitado e conhecido com antecedência
- Tecnologia de transmissão:
 - ◆ geralmente um único cabo que liga todas as máquinas

Redes Locais (LANs)

■ IEEE 802.3 ou Ethernet:

- ◆ Rede difusão – usa um barramento
- ◆ Controle descentralizado
- ◆ Velocidades de 10 Mbps a 10 Gbps
- ◆ Os computadores podem transmitir sempre que desejam
- ◆ Se dois ou mais pacotes colidirem, cada computador aguardará um tempo aleatório e fará uma nova tentativa mais tarde

Redes Metropolitanas (MANs)

- Cobre um grupo de prédios, organizações, ou uma cidade
- Pode ser pública ou privada
- Pode trafegar dados e voz
- Exemplos:
 - ◆ Rede de TV a cabo
 - ◆ Rede sem fio de banda larga 802.16

Redes Geograficamente Distribuídas (WANs)

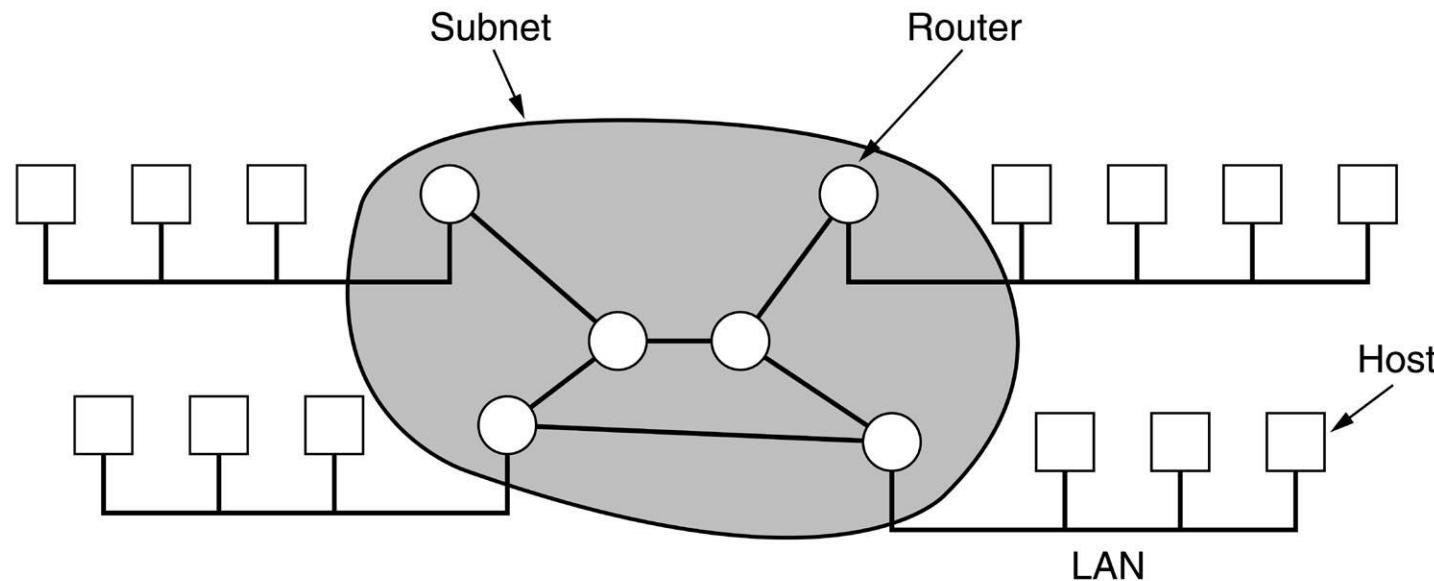
- Cobre uma área geográfica maior como um país ou continente
- Também chamadas de redes geograficamente distribuídas
- Projeto da rede é dividido em:
 - ◆ Um conjunto de máquinas (hospedeiro, sistema final ou *host*) cuja finalidade é executar os programas do usuário
 - ◆ Sub-rede de comunicação cuja finalidade é conectar os hospedeiros

Redes Geograficamente Distribuídas (WANs)

- Sub-rede de comunicação:
 - ◆ Linhas de transmissão:
 - ▶ Transportam os bits entre as máquinas
 - ▶ Podem ser formadas por fios de cobre, fibra óptica ou enlaces de rádio
 - ◆ Elementos de comutação
 - ▶ Computadores especializados que conectam três ou mais linhas de transmissão (roteadores)
 - ▶ Mensagens chegam por linhas de entrada e são enviadas por linhas de saída de acordo com um algoritmo

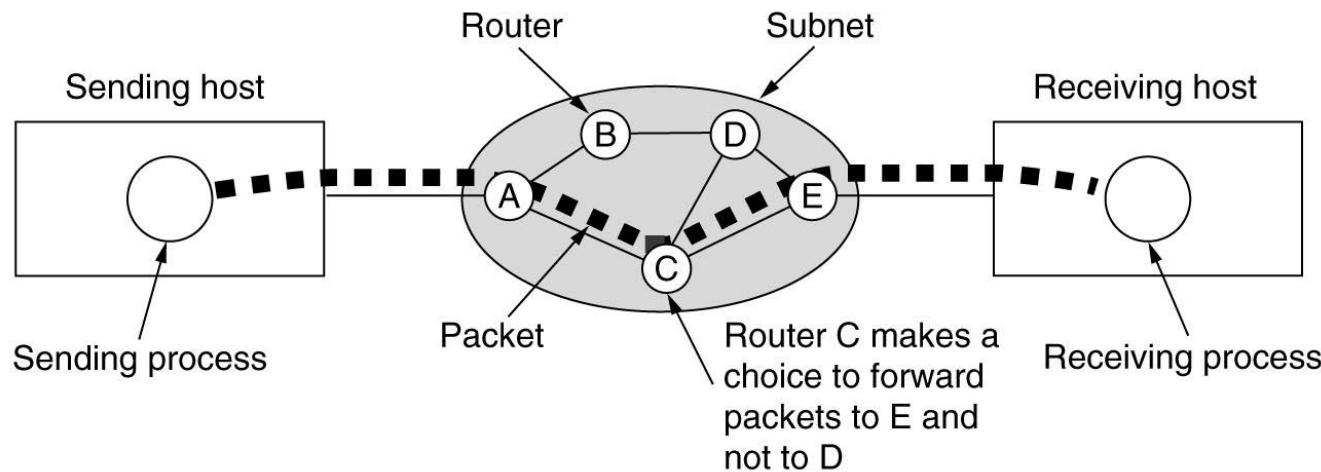
Redes Geograficamente Distribuídas (WANs)

- Tipicamente um hospedeiro é conectado a uma LAN com um roteador



Redes Geograficamente Distribuídas (WANs)

- A maioria das WANs funcionam com comutação de pacotes (*store-and-forward*)



Redes Sem Fio

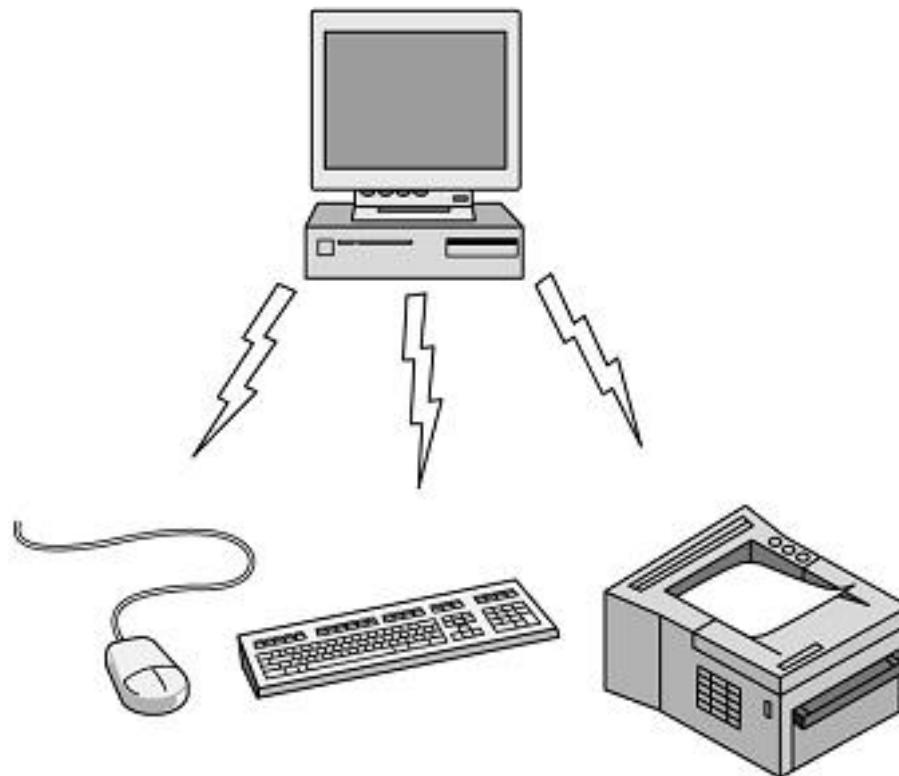
- Não é uma idéia nova:
 - ◆ Em 1901, o físico italiano Guglielmo Marconi demonstrou como funcionava um telégrafo sem fio
- As redes sem fio podem ser divididas em três categorias principais:
 - ◆ Interconexão de sistemas: Bluetooth
 - ◆ LANs sem fio: 802.11 (WiFi)
 - ◆ WANs sem fio: 802.16 (WiMax)

Redes Sem Fio

- Interconexão de sistemas (Bluetooth):
 - ◆ Interconectar os componentes de um computador usando rádio de alcance limitado
 - ▶ Conectar monitor, teclado, mouse, impressora à unidade principal
 - ▶ Conectar câmeras digitais, fones de ouvido, scanners e outros dispositivos a um computador
 - ◆ Utilizam o paradigma de mestre-escravo

Redes Sem Fio

- Interconexão de sistemas (Bluetooth):

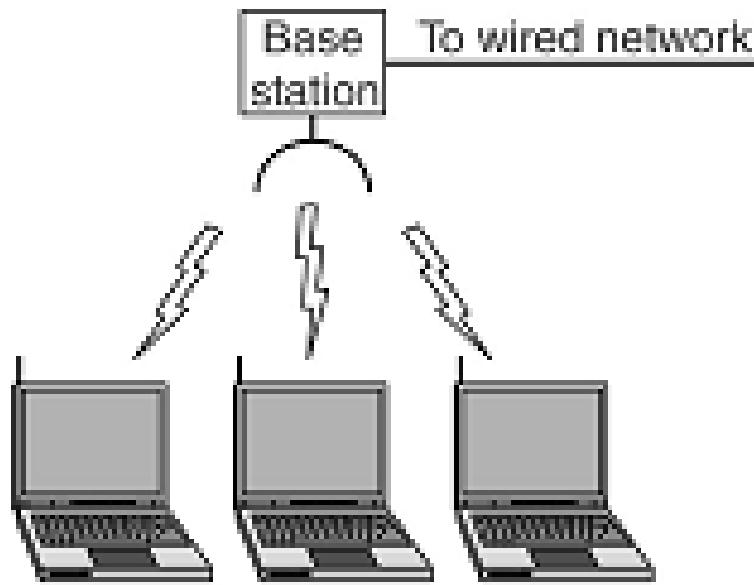


Redes Sem Fio

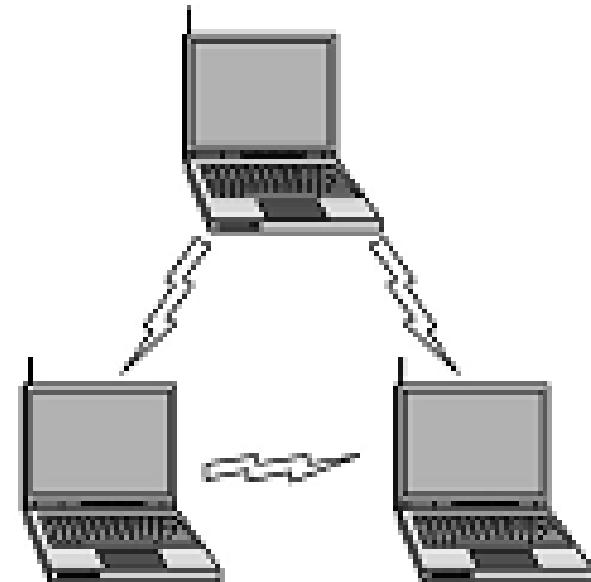
- LANs sem fio (802.11):
 - ◆ Todo computador tem um modem de rádio e uma antena por meio dos quais pode se comunicar com outros sistemas
 - ◆ Podem operar em velocidades de até 50 Mbps
- Fáceis de instalar
- Taxas de erro muito mais altas
- Dois tipos:
 - ◆ Redes sem fio com estação-base (infraestruturadas)
 - ◆ Redes Ad-hoc

Redes Sem Fio

- LANs sem fio (802.11):



Rede sem fio com uma
estação-base



Rede Ad hoc

Redes Sem Fio

- WANs sem fio (802.16):
 - ◆ Redes sem fio de banda larga
 - ◆ Usada em sistemas geograficamente distribuídos
 - ◆ Semelhante à rede de telefonia celular (sistema com baixa largura de banda)

Redes Sem Fio

“Os computadores móveis sem fio são como banheiros móveis sem tubulação – verdadeiros penicos portáteis.

Eles serão comuns em veículos, construções e em shows de rock. Meu conselho é que as pessoas instalem a fiação em suas casas e fiquem lá”.

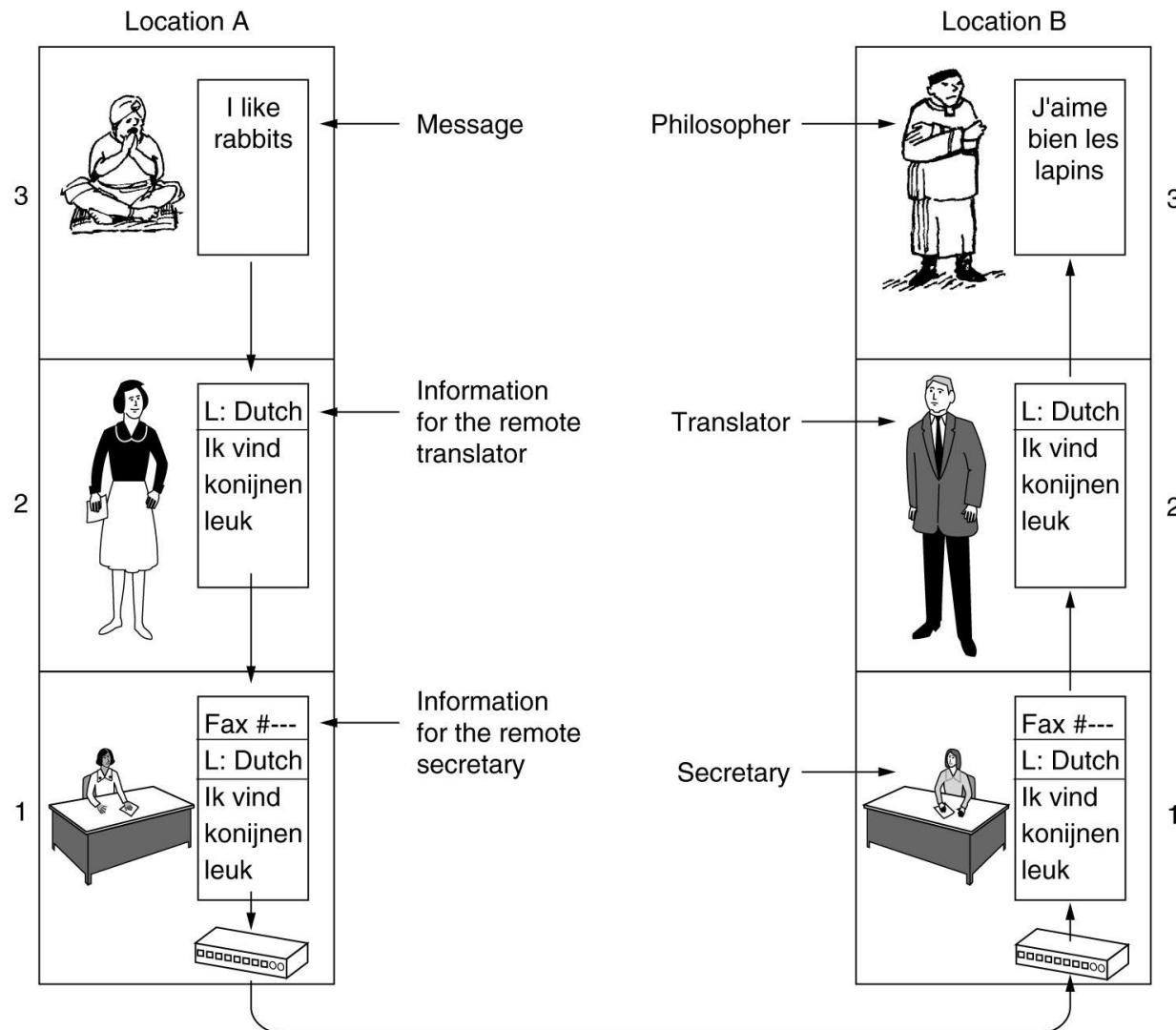
Metcalfe, 1995 (inventor da Ethernet)

Software de Rede

Para Pensar....

- O presidente da Specialty Paint Corp resolve trabalhar com uma cervejaria local com a finalidade de produzir uma lata de cerveja invisível (como uma medida higiênica). O presidente pede que o departamento jurídico analise a questão e este, por sua vez, entra em contato com o departamento de Engenharia. Como resultado, o engenheiro-chefe entra em contato com o funcionário de cargo equivalente na outra empresa para discutir os aspectos técnicos do projeto. Em seguida, os engenheiros enviam um relatório a seus respectivos departamentos jurídicos, que então discutem por telefone os aspectos legais. Por fim, os presidentes das duas empresas discutem as questões financeiras do negócio. Esse é um exemplo de protocolo em várias camadas no sentido utilizado pelas redes de computadores? Justifique.

Exemplo de Comunicação em Camadas



Comunicação em Camadas

- Para reduzir a complexidade do projeto, as redes são organizadas como uma pilha de camadas ou níveis, colocadas umas sobre as outras
- Número de camadas, nomes, conteúdo e funcionalidades de cada camada depende de cada rede
- Funcionalidade geral de cada camada:
 - ◆ Oferecer serviços para as camadas superiores
 - ◆ “Esconder” como os serviços são implementados

Pilha de Camadas

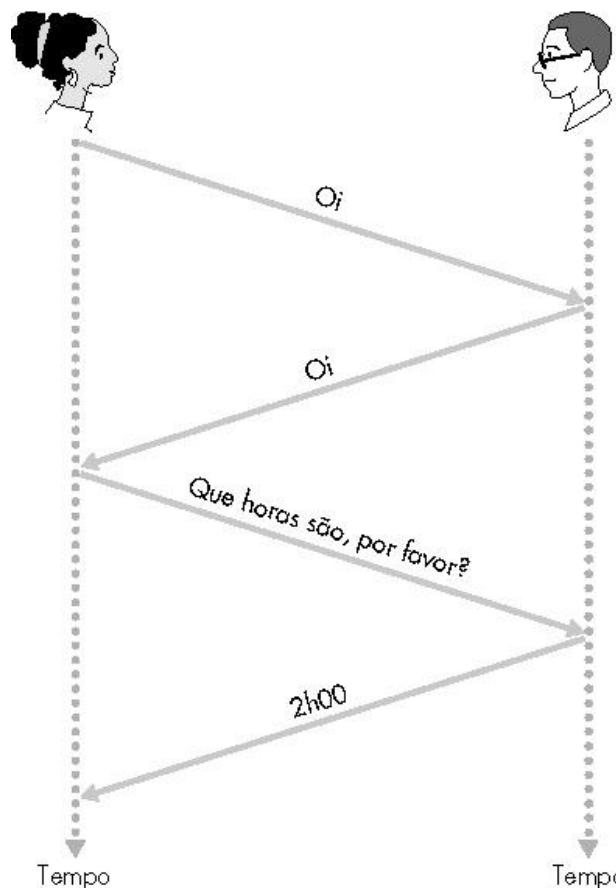
- A camada n:
 - ◆ Provê um conjunto de serviços para as camadas superiores
 - ◆ Esconde detalhes da implementação dos serviços
 - ◆ É implementada baseando-se nos serviços oferecidos pela camada $n - 1$
- A camada n de uma máquina se comunica com a camada n de outra máquina utilizando um protocolo

Protocolos de Comunicação

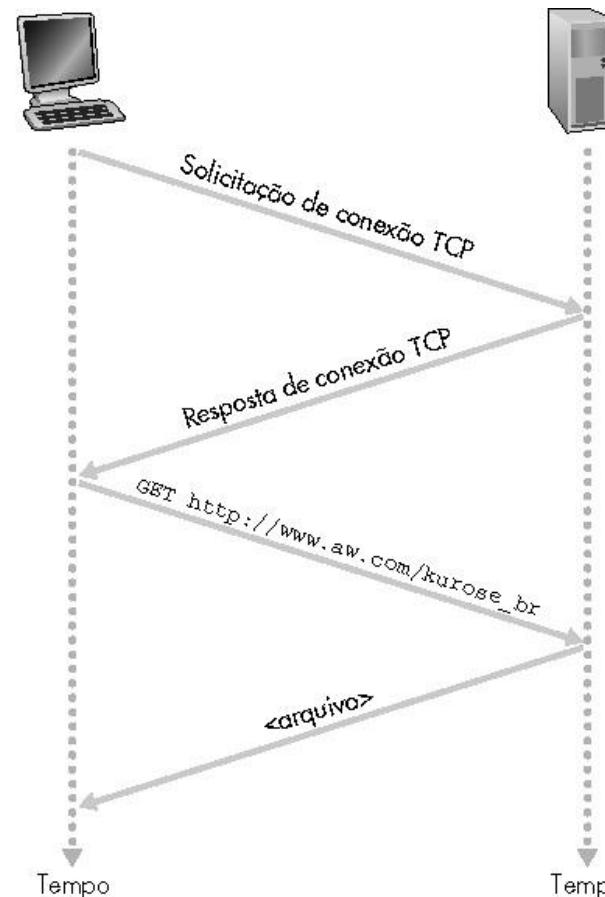
- Conjunto de regras e convenções para troca de informações entre duas ou mais entidades comunicantes
- Define o formato e a ordem das mensagens trocadas entre duas ou mais entidades comunicantes, bem como as ações realizadas na transmissão e/ou no recebimento de uma mensagem ou outro evento

Protocolos de Comunicação

Protocolo humano



Protocolo de rede de computadores

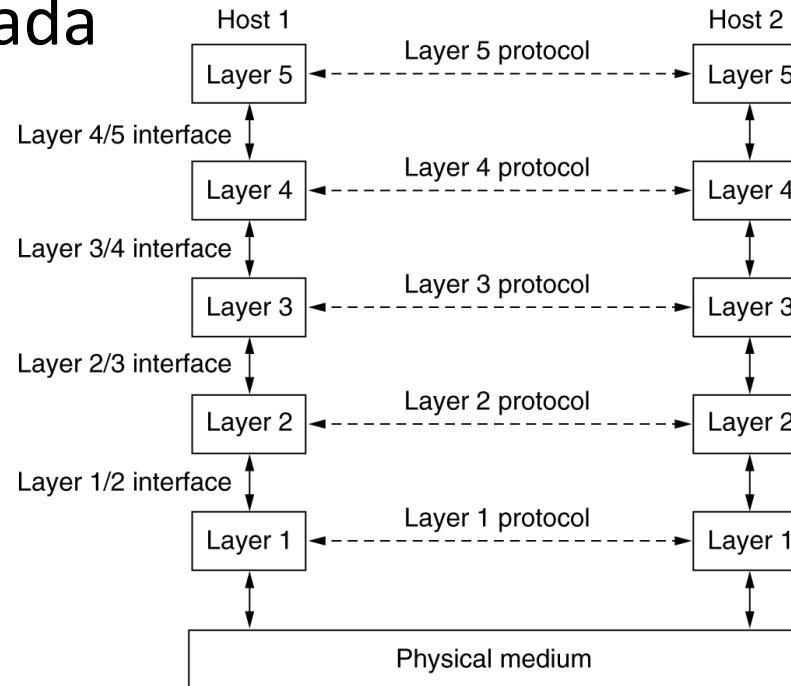


Interfaces

- Existe uma interface entre camadas adjacentes
- A interface define as operações e os serviços que a camada inferior tem a oferecer à camada que se encontra acima dela

Camadas, Protocolos e Interfaces

- Comunicação é feita entre entidades pares (*peer*) que estão na mesma camada usando o protocolo dessa camada



Os pares podem ser processos, dispositivos de hardware ou mesmo seres humanos

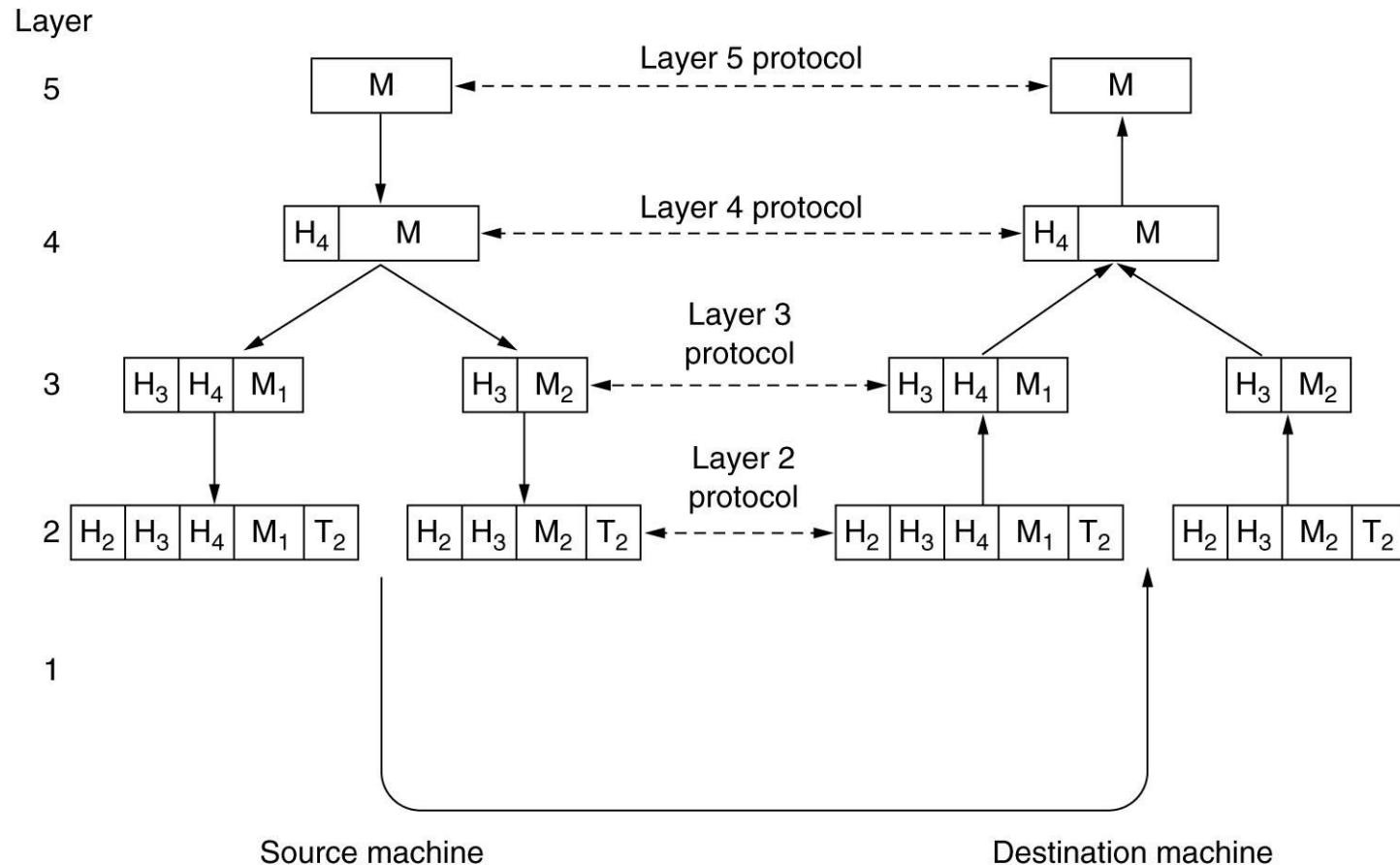
Comunicação Virtual X Real

- Comunicação direta (horizontal) entre entidades pares é virtual e executada através do protocolo da camada n
- Comunicação real (vertical) é feita entre entidades na mesma hierarquia
- Comunicação entre máquinas ocorre efetivamente na camada mais baixa através de um meio físico

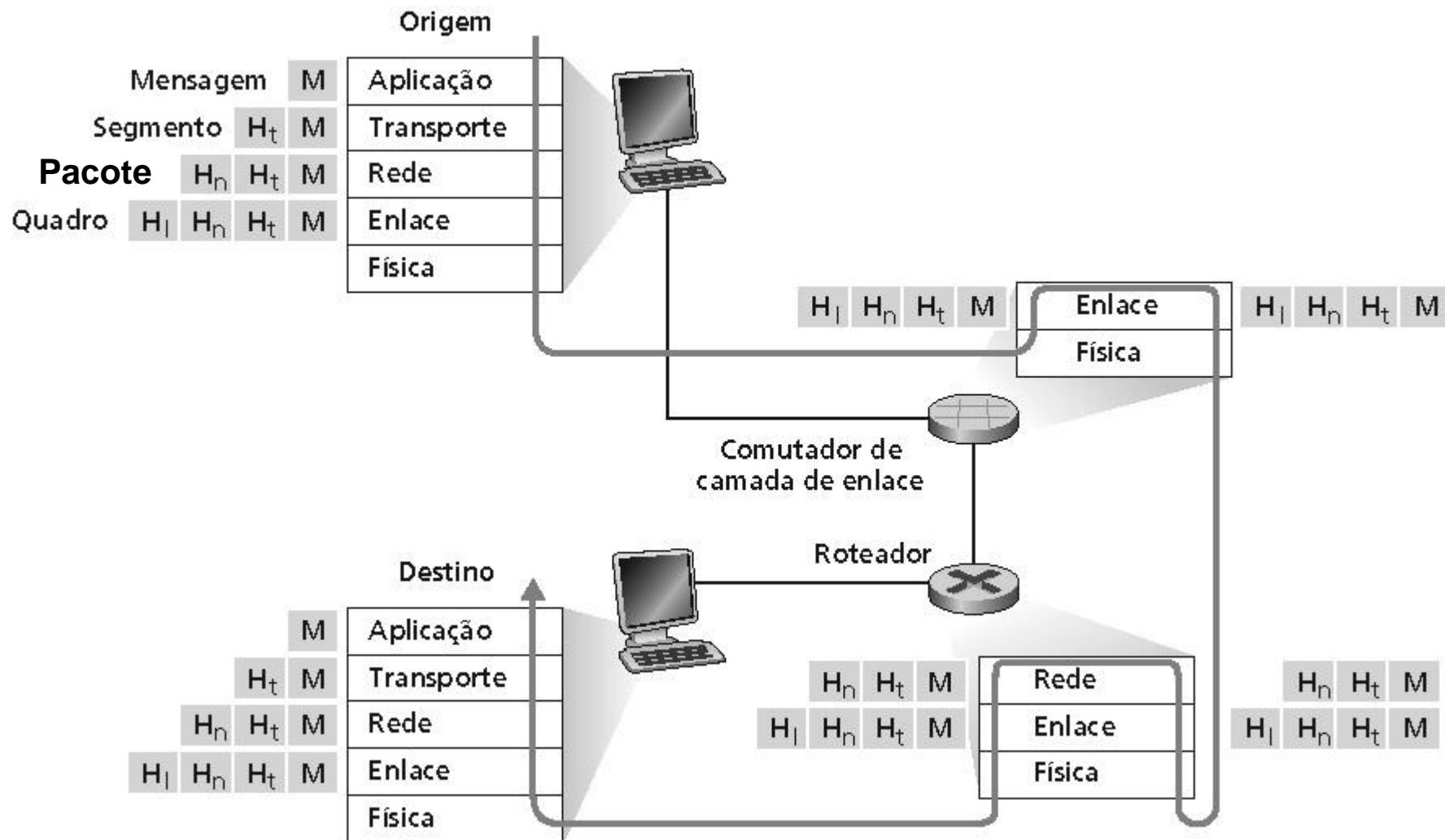
Arquitetura de Rede

- Definição: conjunto de camadas e seus protocolos
- Detalhes de implementação e especificação de interfaces não fazem parte da arquitetura
- Pilha de protocolos (*protocol stack*): protocolos usados em cada camada (um por camada) em um sistema

Comunicação em Camadas



Comunicação em Camadas



Tipos de Serviço

- As camadas podem oferecer tipos diferentes de serviços às camadas superiores
 - ◆ Orientado à conexão (*connection oriented service*) ou Sem conexão (*connectionless service*)
 - ◆ Confiável ou Não confiável
- Afetam fundamentalmente o projeto de protocolos

Serviço Orientado à Conexão

X

Sem Conexão

Serviço Orientado à Conexão

- Similar ao sistema telefônico
- Possui basicamente três fases:
 - ◆ Estabelecimento da conexão
 - ◆ Transferência de dados
 - ◆ Término da conexão
 - ◆ Assume-se que o protocolo só entra numa fase após ter passado pela anterior com sucesso

Serviço Orientado à Conexão

- Transmissor empurra objetos (*bits*) em uma extremidade e esses objetos são recebidos na outra extremidade
- Conexão preserva a ordem dos dados transmitidos

Serviço Sem Conexão

- Similar ao sistema postal
- Cada mensagem deve possuir o endereço do destinatário
- Controle de fluxo é mais complexo
- Cada mensagem é roteada independentemente das outras

Serviço Confiável

X

Não Confiável

Serviço Confiável

- Dados não são perdidos (do ponto de vista do receptor)
- Pode ser implementado através da confirmação de cada mensagem recebida
- Confirmações introduzem *overhead* e atrasos que podem ser tolerados ou não
- Voz digitalizada e vídeo são aplicações que não devem ter atrasos

Serviço Não Confiável

- Para algumas aplicações, os retardos introduzidos pelas confirmações são inaceitáveis
- Exemplo: tráfego de voz digital ou transmissão de uma conferência de vídeo

Exercícios

3. Dê um exemplo de um serviço orientado a conexão confiável. Justifique sua resposta.
4. Em alguns casos, quando uma conexão é estabelecida, o transmissor e o receptor conduzem uma “negociação” sobre os parâmetros a serem usados. Dê um exemplo do uso de negociação pelos protocolos de rede.
5. Como seria o tipo de serviço que um usuário de uma aplicação de tempo real precisaria? Justifique.

Exercícios

6. Quando um arquivo é transferido entre dois computadores, são possíveis duas estratégias de confirmação. Na primeira, o arquivo é dividido em pacotes, que são confirmados individualmente pelo receptor, mas a transferência do arquivo como um todo não é confirmada. Na segunda, os pacotes não são confirmados individualmente mas, ao chegar a seu destino, o arquivo inteiro é confirmado. Analise essas duas abordagens.

Modelos de Referência

Modelos de Referência

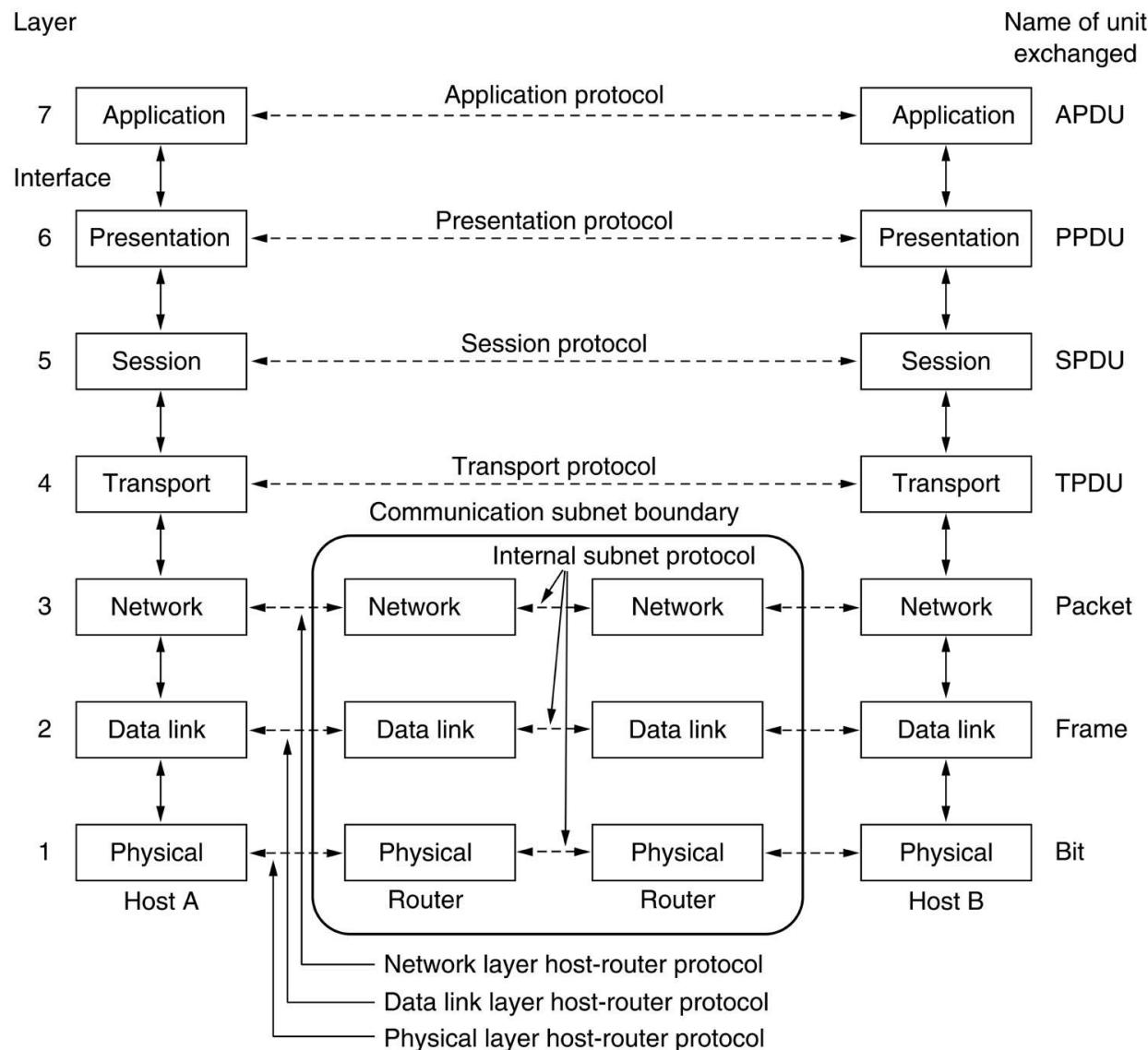
- São propostas concretas de arquiteturas de rede
- Duas arquiteturas de rede importantes:
 - ◆ Modelo OSI–Open Systems Interconnection da ISO
 - ▶ Não é uma arquitetura em si porque não especifica os protocolos em cada nível
 - ▶ Informa apenas o que cada camada deve fazer
 - ◆ TCP/IP

O Modelo de Referência OSI

- Trata da interconexão de sistemas abertos
- Aberto no sentido que qualquer sistema que seguir os padrões será capaz de se interconectar
- Possui sete camadas



O Modelo de Referência OSI



OSI: Camada Física

- Responsável pela transmissão física de bits no canal de comunicação
- Questões:
 - ◆ Tensão para representar 1's e 0's
 - ◆ “Tempo de duração” de um *bit*
 - ◆ Regras para transferência de dados
 - ◆ Regras para estabelecer e terminar uma conexão
 - ◆ Padrões mecânicos, elétricos e procedimentais da parte física

OSI: Camada de Enlace

- Transformar um canal de transmissão bruto em uma linha que pareça livre de erros para a camada de rede
- O transmissor divide os dados de entrada em quadros (*frames*) com algumas centenas ou alguns milhares de bytes
- Redes tipo difusão devem implementar um mecanismo de controle de acesso ao meio (subcamada de controle de acesso ao meio)

OSI: Camada de Enlace

- Tratamento de erros:
 - ◆ Trata de quadros recebidos incorretamente, perdidos ou duplicados
 - ◆ Usa quadros de confirmação (positiva e negativa) para indicar recebimento correto ou não de quadros de dados
 - ◆ Alguns protocolos usam um mecanismo chamado de *piggybacking* para confirmação
- Controle de fluxo:
 - ◆ Regular o tráfego para informar ao transmissor quanto espaço o *buffer* do receptor tem no momento

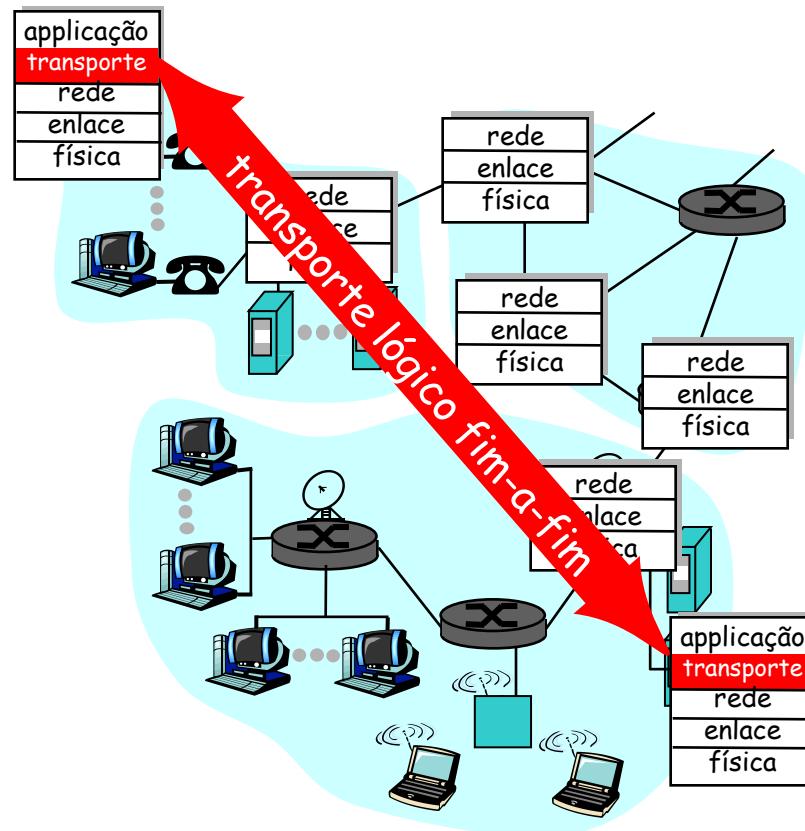
OSI: Camada de Rede

- Responsável pela operação da sub-rede de comunicação
- Duas questões importantes desta camada:
 - ◆ Roteamento
 - ◆ Controle de congestionamento
- Outras funções:
 - ◆ Contabilidade
 - ◆ Interconexão entre redes diferentes

OSI: Camada de Transporte

- Responsável pelo transporte fim-a-fim dos dados entre origem e destino
 - ◆ Um programa da máquina de origem mantém uma conversação com um programa semelhante instalado na máquina de destino
- Oferece diferentes tipos de serviço para a camada de sessão:
 - ◆ Canal ponto-a-ponto livre de erros
 - ◆ Mensagens isoladas sem nenhuma garantia relativa à ordem de entrega
 - ◆ Difusão de mensagens para muitos destinos

OSI: Camada de Transporte



OSI: Camada de Sessão

- Permite que os usuários de diferentes máquinas estabeleçam sessões entre eles
- São um conjunto de ferramentas que fornecem uma interface às aplicações de rede
 - ◆ NETBios, TCP/IP Sockets
- Outras funções:
 - ◆ Controle de diálogo: controla quem deve transmitir em cada momento
 - ◆ Gerenciamento de *tokens*: impede que duas partes tentem executar a mesma operação crítica ao mesmo tempo
 - ◆ Sincronização: permite que transmissões longas continuem a partir do ponto em que estavam ao ocorrer uma falha

OSI: Camada de Apresentação

- Trata da sintaxe e semântica das informações transmitidas
 - ◆ Por exemplo, codificação dos dados
 - ▶ Uso de diferentes conjuntos de caracteres
 - ◆ Compressão
 - ◆ Criptografia
 - ▶ SSL (*Secure Sockets Layer*)

OSI: Camada de Aplicação

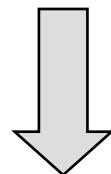
- Contém vários protocolos comumente usados por usuários
 - ◆ Por exemplo: FTP, TELNET, SMTP, POP3, IMAP, HTTP, DNS,
...

O Modelo de Referência TCP/IP

- Modelo de referência usado na “avó” de todas as redes de computadores geograficamente distribuídas, a ARPANET, e sua sucessora, a Internet mundial
- Surgiu como um conjunto de protocolos que deveriam ter certas características para uso militar
- Os protocolos propostos precisavam ser flexíveis para suportar diferentes aplicações
- O modelo surge “oficialmente” com o re-projeto dos protocolos TCP/IP no início da década de 80

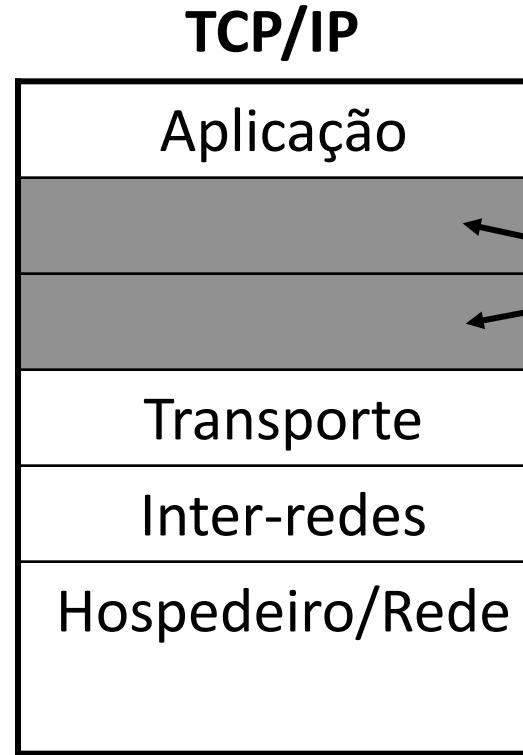
O Modelo de Referência TCP/IP

- O Departamento de Defesa dos EUA queria que as conexões permanecessem intactas enquanto as máquinas de origem e de destino estivessem funcionando, mesmo que algumas máquinas ou linhas de transmissão intermediárias deixassem de operar repentinamente



**REDE DE COMUTAÇÃO DE PACOTES BASEADA
EM UMA SUB-REDE DE COMUNICAÇÃO SEM CONEXÃO**

O Modelo de Referência TCP/IP



Não presentes
no modelo (são
pouco usadas
na maioria das
aplicações)

TCP/IP: Camada Hospedeiro/rede

- Protocolo não definido pelo modelo TCP/IP
- Responsável por transmitir os pacotes IPs
- Protocolo varia em função do hospedeiro e rede

TCP/IP: Camada Inter-redes

- Normalmente chamada de “camada de rede”
- Baseada numa rede comutada por pacotes sem conexão
- Ponto fundamental de toda a arquitetura

TCP/IP: Camada Inter-redes

- Define o protocolo IP – Internet Protocol
 - ◆ “Cola” da Internet
- Roteamento de pacotes e controle de congestionamento são as duas maiores questões
- Similar à camada de rede do modelo OSI

TCP/IP: Camada de Transporte

- Nome dado atualmente a camada acima do nível IP
- Mesmo objetivo do protocolo de transporte no modelo OSI: comunicação fim-a-fim
- Dois dos protocolos mais usados são:
 - ◆ TCP – *Transmission Control Protocol*
 - ◆ UDP – *User Datagram Protocol*

TCP/IP: Camada de Transporte

- Protocolo TCP
 - ◆ Protocolo orientado à conexão confiável
 - ◆ Usa byte *stream*
 - ◆ Normalmente fragmenta um *byte stream* já que o pacote IP tem um tamanho máximo
 - ◆ Hospedeiro destinatário faz o processo contrário
 - ◆ Faz controle de fluxo

TCP/IP: Camada de Transporte

■ Protocolo UDP

- ◆ Protocolo não orientado à conexão e não confiável
- ◆ É usado normalmente em aplicações que somente interagem uma única vez com outra aplicação (*one-shot*)
- ◆ Exemplo, *request-reply* no paradigma cliente-servidor

TCP/IP: Camada de Aplicação

- Protocolos: http, smtp, telnet, ftp, email, etc.

Exercícios

7. Determine qual das camadas do modelo OSI trata de cada uma das tarefas a seguir:
 - ◆ Dividir o fluxo de bits transmitidos em quadros.
 - ◆ Definir a rota que será utilizada na sub-rede.
8. Um sistema tem uma hierarquia de protocolos com n camadas. As aplicações geram mensagens com M bytes de comprimento. Em cada uma das camadas, é acrescentado um cabeçalho com h bytes. Qual é a fração da largura de banda da rede é preenchida pelos cabeçalhos?

Comparação dos Modelos de Referência OSI e TCP/IP

- Características similares:
 - ◆ Baseados no conceito de uma pilha de protocolos
 - ◆ Semelhança na funcionalidade das camadas
 - ◆ Possuem um provedor de transporte:
 - ▶ Camadas até o nível de transporte responsáveis pelo serviço de transporte fim-a-fim independente da camada de rede
 - ◆ Camadas acima da camada de transporte são usuárias, orientadas a aplicações do serviço de transporte

OSI: Conceitos Fundamentais

- Conceitos de serviço, interface e protocolo bem definidos
- Serviços:
 - ◆ Especifica o que a camada faz, ou seja, define a semântica de cada camada
 - ◆ Não define como as entidades superiores acessam os serviços ou como a camada funciona

OSI: Conceitos Fundamentais

- Interfaces:
 - ◆ Especifica como as entidades superiores podem acessar os serviços, os parâmetros a serem passados e os resultados esperados
 - ◆ Não define como a camada funciona
- Protocolos:
 - ◆ Especifica os procedimentos entre as entidades pares numa mesma camada
 - ◆ O protocolo é responsável por executar o serviço de forma transparente

Modelo de Referência TCP/IP

- Não difere os conceitos de serviço, interface e protocolo
- Os protocolos TCP/IP foram propostos antes do modelo e revisados para adequar a novas situações

Diferenças entre OSI e TCP/IP

- OSI: Modelo foi proposto antes dos protocolos serem especificados
 - + Modelo não foi dirigido para um conjunto específico de protocolos
 - Difícil antecipar que funcionalidade cada camada devia ter
 - ◆ Exemplo: camada de enlace foi projetada somente para redes ponto-a-ponto. Mais tarde, o modelo teve que ser adaptado para redes difusão.

Diferenças entre OSI e TCP/IP

- TCP: Protocolos vieram antes e o modelo foi concebido para se adaptar a esses protocolos
 - + Os protocolos não tiveram problemas para se adaptar ao modelo
 - Modelo não se adapta a outras pilhas de protocolos
 - Não é útil para descrever redes não TCP/IP

Diferenças entre OSI e TCP/IP

- Número de camadas:
 - ◆ OSI (7) x TCP/IP (4)
- Camadas em comum:
 - ◆ Rede (interconexão)
 - ◆ Transporte
 - ◆ Aplicação

Diferenças entre OSI e TCP/IP

- Serviços de rede x Serviços de transporte

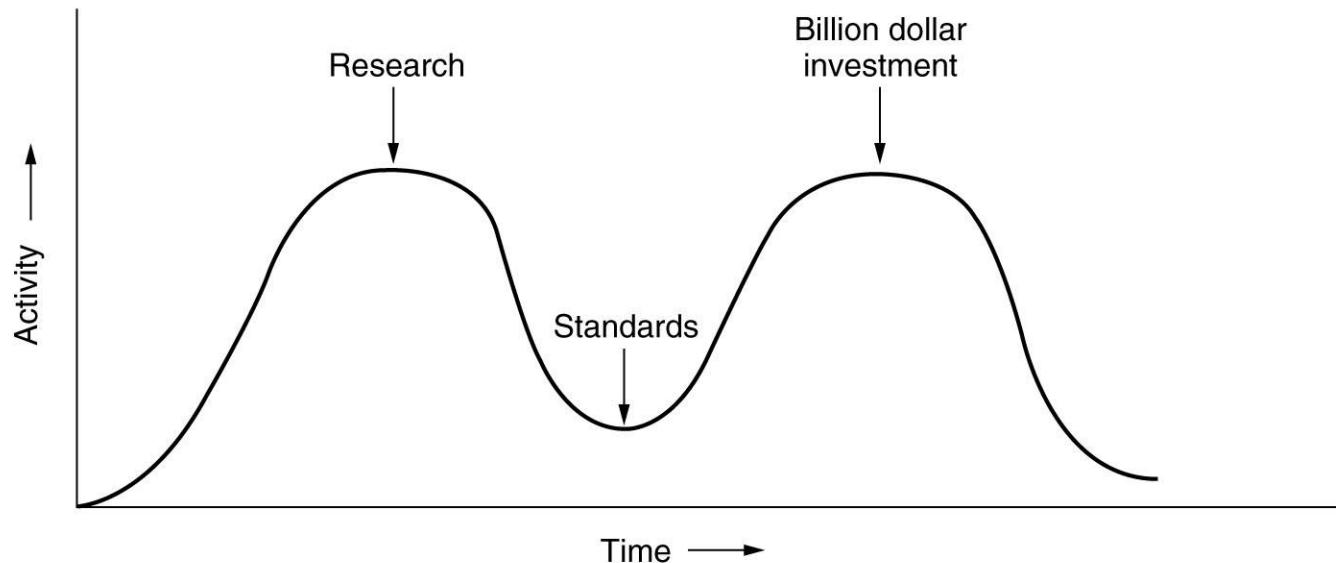
Camada	OSI	TCP/IP
Rede	Sem Conexão Com Conexão	Sem Conexão
Transporte	Com Conexão	Sem Conexão Com Conexão

Crítica ao Modelo OSI e seus Protocolos

- Expectativa no final da década de 80:
 - ◆ Modelo OSI e seus protocolos iriam ser a arquitetura de rede predominante
- Expectativa não se concretizou por problemas de:
 - ◆ Momento da disponibilização dos padrões
 - ◆ Tecnologia
 - ◆ Implementações

Momento da Disponibilização dos Padrões

- Teoria de padrões “Apocalipse dos Dois Elefantes” de David Clark, pesquisador do MIT:



Se o intervalo entre os dois elefantes for muito curto, a equipe de desenvolvimento dos padrões poderá se precipitar

Momento da Disponibilização dos Padrões

- O lançamento dos protocolos do padrão OSI não foi bem sucedido
 - ◆ Protocolos TCP/IP já eram muito utilizados pelo meio acadêmico quando os protocolos OSI apareceram
 - ◆ Antes da onda de investimentos de bilhões de dólares, o mercado acadêmico já era suficientemente grande

Problema da Tecnologia

- Modelo e protocolos têm falhas de projeto
- Por exemplo, problemas com as camadas:
 - ◆ Enlace e rede: possuem muitas funções o que levou a serem divididas em sub-camadas
 - ◆ Sessão: pouca utilidade na maior parte das aplicações
 - ◆ Apresentação: quase sem função
- Protocolos complexos e de difícil compreensão

Problema da Tecnologia

- Algumas funções como endereçamento, controle de fluxo e controle de erro reaparecem em várias camadas
- Não é claro onde certas funções devem se encaixar:
 - ◆ Terminal virtual: passou da camada de apresentação para aplicação
 - ◆ Segurança de dados, criptografia e gerência de rede: não houve acordo onde deveria entrar
- Ignorou serviços sem conexão apesar de algumas redes funcionarem dessa forma

Problema das Implementações

- Devido à enorme complexidade do modelo e dos protocolos, as primeiras implementações eram de qualidade ruim
- Primeiras implementações do TCP/IP eram de boa qualidade e grátis e faziam parte do UNIX de Berkeley

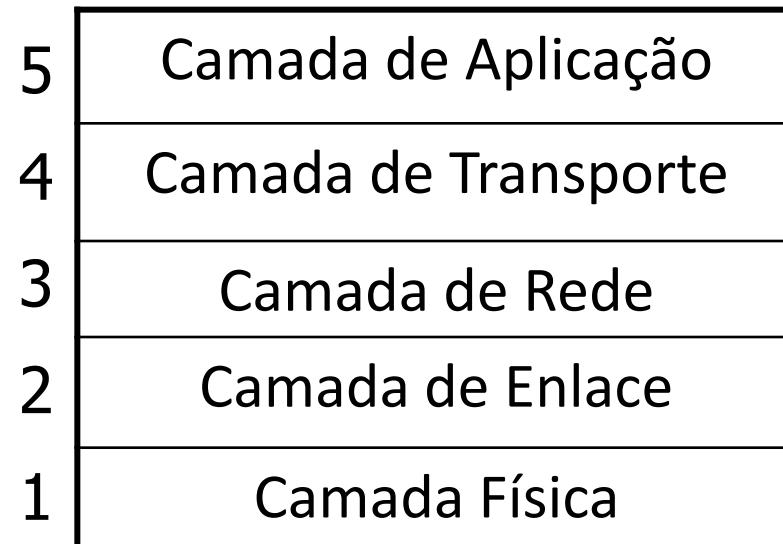
Crítica ao Modelo TCP/IP

- Modelo não é um guia para projetar novas redes usando novas tecnologias
- Modelo não é adequado para descrever outra pilha de protocolos

Crítica ao Modelo TCP/IP

- Camada hospedeiro-rede é na verdade uma interface entre as camadas de rede e de enlace
- Modelo não trata das camadas de enlace e física
- Alguns protocolos projetados sem nenhum princípio

Modelo de Referência Híbrido



Exercícios

9. Cite dois aspectos em que o modelo de referência OSI e o modelo de referência TCP/IP são iguais.
Agora cite dois aspectos em que eles são diferentes.
10. Qual é a principal diferença entre o TCP e o UDP?

Internet

História da Internet



História da Internet

- O que é a Internet?
 - ◆ Não é uma rede, mas sim um vasto conjunto de redes diferentes que utilizam certos protocolos comuns e fornecem determinados serviços comuns
 - ◆ Não foi planejada
 - ◆ Não é controlada por ninguém
- Quando a Internet nasceu?

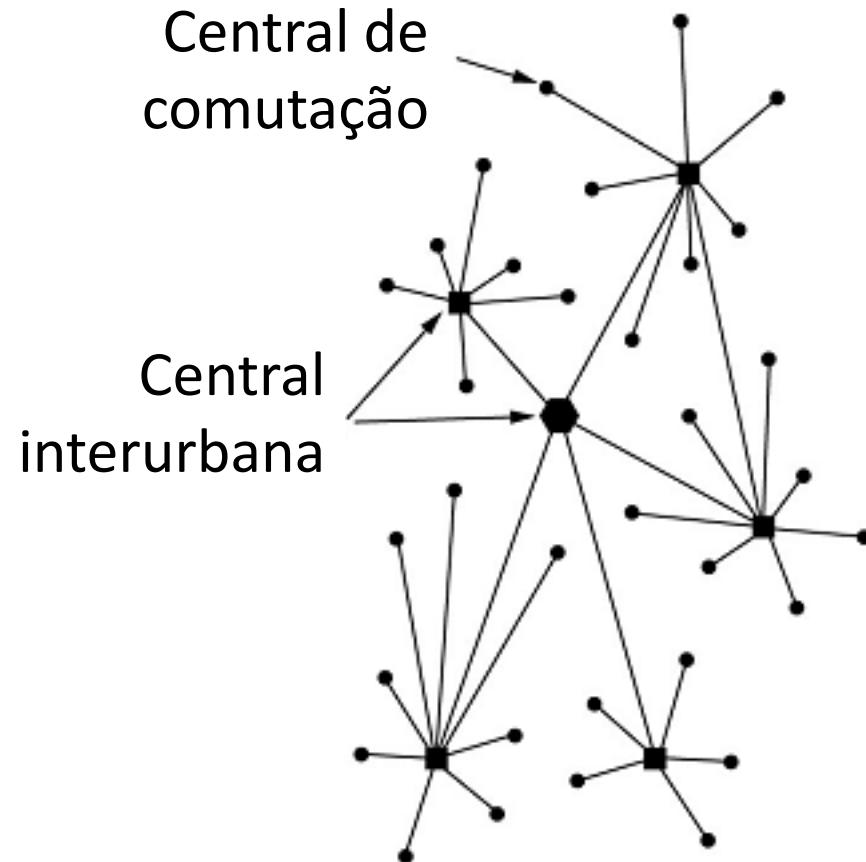
História da Internet

- Final da década de 1950:
 - ◆ Em 1957, a União Soviética suplantou os EUA na corrida espacial com o lançamento do Sputnik
 - ◆ Criação da ARPA (*Advanced Research Projects Agency*) como única organização de pesquisa de defesa
 - ▶ Não tinha cientistas e nem laboratórios
 - ▶ Realizava seu trabalho oferecendo concessões a universidades e empresas cujas idéias lhe pareciam promissoras

História da Internet

- Final da década de 1950:
 - ◆ No auge da Guerra Fria, o Departamento de Defesa (DoD) dos EUA queria uma rede de controle e comando capaz de sobreviver a uma guerra nuclear
 - ◆ Todas as comunicações militares passavam pela rede de telefonia pública, considerada vulnerável

História da Internet

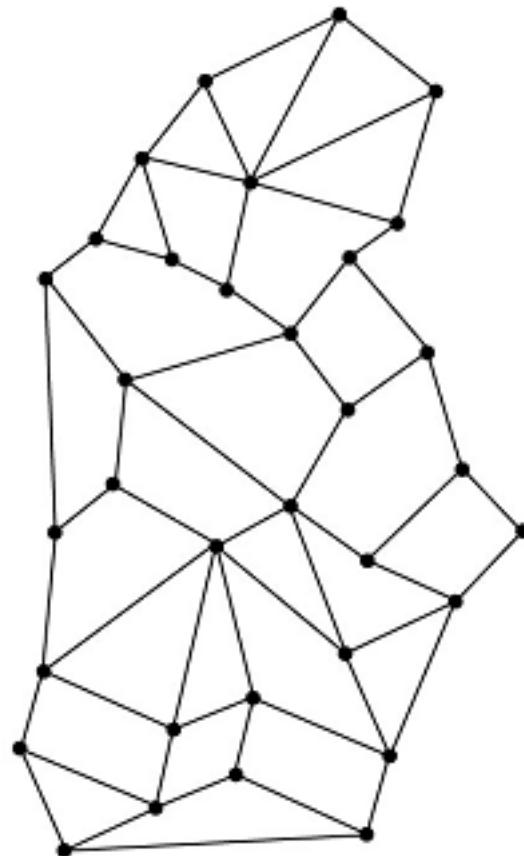


Estrutura do sistema de telefonia

História da Internet

- Década 1960:
 - ◆ Paul Baran investigou o uso de comutação de pacotes para a segurança da transmissão de voz pelas redes militares
 - ◆ Baran apresentou ao DoD dos EUA um projeto altamente distribuído e tolerante a falhas
 - ▶ Propôs o uso da tecnologia digital de comutação de pacotes em todo os sistema

História da Internet



Sistema distribuído de comutação de pacotes proposto por Baran

História da Internet

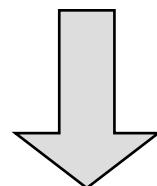
- Idéias de Baran foram descartadas pela AT&T
- 1964:
 - ◆ Donald Davies e Roger Scantlebury (*National Physical Laboratory, Inglaterra*) estudaram comutação por pacote
- 1967:
 - ◆ Roberts, diretor da ARPA, apresentou um documento do que seria a ARPANET

ARPANET

- Sub-rede com minicomputadores chamados IMPs (processadores de mensagens de interface) conectados por linhas de transmissão de 56 Kbps
- Cada IMP seria conectado a pelo menos dois outros IMPs
- Se algumas linhas ou IMPs fossem destruídos, as mensagens seriam roteadas automaticamente para caminhos alternativos

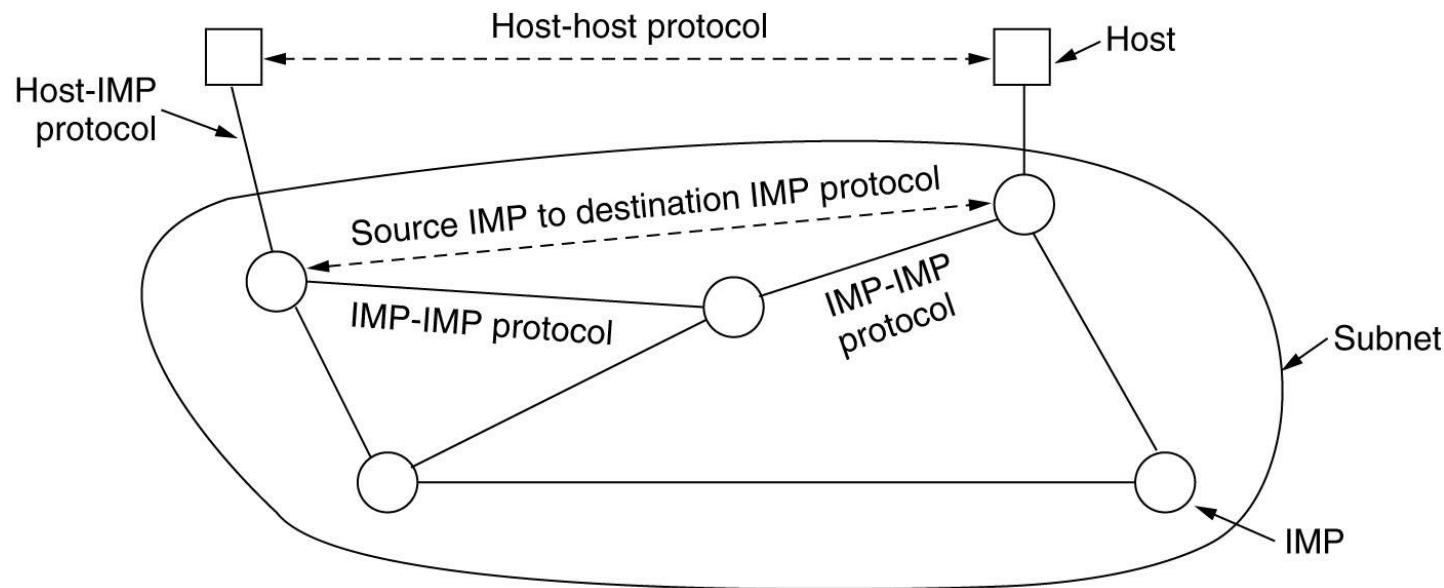
ARPANET

- Cada IMP seria conectado a um host
- Um host poderia enviar mensagens de até 8.063 bits para seu IMP
- Cada IMP dividiria a mensagem em pacotes de no máximo 1.008 bits e os encaminha de forma independente ao destino



Primeira rede eletrônica de comutação
de pacotes do tipo *store-and-forward*

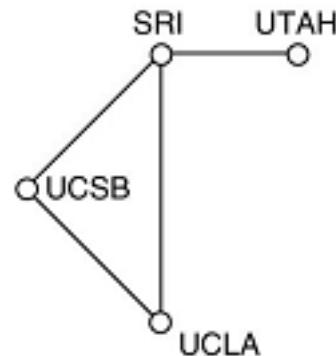
Projeto Original da ARPANET



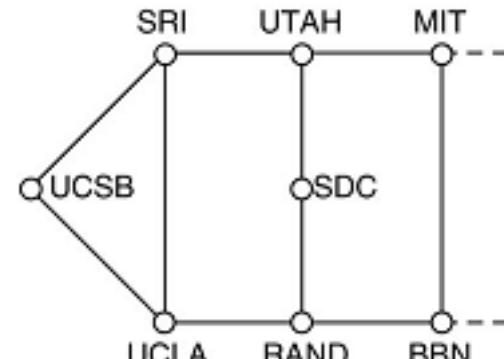
ARPANET

- Dezembro de 1968:
 - ◆ ARPA assinou um contrato para montar a sub-rede e desenvolver software para ela
- Dezembro de 1969:
 - ◆ Entrou no ar uma rede experimental com quatro nós instalados nas seguintes instituições: UCLA, Stanford Research Institute (SRI), UC Santa Barbara e University of Utah

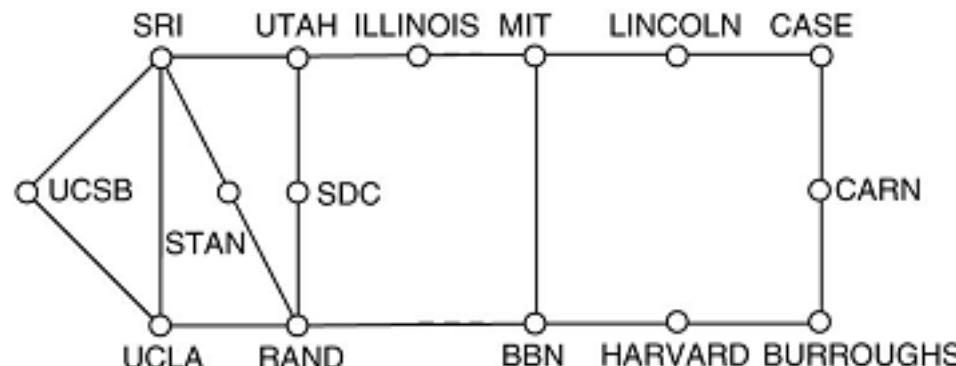
Crescimento da ARPANET



Dezembro de 1969

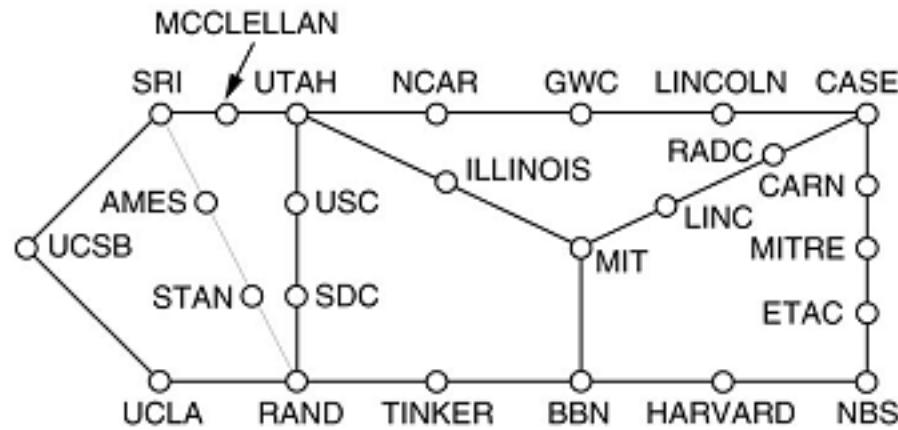


Julho de 1970

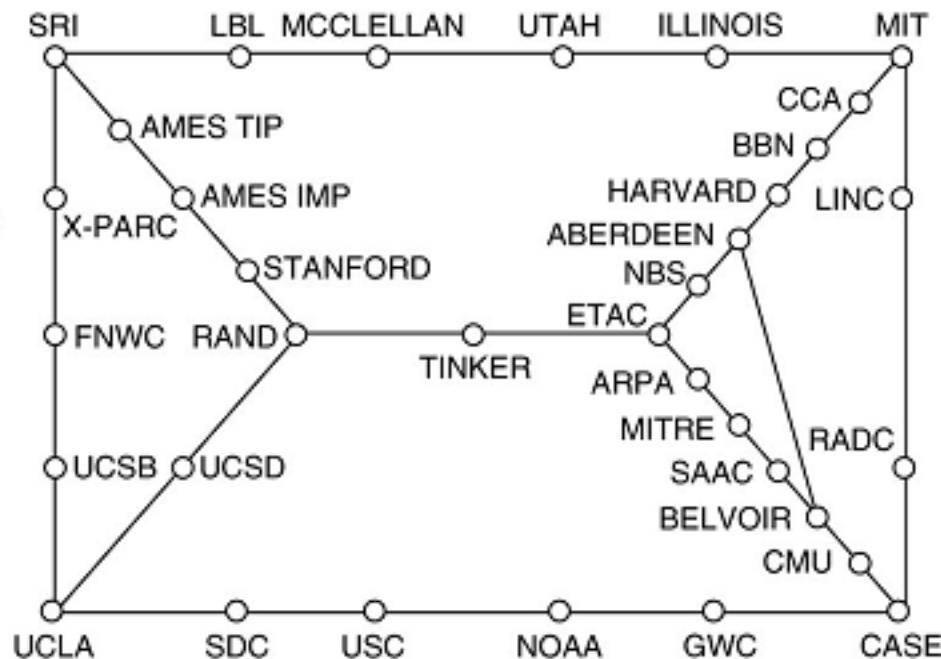


Março de 1971

Crescimento da ARPANET



Abril de 1972



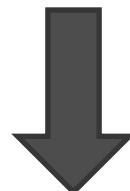
Setembro de 1972

ARPANET

- Início da década de 1970:
 - ◆ Os protocolos da ARPANET não eram adequados para a execução em redes múltiplas
- 1973:
 - ◆ Tese de doutorado de Metcalfe propõe a rede Ethernet

ARPANET

- 1974:
 - ◆ Cerf e Kahn propuseram uma arquitetura para interconexão de redes (TCP/IP)
 - ▶ Minimalismo, autonomia - não se exigem mudanças internas para interconexão de redes
 - ▶ Modelo de serviço: melhor esforço
 - ▶ Roteadores sem estado
 - ▶ Controle descentralizado



Define a arquitetura da Internet de hoje

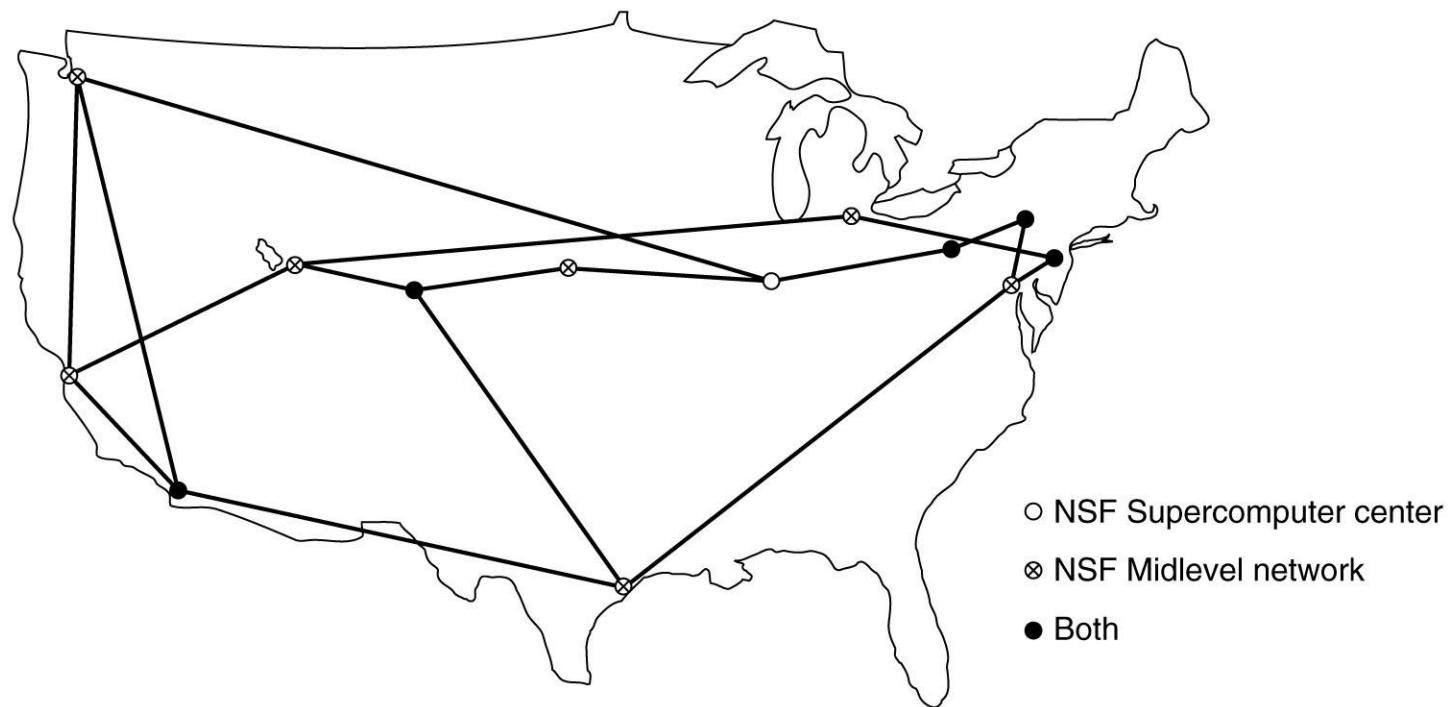
ARPANET

- TCP/IP é integrado ao sistema operacional UNIX de Berkeley
- Final da década de 1970:
 - ◆ ARPANET estava causando um enorme impacto nas pesquisas científicas
 - ◆ Para entrar na ARPANET, uma universidade precisava ter um contrato com o DoD dos EUA (nem todas tinham)

NSFNET

- Final da década de 1970:
 - ◆ NSF (*National Science Foundation*) desenvolveu a NSFNET que seria a sucessora da ARPANET aberta a todos os grupos de pesquisa universitários
 - ◆ Criou uma rede de *backbone* para conectar seus seis centros de supercomputadores localizados em San Diego, Boulder, Champaign, Pittsburgh, Ithaca e Princeton

Backbone da NSFNET em 1988



NSFNET

■ Década de 1980:

- ◆ NSF também financiou cerca de 20 redes regionais que foram conectadas ao backbone para os usuários de milhares de universidades, laboratórios de pesquisa, bibliotecas e museus
- ◆ Novas redes, em particular as LANs, foram conectadas à ARPANET
- ◆ 1982: SMTP (Correio eletrônico) é definido
- ◆ 1983: NSFNET se conecta à ARPANET

NSFNET

- Década de 1980:
 - ◆ 1983: DNS definido para translação de nomes em endereços IP
 - ◆ 1985: FTP é definido
 - ◆ 1988: Controle de congestionamento do TCP
- 1990:
 - ◆ Segundo backbone da NSFNET foi atualizado para 1.5 Mbps

NSFNET

- Início da década de 1990:
 - ◆ NSFNET estava crescendo muito, o governo não podia mais continuar a financiar a rede para sempre
 - ◆ Organizações comerciais queriam participar da rede, mas eram proibidas pelo estatuto da NSF de utilizar redes mantidas com verbas da fundação
- 1991:
 - ◆ NSF retira restrições sobre o uso comercial da NSFNET

Internet

- Início dos anos 90:
 - ◆ www: hypertext, HTML, HTTP, Mosaic, Netscape
- Final dos anos 90:
 - ◆ Comercialização da www
 - ◆ Estimativa de 50 milhões de computadores na Internet e de 100 milhões de usuários
 - ◆ Enlaces de backbone operando a Gbps

CAMADA FÍSICA

Camada Física

Camada de Aplicação

Camada de Transporte

Camada de Rede

Camada de Enlace

Camada Física

Camada Física

- Meios de transmissão
- Largura de banda e taxa de dados
- Unidades métricas
- Atrasos em redes de comutação de pacotes

Meios de Transmissão

- Objetivo da camada física:
 - ◆ Transportar uma sequência de bits de uma máquina para outra
- Problema a ser resolvido:
 - ◆ Codificação de bits

Meios de Transmissão

- O tipo de meio físico a ser usado depende, dentre outros fatores de:
 - ◆ Largura de banda (*bandwidth*)
 - ◆ Atraso (*delay*) ou latência (*latency*) ou retardo
 - ◆ Custo
 - ◆ Facilidade de instalação e manutenção

Meios de Transmissão

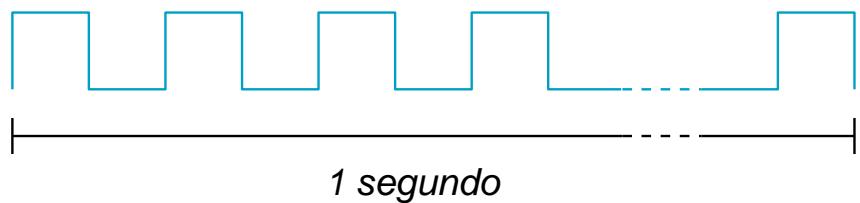
- Os meios podem ser agrupados em:
 - ◆ Guiados: as ondas são guiadas através de um caminho físico (par trançado, cabo coaxial ou fibra óptica)
 - ◆ Não-guiados: as ondas se propagam sem haver um caminho físico (ondas de rádio, microondas ou infravermelho)

Largura de Banda

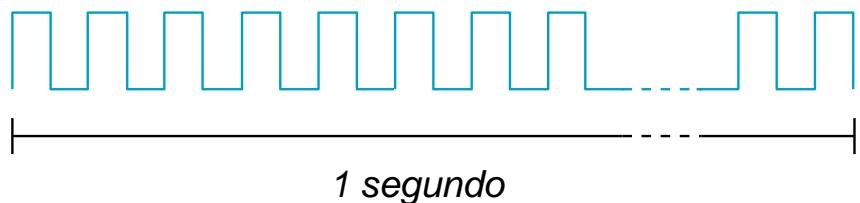
- A faixa de frequências transmitidas sem serem fortemente atenuadas denomina-se largura de banda
- A largura de banda é uma propriedade física do meio de transmissão e, em geral, depende da construção, da espessura e do comprimento do meio
- Limitando-se a largura de banda, limita-se a taxa de dados

Taxa de Dados

- Número de bits que podem ser transmitidos por uma rede em um período de tempo



1 Mbps: 1 milhão de bits por segundo (1 μ s para transmitir cada bit)



2 Mbps: 2 milhões de bits por segundo (0.5 μ s para transmitir cada bit)

Exercícios

11. Queremos enviar uma sequência de imagens de tela de computador por fibra óptica. A tela tem 480x640 pixels e cada pixel tem 24 bits. Há 60 imagens de tela por segundo. Qual é a taxa de dados necessária?

12. Quanto tempo leva para transmitir uma mensagem de 32 KB por um canal de 10 Mbps?

MB, Mbps, KB, Kbps

- **b** significa bits e **B** bytes
- Mega significa 2^{20} ou 10^6 ?
- Kilo significa 2^{10} ou 10^3 ?
- Largura de banda
 - ◆ Está relacionada com velocidade de clock (Hz)
 - ◆ Mbps significa 10^6 bits por segundo
- Mensagem a ser transmitida
 - ◆ Mensagens são armazenadas na memória e estas são medidas em potências de 2
 - ◆ MB significa 2^{20} bytes

Unidades Métricas

Exp.	Explicit	Prefix	Exp.	Explicit	Prefix
10^{-3}	0.001	milli	10^3	1,000	Kilo
10^{-6}	0.000001	micro	10^6	1,000,000	Mega
10^{-9}	0.000000001	nano	10^9	1,000,000,000	Giga
10^{-12}	0.000000000001	pico	10^{12}	1,000,000,000,000	Tera
10^{-15}	0.000000000000001	femto	10^{15}	1,000,000,000,000,000	Peta
10^{-18}	0.000000000000000001	atto	10^{18}	1,000,000,000,000,000,000	Exa
10^{-21}	0.000000000000000000001	zepto	10^{21}	1,000,000,000,000,000,000,000	Zetta
10^{-24}	0.0000000000000000000000000000000001	yocto	10^{24}	1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000	Yotta

Exercício

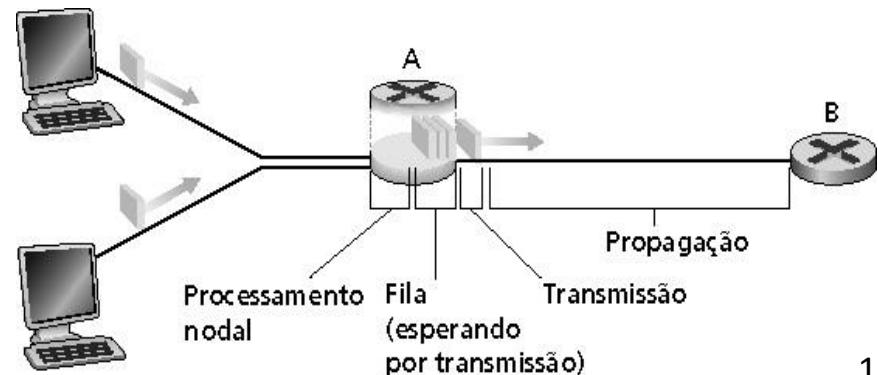
13. Imagine que você tenha treinado Bernie, seu cachorro São Bernardo, para carregar uma caixa de três fitas de 8 mm, em vez de um cantil de conhaque. Cada uma dessas fitas contém 7 GB. O cachorro pode viajar a seu lado, onde quer que você esteja, a 18 km/h. Para que intervalo de distância Barnie terá uma taxa de dados mais alta que uma linha de transmissão cuja taxa de dados é de 150 Mbps?

Atrasos em Redes de Comutação de Pacotes

- Um pacote começa no sistema final (origem), passa por uma série de roteadores e termina sua jornada em outro sistema final (destino)
- Quando o pacote chega a um roteador, vindo do nó anterior, o roteador examina o cabeçalho do pacote para determinar o enlace de saída apropriado e, em seguida, o direciona ao enlace

Atrasos em Redes de Comutação de Pacotes

- Quando um pacote viaja de um nó ao nó subsequente (sistema final ou roteador), ele sofre ao longo do caminho diferentes tipos de atrasos:
 - ◆ Atraso de processamento
 - ◆ Atraso de fila
 - ◆ Atraso de transmissão
 - ◆ Atraso de propagação



Atrasos em Redes de Comutação de Pacotes

- **Atraso de processamento:** tempo requerido para examinar o cabeçalho do pacote e determinar para qual fila direcioná-lo
- **Atraso de fila:** o pacote sofre um atraso de fila enquanto espera para ser transferido no enlace

Atrasos em Redes de Comutação de Pacotes

- **Atraso de transmissão:** um pacote é transmitido assim que todos os pacotes que chegaram antes tenham sido transmitidos (depende da velocidade de transmissão do enlace e do tamanho do pacote)
- **Atraso de propagação:** assim que um bit é lançado no enlace, ele precisa se propagar até o próximo roteador, o bit se propaga à velocidade de propagação do enlace (depende da velocidade de propagação e do tamanho do enlace)

Exercício

14. Considere dois computadores, A e B, conectados por um único enlace de taxa R bps. Suponha que esses computadores estejam separados por m metros e que a velocidade de propagação ao longo do enlace seja de s metros/segundo. O Computador A tem de enviar um pacote de L bits ao computador B.
- Expresse o atraso de propagação, d_{prop} .
 - Determine o tempo de transmissão do pacote, d_{trans} .
 - Ignorando os atrasos de processamento e de fila, obtenha uma expressão para o atraso fim-a-fim.

Exercício (cont.)

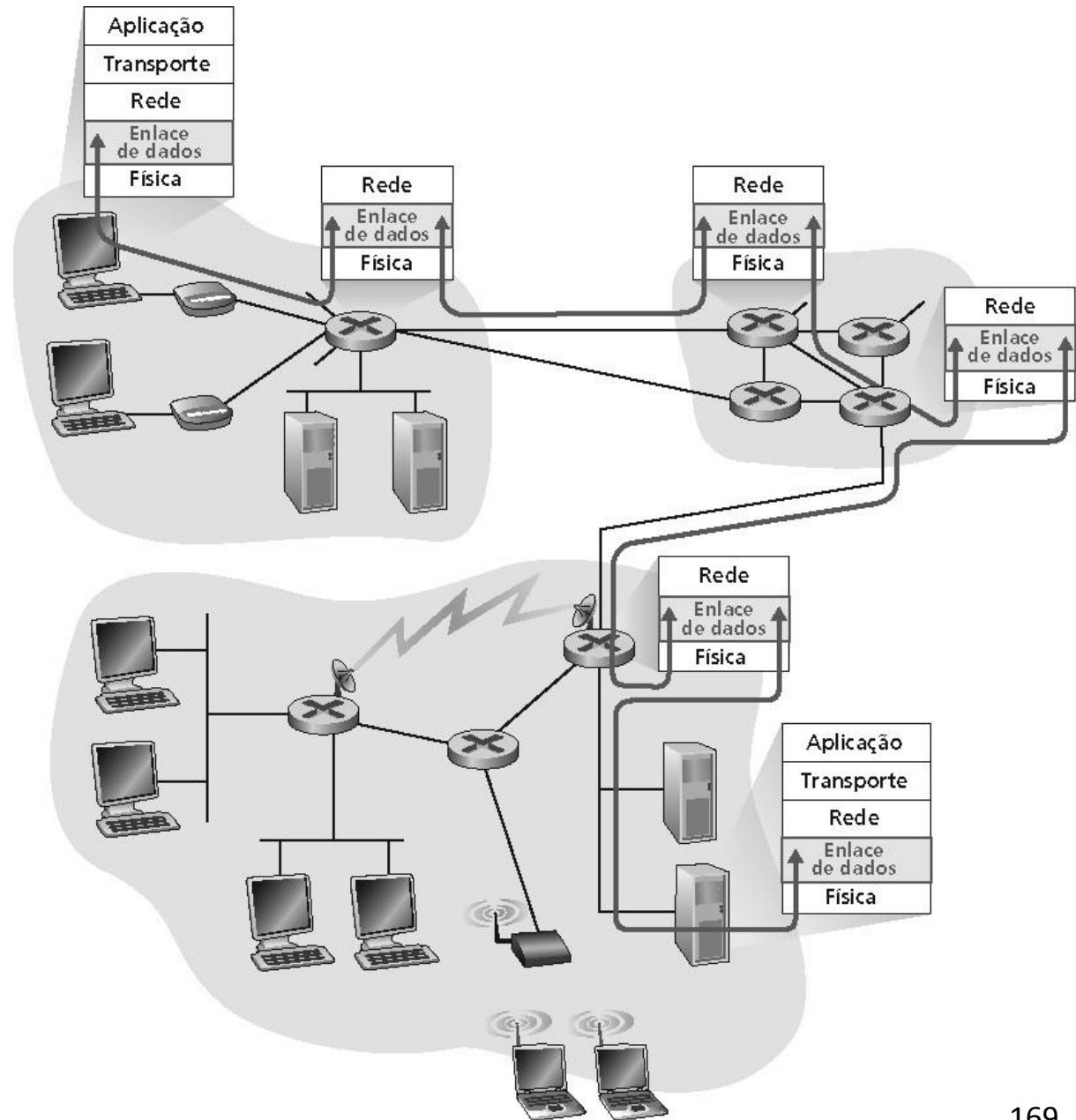
- d) Suponha que o computador A comece a transmitir o pacote no instante $t=0$. No instante $t = d_{trans}$, onde estará o último bit do pacote?
- e) Suponha que d_{prop} seja maior do que d_{trans} . Onde estará o primeiro bit do pacote no instante $t = d_{trans}$?
- f) Suponha que d_{prop} seja menor do que d_{trans} . Onde estará o primeiro bit do pacote no instante $t = d_{trans}$?
- g) Suponha que $s=2,5 \times 10^8 \text{m/s}$, $L = 100 \text{ bits}$ e $R = 28 \text{ Kbps}$. Para qual distância d_{prop} é igual a d_{trans} ?

CAMADA DE ENLACE

Camada de Enlace



Camada de Enlace



Camada de Enlace

- Funções da camada de enlace:
 - ◆ Enquadramento: agrupar sequência de bits em quadros
 - ◆ Detecção e correção de erros
- Subcamada de controle de acesso ao meio (MAC)
 - ◆ Protocolos da camada de enlace de redes difusão:
 - ▶ Aloha
 - ▶ CSMA
 - ▶ Ethernet

Funções da Camada de Enlace

- Responsável pela comunicação entre dois computadores adjacentes
 - ◆ Adjacente significa que dois computadores estão fisicamente ligados por um canal de comunicação FIFO (*first-in-first-out*), ou seja, que preserva a ordem que os bits foram enviados

Funções da Camada de Enlace

- A camada física aceita um fluxo de bits brutos e tenta entregá-los ao destino:
 - ◆ Não há garantia de que esse fluxo de bits seja livre de erros
 - ◆ O número de bits recebidos pode ser menor, igual ou maior que o número de bits transmitidos
 - ◆ Os bits podem ter valores diferentes dos bits originalmente transmitidos
 - ◆ Permitem uma taxa máxima de transferência
 - ◆ Possuem um tempo de propagação diferente de zero

Funções da Camada de Enlace

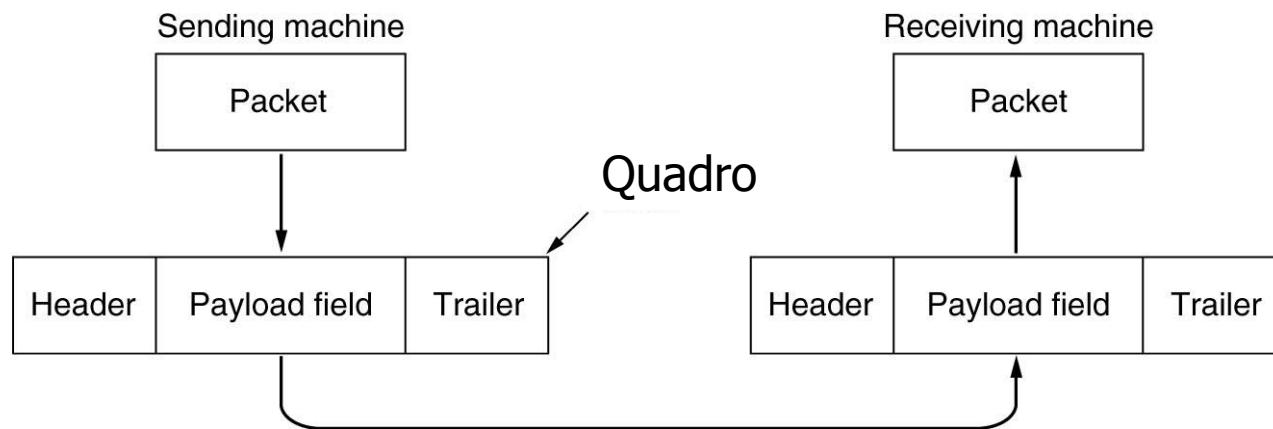
- A camada de enlace de dados é responsável por transformar um canal de transmissão bruto em uma linha que pareça livre de erros para a camada de rede (detectar e, se necessário, corrigir erros)
- O transmissor divide os dados de entrada em quadros com algumas centenas ou alguns milhares de bytes
- Redes tipo difusão devem implementar um mecanismo de controle de acesso ao meio (subcamada de controle de acesso ao meio – MAC)

Funções da Camada de Enlace

- A camada de enlace recebe os pacotes da camada de rede e os encapsula em quadros para transmissão
 - ◆ Quadro = cabeçalho (header) + carga útil (pacote recebido da camada de rede) + final de quadro (trailer)

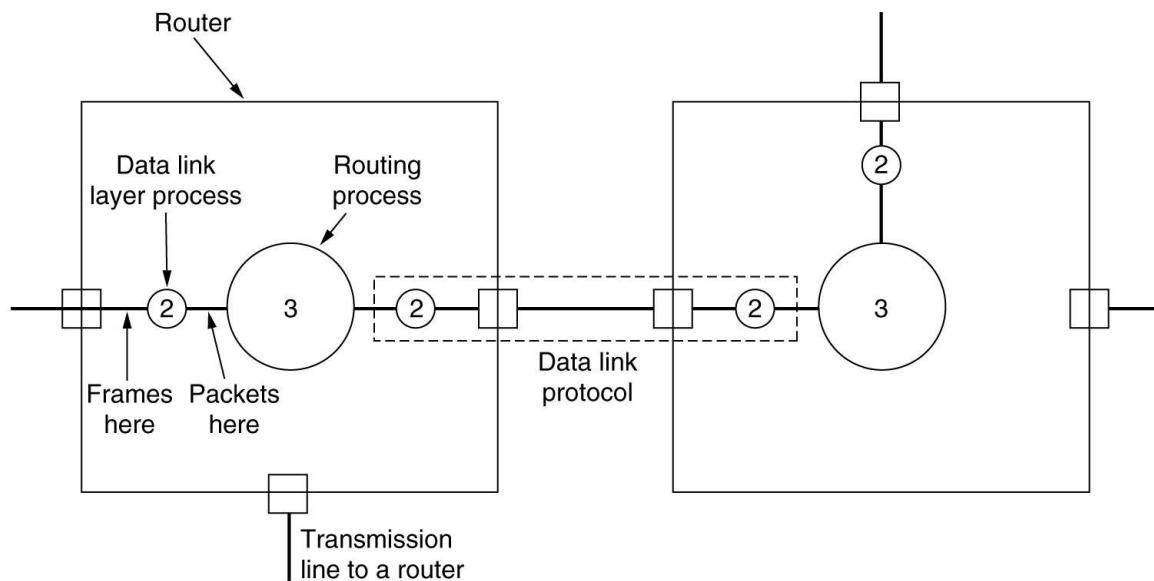
Rede

Enlace



Protocolo da Camada de Enlace

- O protocolo da camada de enlace define o formato dos quadros trocados entre os nós nas extremidades do enlace, bem como as ações realizadas por esses nós ao enviar e receber os quadros



Enquadramento

- Problema a ser resolvido:
 - ◆ Como agrupar sequências de bits em quadros para que possam ser processados como unidades de informação?
ou, de outra forma,
 - ◆ Como fazer delimitação de quadros?

Enquadramento

- Soluções:
 1. Intervalos de tempo
 2. Contagem de caracteres
 3. Bytes de *flags*, com inserção de bytes
 4. *Flags* iniciais e finais, com inserção de bits
 5. Violação de codificação da camada física

Soluções para o Enquadramento

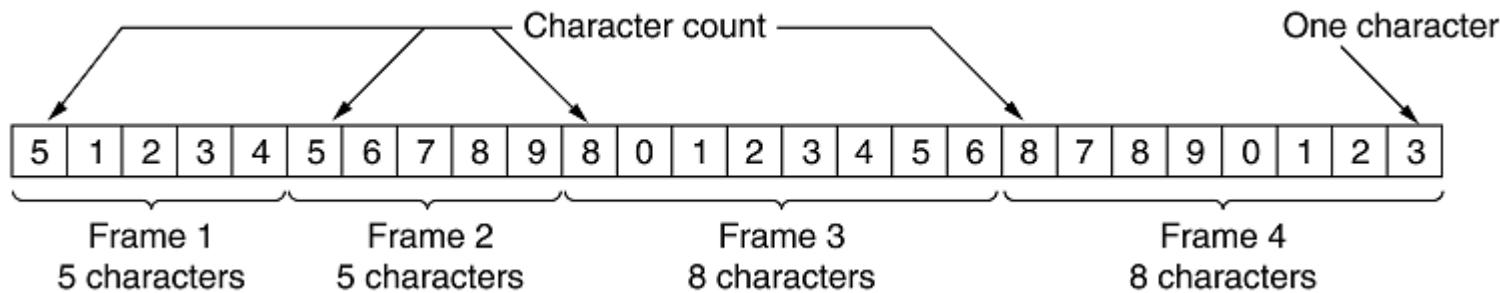
1. Intervalos de tempo

- ◆ Inserir intervalos de tempo entre transmissões de quadro
- ◆ As redes raramente oferecem qualquer garantia em relação à temporização
- ◆ É possível que esses intervalos sejam condensados ou que outros intervalos sejam inseridos durante a transmissão

Soluções para o Enquadramento

2. Contagem de caracteres

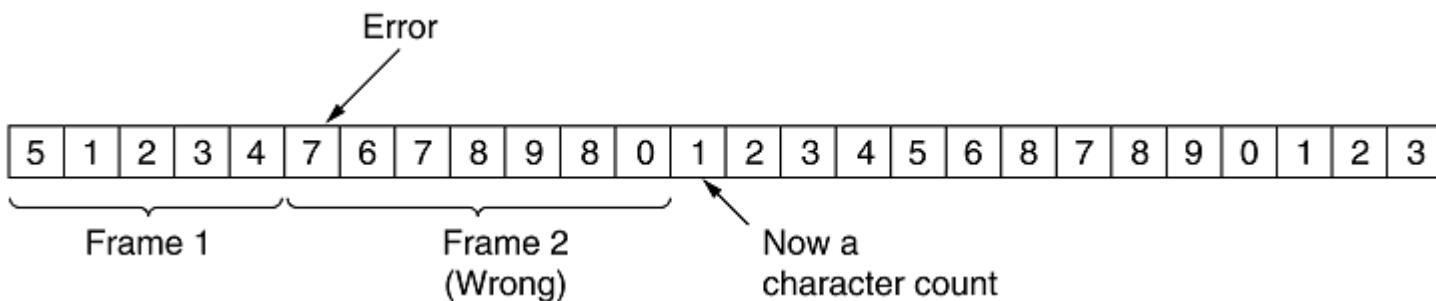
- ◆ Usa um campo no cabeçalho para especificar o número de caracteres no quadro



Soluções para o Enquadramento

2. Contagem de caracteres

- ◆ Problema: erro nesse campo faz com que o receptor perca a sincronização



- Não é usado na prática para protocolos da camada de enlace
- Pode ser utilizado pelos protocolos acima da camada de enlace?

Soluções para o Enquadramento

3. Bytes de *flags*, com inserção de bytes

- ◆ Cada quadro começa e termina com bytes especiais
- ◆ Se o receptor perder a sincronização, ele poderá simplesmente procurar pelo byte de *flag* para descobrir o fim do quadro atual
- ◆ Dois bytes de *flag* consecutivos indicam o fim de um quadro e o início do próximo

FLAG	Header	Payload field	Trailer	FLAG
------	--------	---------------	---------	------

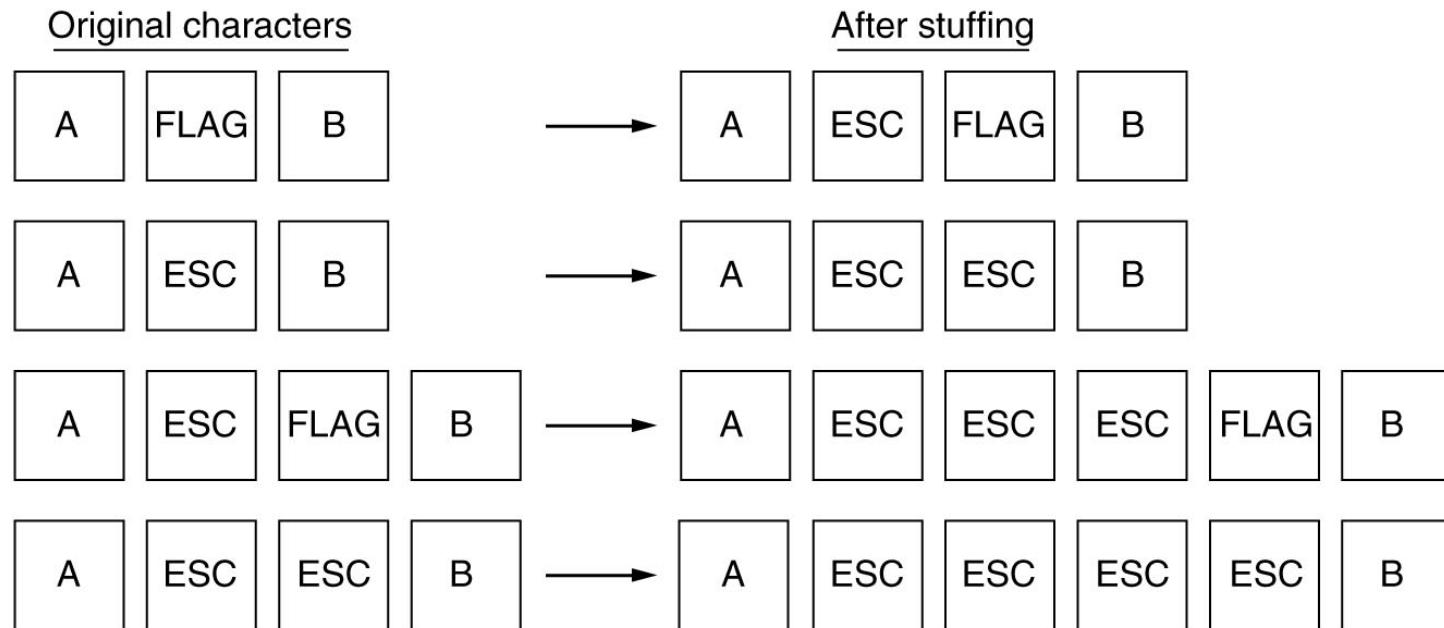
Soluções para o Enquadramento

3. Bytes de *flags*, com inserção de bytes

- ◆ E se o padrão de bits do byte do *flag* ocorrer nos dados?
- ◆ A camada de enlace do transmissor deve incluir um caractere de escape especial (ESC) imediatamente antes de cada byte de *flag* “accidental” nos dados
- ◆ A camada de enlace da extremidade receptora remove o byte de escape antes de entregar os dados à camada de rede

Soluções para o Enquadramento

3. Bytes de *flags*, com inserção de bytes



Soluções para o Enquadramento

4. Flags iniciais e finais, com inserção de bits

- ◆ Permite enviar um número arbitrário de bits
- ◆ Quadros são delimitados por uma sequência especial de bits (*flag*) que possui o seguinte padrão: 01111110
- ◆ Bits são transmitidos de forma transparente:
 - ▶ Transmissor: ao encontrar cinco bits 1 consecutivos insere um bit 0
 - ▶ Receptor: ao receber cinco bits 1 seguido de um bit 0 remove o bit 0 (*bit stuffing*)

Soluções para o Enquadramento

4. Flags iniciais e finais, com inserção de bits

Dados originais

0 1 1 0 1 0 0 1 0

Dados transmitidos

0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0

Bits inseridos

Dados armazenados na memória do receptor

0 1 1 0 1 0 0 1 0

Soluções para o Enquadramento

4. *Flags* iniciais e finais, com inserção de bits

- ◆ O limite entre dois quadros pode ser reconhecido sem qualquer tipo de ambiguidade pelo padrão de *flags*
- ◆ Se o receptor perder o controle de onde estão os dados, bastará varrer a entrada em busca de sequências de *flags*, pois elas nunca ocorrem dentro dos dados, apenas nos limites dos quadros

Soluções para o Enquadramento

5. Violação de codificação da camada física

- ◆ Método é baseado numa característica da camada física
- ◆ O início e fim de quadro são determinados por um código de transmissão inválido
- ◆ Usado no padrão IEEE 802

Soluções para o Enquadramento

5. Violação de codificação da camada física

- ◆ LANs codificam bit 1 por um par alto-baixo e o bit 0 pelo par baixo-alto
- ◆ Todo bit de dados tem uma transição intermediária
- ◆ A combinação alto-alto e baixo-baixo não são usadas para dados e, por isso, podem ser empregadas na delimitação de quadros

Exercícios

15. A codificação de caracteres a seguir é usada em um protocolo de enlace de dados: A: 01000111, B: 11100011, FLAG: 01111110, ESC: 11100000. Mostre a sequência de bits transmitida (em binário) para o quadro de quatro caracteres: A B ESC FLAG quando é utilizado cada um dos métodos de enquadramento a seguir:
- a) Contagem de caracteres:
 - b) Bytes de *flag* com inserção de bytes:
 - c) Bytes de *flag* no início e no fim, com inserção de bits:

Exercícios

16. Um string de bits 0111101111101111110 precisa ser transmitido na camada de enlace de dados. Qual é o string realmente transmitido após a inserção de bits?

Detecção e Correção de Erros

- Duas abordagens principais:
 - ◆ Incluir informações redundantes suficientes para que o receptor seja capaz de deduzir quais devem ter sido os dados transmitidos (**Códigos de Correção de Erros**)
 - ◆ Incluir informações redundantes suficientes apenas para permitir que o receptor deduza que houve um erro, mas sem identificar qual, para que o pacote seja descartado (**Códigos de Detecção de Erros**)

Detecção e Correção de Erros

- Códigos de detecção de erros:
 - ◆ Usados em canais altamente confiáveis, como as fibras
 - ◆ O bloco defeituoso é retransmitido

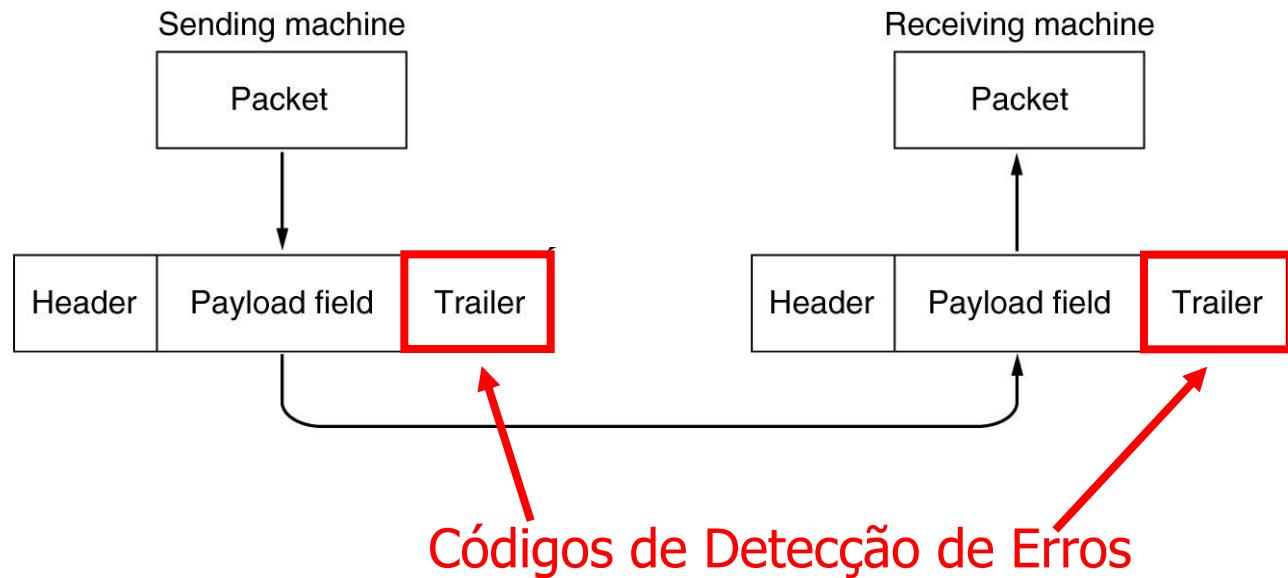
- Códigos de correção de erros:
 - ◆ Usados em canais como enlaces sem fio que geram muitos erros

Detecção de Erros

- São acrescentados na parte final do quadro

Rede

Enlace



Códigos de Detecção de Erros

- Código de verificação de redundância cíclica (*cyclic redundancy check* – CRC) ou código polinomial
 - ◆ As *strings* de bits são representações de polinômios com coeficientes 0 e 1 apenas
 - ◆ Um quadro de m bits é considerado um polinômio com m termos, variando desde x^{m-1} até x^0 (grau $m-1$)
 - Exemplo: 110001 representa o polinômio $x^5+x^4+x^0$

Códigos de Detecção de Erros

■ CRC

- ◆ O transmissor e o receptor devem concordar em relação ao polinômio gerador, $G(x)$, antecipadamente
- ◆ Para calcular o total de verificação de um quadro com m bits, que corresponde ao polinômio $M(x)$, o quadro deve ter mais bits do que o polinômio gerador

Códigos de Detecção de Erros

■ CRC

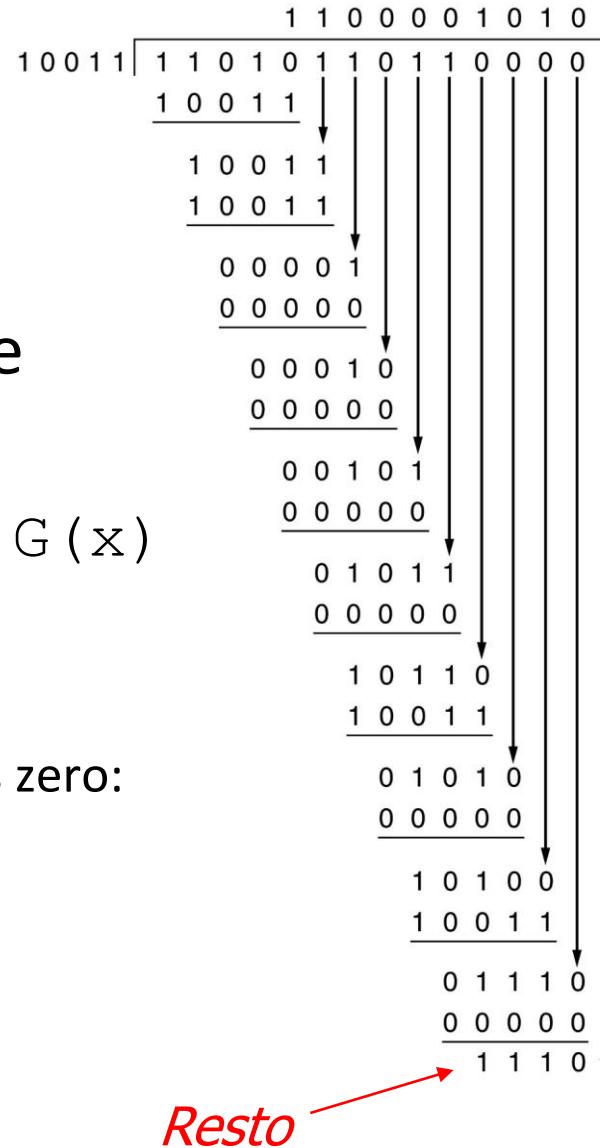
- ◆ Quadro verificado = quadro + total de verificação
- ◆ Acrescentar um total de verificação no final do quadro, de forma que o polinômio representado pelo quadro verificado seja divisível por $G(x)$
- ◆ Quando obtiver o quadro verificado, o receptor tentará dividi-lo por $G(x)$, a existência de um resto indica que houve um erro de transmissão

Códigos de Detecção de Erros

- Algoritmo para calcular o total de verificação
 - ◆ Seja r o grau de $G(x)$. Acrescente r bits zero à extremidade de baixa ordem do quadro, de modo que ele passe a conter $m+r$ bits e corresponda ao polinômio $x^r M(x)$
 - Quadro: 1101011011
 - Gerador: 10011
 - Mensagem após o acréscimo de 4 bits zero:
11010110110000

Códigos de Detecção de Erros

- Algoritmo para calcular o total de verificação
 - ◆ Divida a string de bits $x^r M(x)$ por $G(x)$
 - Quadro: 1101011011
 - Gerador: 10011
 - Mensagem após o acréscimo de 4 bits zero:
11010110110000



Códigos de Detecção de Erros

- Algoritmo para calcular o total de verificação
 - ◆ Some o resto (que tem sempre r ou menos bits) ao string de bits correspondente a $x^r M(x)$
 - ◆ O resultado é o quadro verificado que deverá ser transmitido
 - Quadro: 1101011011
 - Gerador: 10011
 - Mensagem após o acréscimo de 4 bits zero:
11010110110000
 - Quadro verificado: 11010110111110

Códigos de Detecção de Erros

- Algoritmo para calcular o total de verificação:
 - ◆ Quando obtiver o quadro verificado, o receptor tentará dividi-lo pelo polinômio gerador
 - ◆ A existência de um resto indica que houve um erro de transmissão
 - ◆ Se houve erro de transmissão, o pacote é descartado

Exercícios

17. Qual é o resto obtido pela divisão módulo 2 de x^7+x^5+1 pelo polinômio gerador x^3+1 ?

18. Um fluxo de bits 10011101 é transmitido com a utilização do método de CRC padrão descrito no texto. O polinômio gerador é x^3+1 . Mostre o string de bit real transmitido. Suponha que o terceiro bit a partir da esquerda seja invertido durante a transmissão. Mostre que esse erro é detectado na extremidade receptora.

Exercícios

19. Os protocolos de enlace de dados quase sempre colocam o CRC em um final, em vez de inseri-lo no cabeçalho. Por quê?

Subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC)

Problema de Alocação de Canais

- Protocolos para
 - ◆ Canais difusão, ou
 - ◆ Canais de acesso múltiplo (multiacesso), ou
 - ◆ Canais de acesso aleatório
- Problema básico a ser resolvido:
 - ◆ Como “gerenciar” o acesso a canais difusão
- Protocolos responsáveis por fazer esse gerenciamento:
 - ◆ Protocolos de acesso ao meio, ou *Medium Access Control* (MAC)
- Sub-camada MAC está presente em quase todas as LANs

Problema de Alocação de Canais

- Problema:
 - ◆ Como alocar um único canal difusão entre vários usuários?
- Duas classes de algoritmos:
 - ◆ Alocação estática
 - ◆ Alocação dinâmica

Alocação Estática de Canais

- FDM (*Frequency Division Multiplexing*)
 - ◆ Se existem N usuários, a largura de banda é dividida em N partes do mesmo tamanho e a cada usuário será atribuída uma parte
- FDM é a forma tradicional quando:
 - ◆ Existe um número pequeno e fixo de usuários
 - ◆ Cada um possui um tráfego pesado

Alocação Estática de Canais

- Outro cenário:
 - ◆ Grande número de estações
 - ◆ Esse número varia ao longo do tempo
 - ◆ Tráfego é em rajadas
- Normalmente, FDM não é a solução:
 - ◆ Sub-canais ficam ociosos quando não há nada a transmitir
 - ◆ Em sistemas de computação, o tráfego é tipicamente em rajadas

Alocação Dinâmica de Canais

■ Estações:

- ◆ Existem N estações independentes que geram quadros a serem transmitidos
- ◆ A estação fica bloqueada até o quadro ser totalmente transmitido

Alocação Dinâmica de Canais

- Único canal de comunicação:
 - ◆ Todas estações compartilham um único canal de comunicação para transmissão e recepção
 - ◆ Do ponto de vista de hardware, as estações são equivalentes
 - ◆ Do ponto de vista de software, as estações podem ter prioridades

Alocação Dinâmica de Canais

■ Colisões:

- ◆ A transmissão “simultânea” de dois ou mais quadros por estações diferentes causa uma colisão
- ◆ Estações são capazes de detectar colisões
- ◆ Quadros envolvidos em colisões devem ser transmitidos mais tarde

Alocação Dinâmica de Canais

- Política de transmissão de quadros ao longo do tempo:
 - ◆ Tempo contínuo (*continuous time*): qualquer instante
 - ◆ Tempo segmentado (*slotted time*): o tempo é dividido em intervalos discretos (*slots*), as transmissões de quadros sempre começam no início de um *slot*

Alocação Dinâmica de Canais

- Detecção de portadora para transmissão de quadro:
 - ◆ Com detecção (*carrier sense*): as estações conseguem detectar se o canal está sendo usado antes de tentarem utilizá-lo
 - ◆ Sem detecção (*no carrier sense*): as estações não conseguem detectar se o canal está sendo usado antes de tentarem utilizá-lo

Protocolos da Camada de Enlace de Redes Difusão

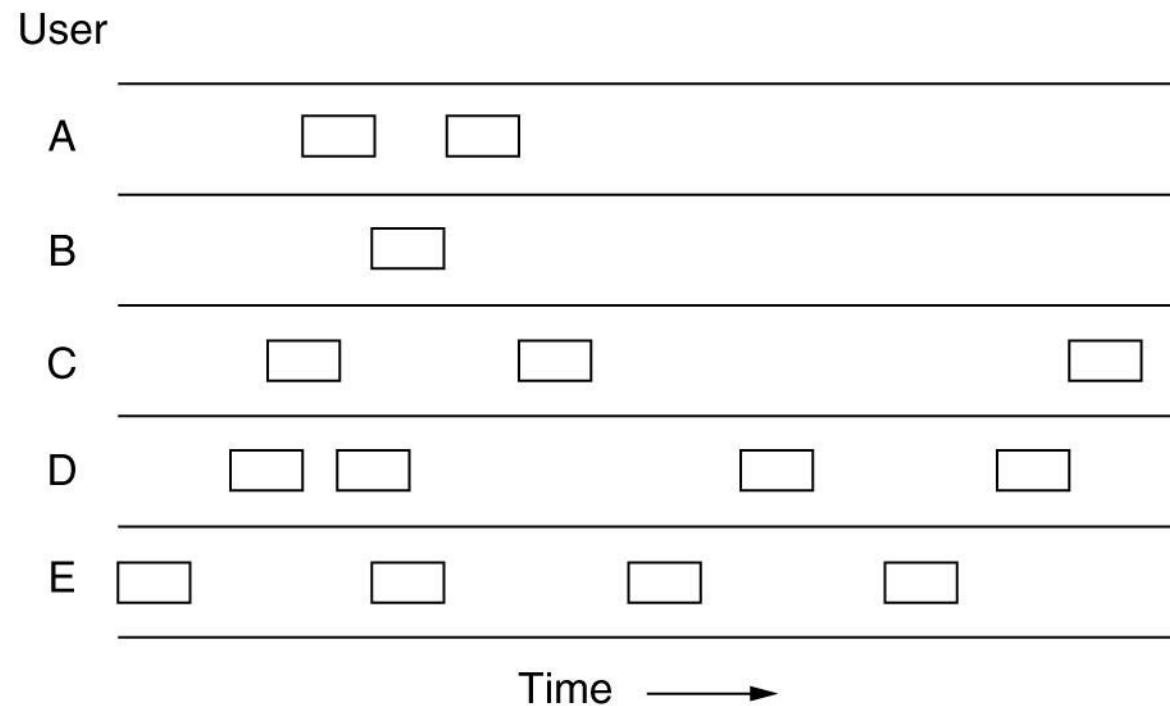
Protocolos de Acesso Múltiplo

- Aloha:
 - ◆ Puro, *Slotted*
- CSMA:
 - ◆ Persistente, não-persistente
 - ◆ Com detecção de colisões

Aloha

- Princípio:
 - ◆ Usuários transmitem quando têm dados a serem enviados
- Haverá colisões:
 - ◆ Serão detectadas
 - ◆ Deve-se esperar um tempo aleatório antes de tentar transmitir novamente

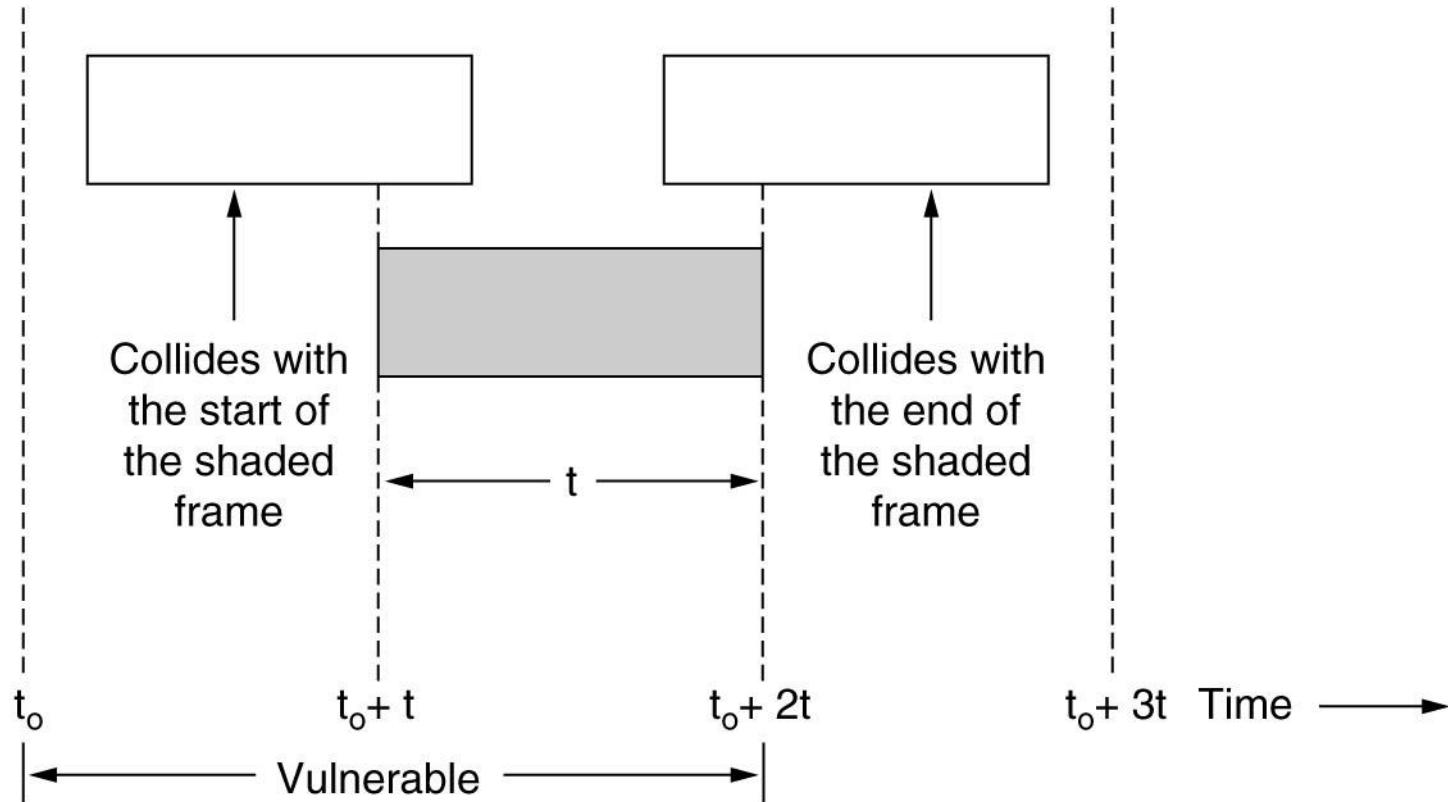
Aloha



Aloha

- Se o primeiro bit de um quadro se sobrepuiser apenas ao último bit de um quadro quase terminando, os dois quadros serão totalmente destruídos e terão de ser retransmitidos posteriormente
 - ◆ O total de verificação não consegue fazer distinção entre uma perda total e uma perda parcial

Aloha



- Final dos quadros gerados entre t_0 e t_0+t irá colidir com o início do quadro sombreado
- Início dos quadros gerados entre t_0+t e t_0+2t irá colidir com o final do quadro sombreado

Colisões no Aloha

- Tempo de quadro representa o período de tempo necessário para transmitir o quadro padrão de comprimento fixo
- Um quadro irá colidir com quadros gerados em um intervalo de tempo de 2 tempos de quadro
- Intervalo de vulnerabilidade = 2 tempos de quadro

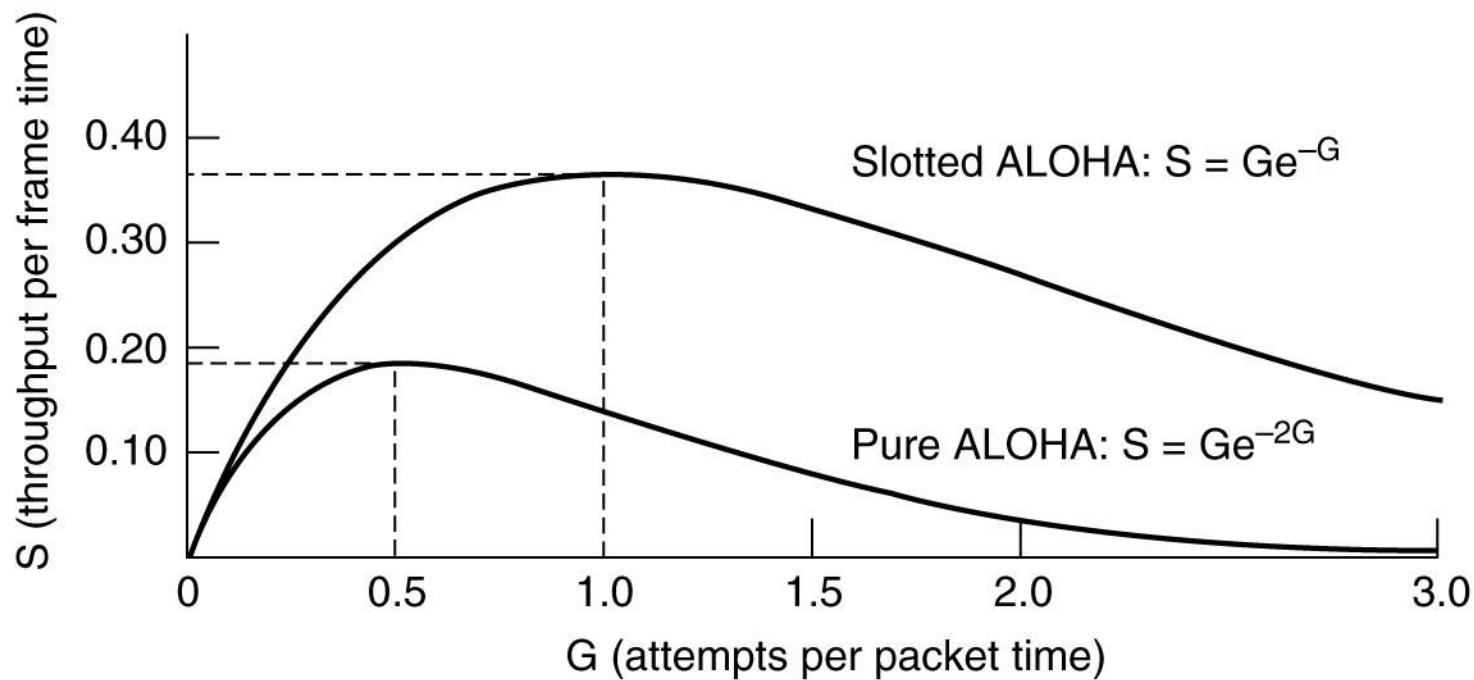
Slotted Aloha

- Princípio:
 - ◆ Dividir o tempo em intervalos discretos, onde cada intervalo corresponde a um quadro
 - ◆ Usuários devem ser capazes de identificar os limites desses intervalos:
 - Uma estação especial poderia emitir um sinal no início de cada intervalo

Colisões no Slotted Aloha

- Um quadro irá colidir com quadros gerados em um intervalo de tempo de 1 tempo de quadro
- Intervalo de vulnerabilidade = 1 tempo de quadro

Slotted Aloha



Exercício

20. Compare o retardo do ALOHA puro com o do *slotted ALOHA* com uma carga mínima (por exemplo, apenas uma estação usando o canal). Qual deles é menor? Explique sua resposta.

Exercício

21. Suponha um enlace de comunicação que utiliza CRC com o polinômio gerador $x^8+x^5+x^4+x^2+1$ que recebe duas mensagens:

10011001111010101111000

100110011110101011110000

1. Qual é o tamanho do total de verificação deste enlace? Justifique.
2. Estas mensagens contêm erros? Justifique.
3. Encontre a mensagem original (sem o total de verificação) das mensagens sem erro.
4. Para as mensagens que não contêm erros, apresente um erro que não seria detectado pelo CRC.

Protocolos CSMA

- Protocolos CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*): protocolos de acesso múltiplo com detecção de portadora
- Três tipos básicos:
 - ◆ 1-persistente
 - ◆ não-persistente
 - ◆ p-persistente

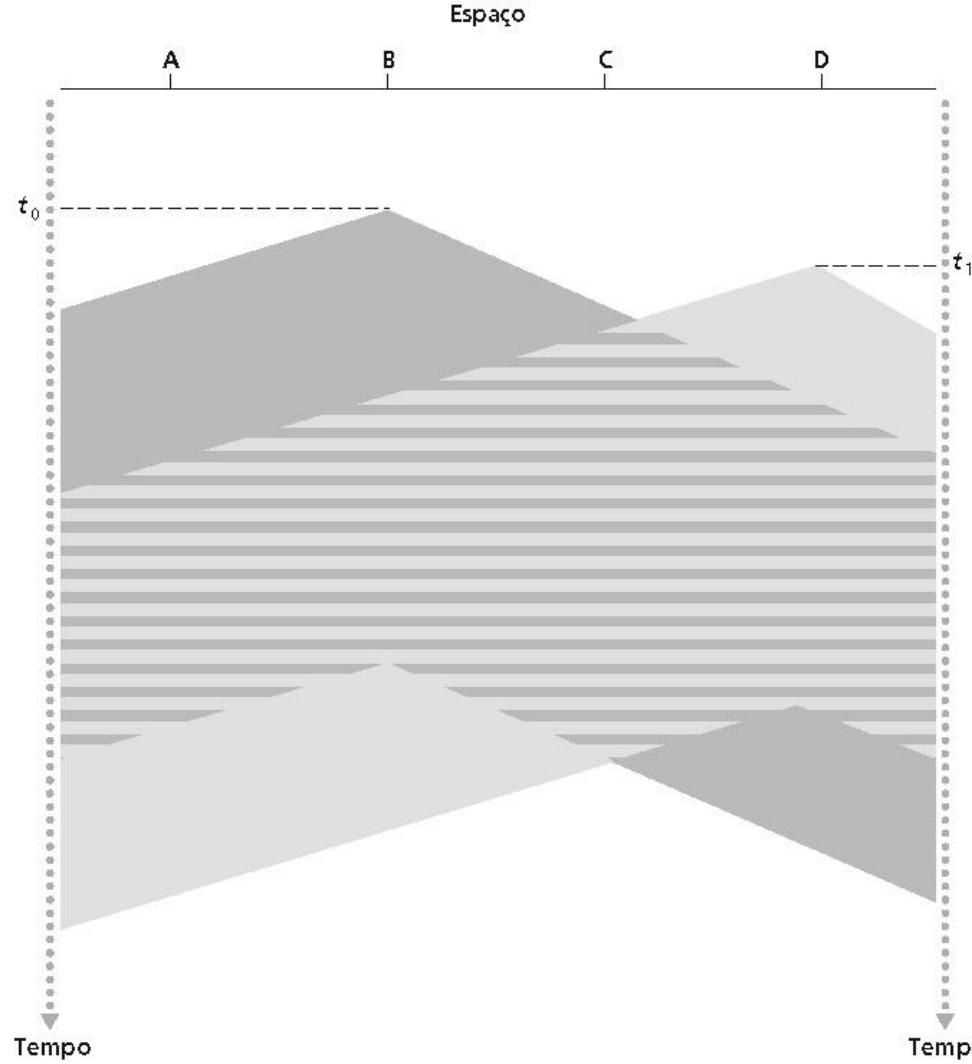
Protocolos CSMA 1-persistente

- Princípio do 1-persistente:
 - ◆ Uma estação ao desejar transmitir escuta o canal
 - ◆ Se estiver ocupado espera até ficar livre
 - ◆ Transmite o quadro quando o canal fica livre
 - ◆ Se ocorre uma colisão, a estação espera um tempo aleatório e começa o processo todo novamente

Protocolos CSMA 1-persistente

- É chamado 1-persistente porque sempre transmite ao verificar que o canal está desocupado, ou seja,
 - ◆ A probabilidade de transmitir ao encontrar o canal livre é 1
- Quando as colisões irão ocorrer?

Colisões no CSMA



- Quanto mais longo for o atraso de propagação, maior será a chance de um nó que detecta portadora ainda não perceber uma transmissão que já começou em outro nó da rede

Protocolos CSMA

Não-persistentes

- Similar ao 1-persistente
- Diferença:
 - ◆ Ao verificar que o canal está ocupado espera um período de tempo aleatório e começa o processo novamente
 - ◆ Método menos guloso que tem um desempenho melhor que o 1-persistente

Protocolos CSMA

p-persistente

- É usado em canais com *slots*
- Princípio do p-persistent:
 - ◆ Estação escuta o canal
 - ◆ Se livre, transmite com probabilidade p
 - ◆ Senão, espera até o próximo slot ($P=1-p$)
 - ◆ Repete o processo novamente
 - ◆ Se ocorre colisão, a estação espera um tempo aleatório e repete o processo

Comparação entre os CSMA

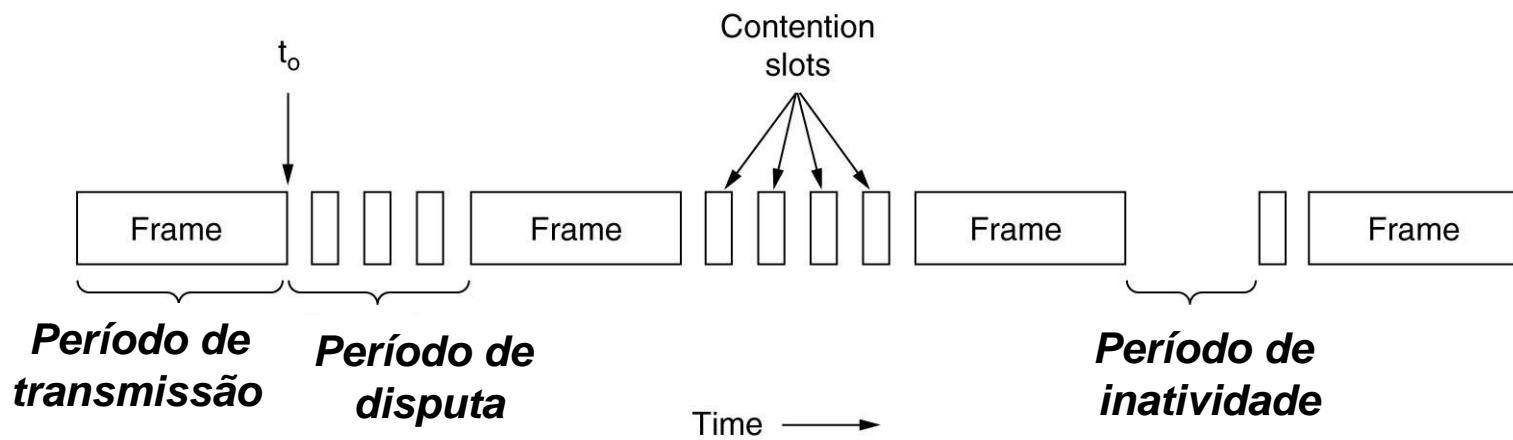
	1-persistente	não-persistente	p-persistente
Canal ocupado	Espera até que ele fique desocupado	Espera um tempo aleatório e começa o processo novamente	Espera até o próximo slot
Canal desocupado	Transmite um quadro	Transmite um quadro	Transmite com probabilidade p; com $(1-p)$ espera até o próximo slot
Colisão	Espera tempo aleatório e começa o processo novamente	Espera tempo aleatório e começa o processo novamente	Espera tempo aleatório e começa o processo novamente

CSMA: sempre escuta o canal antes de transmitir

Protocolos CSMA/CD

- CD: *Collision Detection*
- Melhoria introduzida:
 - ◆ Uma estação ao detectar colisão para de transmitir imediatamente o quadro
 - ◆ Economiza tempo e BW
- CSMA/CD consiste em alternar períodos de contenção e transmissão

Protocolos CSMA/CD



Protocolos CSMA/CD

- Questão importante:
 - ◆ Quanto tempo uma estação deve esperar para saber se houve uma colisão ou não?
 - ▶ Duas vezes o tempo de propagação no cabo de ponta-a-ponta
- Conclusão importante:
 - ◆ Uma colisão não ocorre após esse período de tempo

Protocolos CSMA/CD

- Colisões afetam o desempenho do sistema principalmente em cabos longos e quadros curtos
- Foi padronizado como IEEE 802.3 (Ethernet)

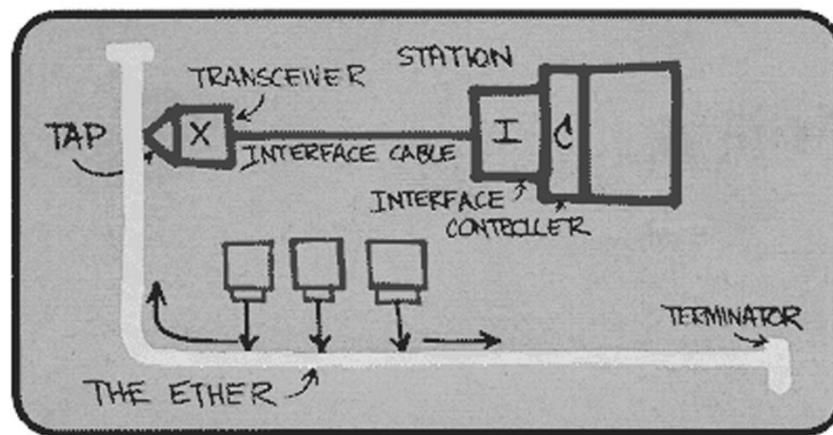
Exercício

22. Uma LAN CSMA/CD de 10 Mbps (não 802.3) com a extensão de 1 km tem uma velocidade de propagação de $200m/\mu s$. Não são permitidos repetidores nesse sistema. Os quadros de dados têm 256 bits, incluindo 32 bits de cabeçalho, totais de verificação e outras formas de overhead. O primeiro slot de bits depois de uma transmissão bem-sucedida é reservado para o receptor capturar o canal com o objetivo de enviar um quadro de confirmação de 32 bits. Qual será a taxa de dados efetiva, excluindo o overhead, se partirmos do princípio de que não há colisões?

Ethernet

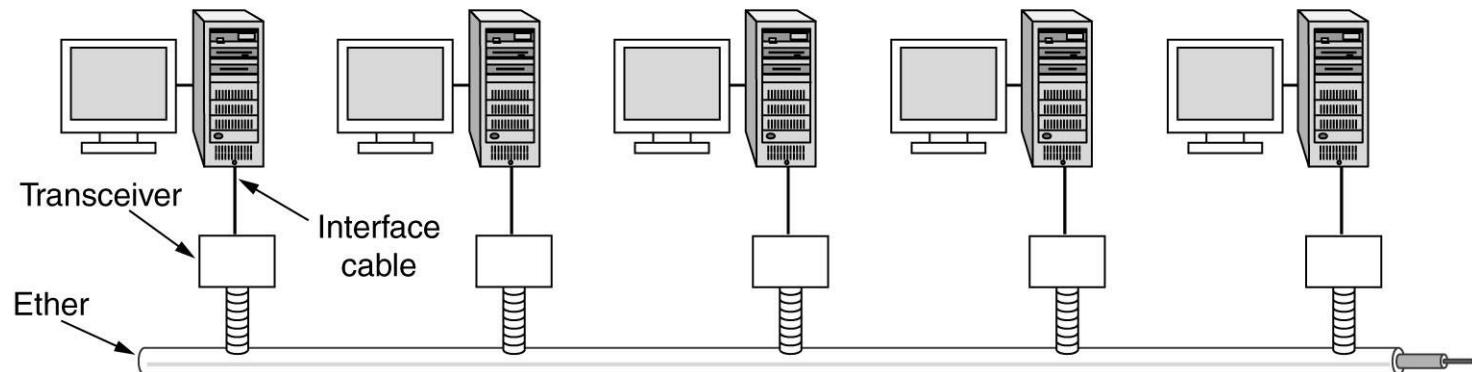
Ethernet

- A Ethernet foi implementada em 1976 por Metcalfe e Boggs no PARC (Palo Alto Research Center) da Xerox



Esboço da Ethernet por Bob Metcalfe

Ethernet



Topologia de barramento da Ethernet



Topologia em estrela
da Ethernet

Ethernet

- Em 1978, a DEC, a Intel e a Xerox criaram um padrão para uma Ethernet de 10Mbps, chamado de **padrão DIX**
- Com pequenas alterações, o padrão DIX se tornou o padrão IEEE 802.3 em 1983
 - ◆ Padrão define uma família de redes CSMA/CD com velocidades de 1, 10, 100, 1000, 1000 Mbps em diferentes meios

Ethernet

- Funcionamento:
 - ◆ Estação escuta o canal antes de transmitir
 - ◆ Se estiver ocupado espera até ficar livre
 - ◆ Transmite o quadro se o canal estiver livre
 - ◆ Se ocorre uma colisão, a estação espera um tempo aleatório e começa o processo todo novamente

Ethernet: Quadro

	Bytes	8	6	6	2	0-1500	0-46	4	
DIX Ethernet		Preamble	Destination address	Source address	Type	Data -->	Pad	Check-sum	
IEEE 802.3		Preamble	S O F	Destination address	Source address	Length -->	Data -->	Pad	Check-sum

■ Preâmbulo:

- ◆ usado para sincronização entre transmissor e receptor
- ◆ 7 bytes 10101010 e 1 byte 10101011

Protocolo Ethernet

- Endereço:
 - ◆ Endereço LAN do adaptador da origem e do destino
- Tipo:
 - ◆ Identifica o protocolo da camada de rede que deve receber o pacote
 - ◆ Permite que a Ethernet “multiplexe” os protocolos da camada de rede
- Comprimento:
 - ◆ Número de bytes do campo de dados

Protocolo Ethernet

- Dados:

- ◆ Carrega o datagrama IP
- ◆ $46 \text{ bytes} \leq \text{Dados} \leq 1500 \text{ bytes}$

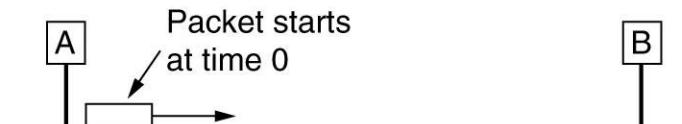
$64 \text{ bytes} \leq \text{tamanho total quadro} \leq 1518 \text{ bytes}$

Protocolo Ethernet

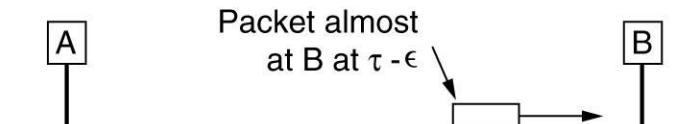
■ Preenchimento (Pad):

- ◆ Campo de dados deve ser ≥ 46
- ◆ Caso contrário, $pad = 46 -$ esse valor
- ◆ Prevenir que uma estação termine de transmitir um quadro antes do primeiro bit chegar no extremo do cabo e ocorra uma colisão

Protocolo Ethernet



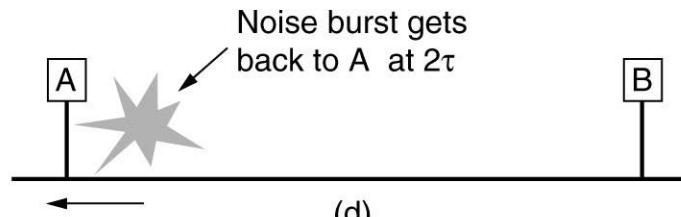
(a)



(b)



(c)



(d)

Protocolo Ethernet

- Por que 64 bytes?
- Para uma rede a
 - ◆ 10 Mbps,
 - ◆ comprimento máximo de 2500 metros, e
 - ◆ quatro repetidores
 - ◆ Tempo mínimo de transmissão = $50 \mu\text{s}$
 - ◆ Tamanho mínimo do quadro = 64 bytes

Protocolo Ethernet

- Total de verificação (*checksum*)
 - ◆ Utiliza o código CRC (*cyclic redundancy check*) para detecção de erros

Ethernet: Algoritmo de Espera

- CSMA/CD com recuo binário exponencial
 - ◆ Ao ocorrer uma colisão, as estações devem esperar (sortear) um intervalo de tempo de espera
 - ◆ Tempo é dividido em intervalos (slots) = 51,2 μs

Ethernet: Algoritmo de Espera

- *Slots* de espera:

- ◆ Número inteiro no intervalo $[0 .. 2^c - 1]$, onde c é o número de colisões consecutivas
- ◆ Para c de 10 a 16 o nº max de *slots* é 1023
- ◆ Valor max de c é 16, quando a tentativa de transmitir é encerrada

Ethernet: Algoritmo de Espera

- Ausência de colisão não garante recepção correta
 - ◆ Pode ocorrer erro de *checksum*
- CSMA/CD não provê confirmação
- Forma simples e rápida de permitir confirmação:
 - ◆ Reservar o primeiro slot, após uma transmissão com sucesso, para o destinatário

Exercício

23. Considere a construção de uma rede CSMA/CD que funciona a 1 Gbps sobre um cabo de 1 km, sem repetidores. A velocidade do sinal no cabo é 200.000 km/s. Qual é o tamanho mínimo do quadro?