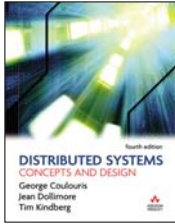


Material baseado no
livro *Distributed
Systems: Concepts and
Design*, 4th Edition,
Addison-Wesley, 2005.



Copyright © George
Coulouris, Jean Dollimore,
Tim Kindberg 2005
email: authors@cdk4.net

Copyright © Nabor C.
Mendonça 2002-2007
email: nabor@unifor.br

3 – Mecanismos de Comunicação

Agenda:

- **Redes e sistemas distribuídos**
- **Tipos de rede**
- **Princípios de rede**
- **Protocolos da Internet**
- **Exemplos: Ethernet, WiFi, Bluetooth**

Redes e sistemas distribuídos

- O *subsistema de comunicação* de um sistema distribuído engloba todos os componentes de hardware e software que fazem parte da rede de comunicação subjacente
 - Infra-estrutura de transmissão: cabo, fibra ótica, sinal de rádio
 - Dispositivos: roteadores, switches, hubs, placas de rede
 - Software: protocolos, manipuladores, drivers
- Fortemente influenciado por:
 - Características do S.O. de cada computador que integra o sistema e das rede que os conecta
 - Requisitos de comunicação das aplicações

Requisitos de comunicação

- As primeiras redes de computadores foram projetadas para atender um conjunto pequeno e relativamente simples de requisitos
 - Suporte para aplicações como FTP, login remoto, email e newsgroups
- Redes modernas precisam atender um conjunto mais amplo e exigente de requisitos:
 - Desempenho
 - Escalabilidade
 - Confiabilidade
 - Segurança
 - Mobilidade
 - Qualidade de serviço
 - Comunicação grupal

Desempenho

- Velocidade com a qual mensagens individuais podem ser transferidas entre dois computadores conectados em rede
- Parâmetros mais influentes:
 - *Latência* – atraso entre o envio de uma mensagem e o início da chegada dos dados no computador de destino
 - ♦ Equivalente ao tempo necessário para transmitir uma mensagem vazia
 - ♦ Determinada pelo desempenho dos componentes de software da rede, atraso dos roteadores e outras questões relacionadas com aumento de demanda e distribuição de carga
 - *Taxa de transferência de dados* – velocidade com a qual os dados são transferidos entre dois computadores conectados em rede, uma vez iniciada a transmissão
 - ♦ Normalmente medida em *bits por segundo* (bps)
 - ♦ Determinada pelas características físicas da rede

Desempenho

- Parâmetros mais influentes (cont.):
 - *Tempo de transmissão* – tempo necessário para a rede transmitir uma mensagem contendo n bits entre dois computadores
 - ♦ $\text{Tempo de transmissão} = \text{latência} + n / \text{taxa de transmissão}$
 - ♦ Válido para mensagens que não excedem o tamanho máximo permitido pela rede (para mensagens mais longas, consideram-se os seus respectivos segmentos ou pacotes)
 - *Largura de banda total* – medida do volume total de dados que pode ser transferido através da rede em um dado período de tempo
 - ♦ Similar à taxa de transferência de dados em redes locais (um único canal de comunicação)
 - ♦ Independente da taxa de transferência de dados em redes metropolitanas e de longo alcance (múltiplos canais alternativos de comunicação)
- Todos fortemente afetados em situações de sobrecarga!

Desempenho

- Algumas considerações sobre desempenho:
 - O tempo para transmitir uma mensagem curta e receber uma resposta curta entre dois computadores conectados através de uma rede local sob baixa demanda é da ordem de 0,5ms
 - ♦ A mesma transmissão feita pela Internet é cerca de 100 vezes mais lenta!
 - O tempo necessário para uma aplicação invocar uma operação de um objeto armazenado em memória é inferior a 1 μ s
 - Portanto, compartilhar recursos através de uma rede local ainda é cerca de mil vezes mais lento do que acessar recursos residentes em memória
 - Por outro lado, acessar um recurso mantido no cache (em memória) de um servidor da mesma rede local pode ser mais eficiente do que acessar o mesmo recurso diretamente do disco (por quê?)

Escalabilidade

- Espera-se que o potencial de crescimento futuro da Internet acompanhe as taxas de crescimento da população mundial
 - Previsão realista: vários bilhões de computadores e centenas de milhões de servidores ativos
 - Necessidade de mudanças substanciais nos mecanismos de endereçamento e roteamento atualmente em uso
 - Fato1: houve uma redução gradual nas latências observadas na Internet nos últimos anos (100 a 150ms em média)
 - Fato2: esta redução está longe de ser suficiente para satisfazer a necessidade dos usuários! (“World-Wide Wait”)
- Desempenho futuro também dependerá de fatores não técnicos como *padrões de comunicação* (grau de localidade) e *comercialização dos acessos*

Confiabilidade

- O grau de tolerância a falhas exigido do subsistema de comunicação varia conforme a capacidade das aplicações em lidar com situações de falha de forma independente
 - Muitos tipos de falha de comunicação são melhor detectadas e tratadas pelas próprias aplicações (por quê?)
 - Também válido para tecnologias de middleware
- Na prática, a maioria dos meios físicos de transmissão de dados apresenta alta confiabilidade
 - Problemas como perdas de informações normalmente são causados por falhas de software (rejeição de pacotes, estouro ou mal uso de *buffers*, etc)

Segurança

- A maioria das organizações adota um mecanismo de proteção do tipo *firewall* como seu primeiro nível de segurança de rede
 - Executado no computador de fronteira (*gateway*) entre a rede local e a rede externa
 - Responsável por proteger e controlar os uso dos recursos locais
 - Configurado de acordo com as políticas de segurança locais de cada organização
- Sistemas distribuídos modernos requerem um ambiente de segurança mais flexível e de menor granularidade
 - Uso de técnicas de criptografia para autenticação e privacidade
 - Tipicamente implementado adicionando uma nova camada de segurança em cima do subsistema de comunicação

Mobilidade

- Computadores portáteis e dispositivos móveis em geral dependem de redes de comunicação sem fio para que possam interagir e cooperar sem interrupções enquanto se deslocam fisicamente no espaço
 - Mecanismos tradicionais de endereçamento e roteamento de pacotes não se adaptam bem aos problemas típicos decorrentes da mobilidade, como conexões intermitentes e re-conexões frequentes
- Alguns mecanismos básicos de comunicação da Internet já foram adaptados para lidar com situações de mobilidade
 - Ex.: protocolo IP Móvel (visto mais adiante)
- Mesmo assim, ainda há uma necessidade generalizada por novos mecanismos para lidar com esses problemas de forma mais eficiente

Qualidade de serviço

- Garantias de qualidade de serviço (QoS) são comumente requisitadas diante da necessidade de transmissão e processamento dados sobre severas restrições de tempo
 - Ex.: sistemas multimídia e de tempo real
- Vários mecanismos de comunicação que oferecem garantias de QoS são discutidos em detalhes no Cap. 17 (não abordado nesse curso)

Comunicação grupal

- Em muitas aplicações há uma necessidade latente por mecanismos que permitam a comunicação entre grupos de processos, seguindo o estilo *um-para-muitos*
 - Implementação através de envios para múltiplos destinos em geral não oferece a eficiência e o grau de tolerância a falhas esperados
- Mecanismos para transmissão (ou difusão) confiável de mensagens para grupos de processos já fazem parte de muitas das tecnologias de middleware atuais
 - Ex.: JGroups, Tribes (Apache), JMS (EJB), WS-Notification

Agenda

- Redes e sistemas distribuídos
- Tipos de rede
- Princípios de rede
- Protocolos da Internet
- Exemplos: Ethernet, WiFi, Bluetooth

Tipos de rede

- Rede pessoal (PAN)
- Rede local (LAN)
- Rede de longo alcance (WAN)
- Rede metropolitana (MAN)
- Rede sem fio
 - Rede local sem fio (WLAN)
 - Rede metropolitana sem fio (WMAN)
 - Rede de longo alcance sem fio (WWAN)
- Rede integrada (Internetwork)

Rede pessoal (PAN)

- PANs são uma subcategoria das redes locais na qual vários dispositivos digitais de posse de um usuário são conectados através de uma rede de baixo custo e baixo consumo de energia
- Modelo sem fio (WPAN) é o mais interessante
 - Quem usaria uma PAN com fio?
- Exemplo mais comum: Bluetooth
 - Estudado em detalhes mais adiante

Rede local (LAN)

- Transporta mensagens a velocidades relativamente altas (10-100Mbps a 1Gbps) entre computadores conectados através de um único meio de comunicação (cabo trançado, cabo coaxial, fibra ótica, etc)
 - Um *segmento* é uma seção de uma LAN que atende um único departamento ou andar de um prédio e que pode ter muitos computadores conectados a ele
 - Não é necessário rotear mensagens em um mesmo segmento, uma vez que a rede oferece conexões diretas entre todos os seus computadores
 - Todos os computadores de um segmento compartilham a mesma largura de banda
 - Uma LAN típica é composta por vários segmentos interconectados por dispositivos de hardware como *switches* e *hubs*
 - A rede como um todo apresenta baixa latência e alta largura de banda, exceto quando o tráfego de mensagens é muito alto
 - *Ethernet* têm sido o padrão dominante desde a década de 70

Rede de longo alcance (WAN)

- Transporta mensagens a velocidades relativamente mais baixas (1-10Mbps a 600Mbps) entre computadores de diferentes organizações ou geograficamente dispersos
 - Composta por circuitos de comunicação interconectados por um conjunto de computadores dedicados chamados *roteadores*
 - Roteadores introduzem atrasos de processamento em cada ponto de entroncamento do caminho percorrido por uma mensagem
 - Latência depende do caminho tomado e do tráfego de cada segmento de rede que uma mensagem atravessa (0.1-0.5s para a Internet)
 - Velocidade de transmissão está sujeita aos limites físicos do meio de comunicação
 - ♦ Por exemplo, o atraso de propagação para transmissões via satélite é de cerca de 0.2s entre quaisquer dois pontos da terra (por quê?)

Rede metropolitana

- Baseada em cabos de fibra ótica de alta largura de banda (0.25-10Mbps) usados para a transmissão de vídeo, voz e outros tipos de dados através de distâncias de até 50km
 - Pode atender requisitos similares aos atendidos pelas redes locais, mas cobrindo distâncias consideravelmente maiores
 - Implementada com diferentes tecnologias (DSL, ATM, *cable modem*)
 - ♦ DSL usa linhas telefônicas para transmitir dados com velocidades entre 0.25-8Mbps em distâncias de até 5.5km
 - ♦ *Cable modems* usam a infra-estrutura das TVs à cabo para atingir velocidades de até 1.5Mbps sobre cabo coaxial, mas cobrindo distância bem maiores do que a DSL
- Novas implementações estão sendo desenvolvidas seguindo a especificação IEEE 802.6, exclusiva para esse tipo de rede

Redes sem fio

- Rede local sem fio (WLAN)
 - Usada como alternativa sem fio às redes locais convencionais
 - 10-100Mbps em distâncias de até 1.5km (padrão IEEE 802.11 ou WiFi)
- Rede metropolitana sem fio (WMAN)
 - Usada como alternativa às redes metropolitanas convencionais ou para substituir redes WiFi em algumas aplicações
 - 1.5-20Mbps em distâncias de até 50km (padrão IEEE 802.16 ou WiMaX)
- Rede de longo alcance sem fio (WWAN)
 - Usada para conectar telefones celulares sobre longa distância através de conexões de rádio
 - 9-33Kbps (geração “atual”) até 2Mbps (terceira geração)
 - Exemplo mais comum: GSM

Rede integrada

- Subsistema de comunicação integrando várias redes para oferecer facilidades comuns de comunicação
 - Oculta as tecnologias e os protocolos utilizados por cada rede individualmente e seus mecanismos de interconexão
 - Composta por computadores dedicados (roteadores e *gateways*) e uma camada de software de integração
 - Oferece a “ilusão” de uma única rede virtual
- Necessário para o desenvolvimento de sistemas distribuídos extensíveis e abertos
 - Facilidade para a adição de uma variedade de novos tipos de redes, fabricantes e grupos de usuários
 - Exemplo de maior sucesso: pilha de protocolos da Internet (TCP/IP)

Comparação entre os diversos tipos de redes

	<i>Exemplo</i>	<i>Alcance</i>	<i>L. Banda (Mbps)</i>	<i>Latência (ms)</i>
<i>Com fio:</i>				
LAN	Ethernet	1-2km	10-1000	1-10
WAN	IP routing	mundial	0.010-600	100-500
MAN	ATM	250km	1-150	10
Internetwork	Internet	mundial	0.5-600	100-500
<i>Sem fio:</i>				
WPAN	Bluetooth (802.15.1)	10-30m	0.5-2	5-20
WLAN	WiFi (IEEE 802.11)	0.15-1.5km	2-54	5-20
WMAN	WiMAX (802.16)	550km	1.5-20	5-20
WWAN	GSM, redes 3G	mundial	0.01-02	100-500

Agenda

- Redes e sistemas distribuídos
- Tipos de rede
- Princípios de rede
- Protocolos da Internet
- Exemplos: Ethernet, WiFi, Bluetooth

Princípios de rede

- Transmissão de pacotes
- *Streaming* de dados
- Protocolos de comunicação

Transmissão de pacotes

- Antes de qualquer mensagem ser transmitida pela rede, ela primeiro é subdividida em partes menores, de tamanho restrito, chamadas “pacotes”
- Um pacote contém uma sequência de bytes (dados da mensagem) juntamente com informações suficientes para identificar o endereço de seu remetente e de seu destinatário
- Pacotes têm tamanho restrito para:
 - Permitir que cada computador da rede aloque espaço em memória suficiente para armazenar os maiores pacotes possíveis
 - Evitar que o remetente aguarde indefinidamente pela disponibilidade total do canal de comunicação (caso uma mensagem muito longa tivesse que ser transmitida sem subdivisões)

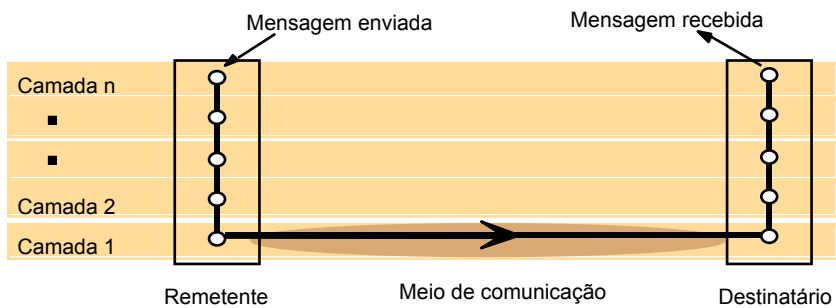
Streaming de dados

- Transmissão de dados multimídia (ex.: áudio e vídeo) requer muito mais largura de banda do que a maioria das outras formas de comunicação em sistemas distribuídos
 - 1.5Mbps (com compactação) a 120Mbps (sem compactação)
 - Fluxo contínuo (ao contrário do fluxo intermitente de interações cliente-servidor tradicionais)
 - Itens recebidos fora do tempo mínimo esperado não podem ser aproveitados e, portanto, são descartados pelo processo receptor
- Entrega dentro do prazo requer a disponibilidade de conexões de rede que ofereçam garantias de qualidade de serviço (QoS)
 - Redes ATM
 - IPv6
 - Protocolos que suportam pré-alocação de recursos (ex.: RSVP, RTP)

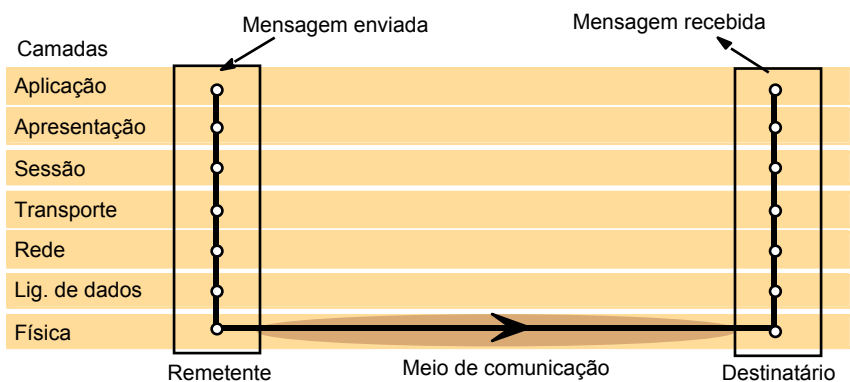
Protocolos de comunicação

- Conjunto de regras e formatos para ser usado na comunicação entre processos
 - Especificação da sequência de mensagens que deve ser trocada
 - Especificação do formato dos dados contidos nas mensagens
- Permitem que os componentes de software de um sistema distribuído possam ser implementados de forma independente em ambientes heterogêneos
- Organizados em uma hierarquia de camadas presentes nos dois lados (remetente e destinatário) da comunicação
 - Cada camada aceita itens de dados no formato especificado para a camada de cima/baixo, e aplica transformações para encapsular os dados no formato aceito pela camada de baixo/cima

Hierarquia de camadas de um protocolo de comunicação



Exemplo: camadas do modelo OSI/ISO



Agenda

- Redes e sistemas distribuídos
- Tipos de rede
- Princípios de rede
- Protocolos da Internet
- Exemplos: Ethernet, WiFi, Bluetooth

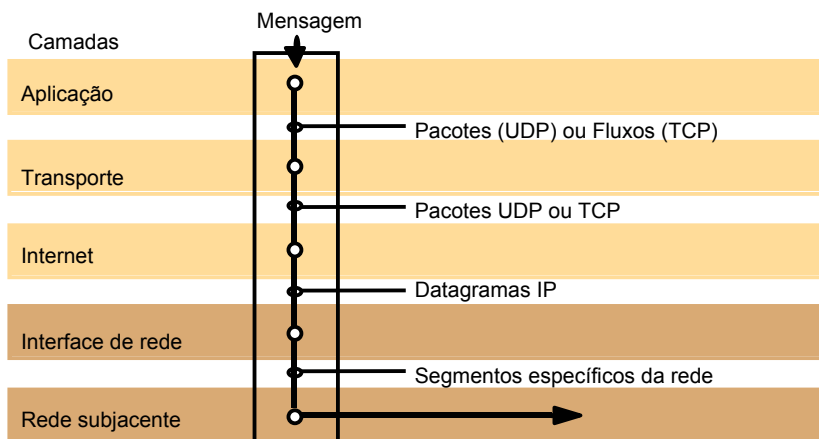
Protocolos da Internet

- Protocolos da família TCP/IP
- Endereçamento IP
- IP Versão 6
- IP Móvel
- Nomes de domínio (DNS)
- Firewalls

Protocolos da família TCP/IP

- Surgiram no início dos anos 70, como parte das pesquisas para desenvolver a rede do governo americano ARPANET
 - Base para vários outros protocolos e serviços de aplicação
 - ♦ Ex.: HTTP (Web), SMTP (email), FTP, Telnet, SSL (segurança)
- Dois protocolos de transporte: TCP e UDP
 - TCP – comunicação confiável orientada a conexão
 - UDP – comunicação baseada em pacotes sem garantias de confiabilidade
- Um protocolo de rede: IPv4 (IPv6 já disponível)
 - Mecanismo básico para transmissão de pacotes na Internet
 - Implementado sobre diferentes topologias e infra-estruturas físicas (ex.: Ethernet, ATM, WiFi, etc.)
- Principal fator de sucesso: total independência do meio físico de transmissão subjacente!

Camadas da família TCP/IP



Endereçamento IP

- Esquema para identificar os computadores da rede e estabelecer as rotas dos pacotes IP até os seus destinos
 - Talvez o mais importante aspecto de projeto da Internet!
- Principais requisitos:
 - Ser universal (comunicação entre qualquer par de computadores)
 - Ser eficiente no uso do espaço de endereçamento
 - ♦ 32 bits na Versão 4 (atual) – cerca de 4 bilhões de endereços possíveis, organizados em 5 classes distintas
- Problemas do esquema atual:
 - Taxa de crescimento da Internet superou todas as previsões
 - Uso “desigual” (não uniforme) do espaço de endereçamento
 - Endereços restritos em termos de informações de roteamento (p.ex. como endereçar e rotear pacotes para computadores móveis?)

Representação decimal de endereços IP

	octeto 1	octeto 2	octeto 3		Faixa de endereços
	Network ID		Host ID		
Classe A:	1 a 127	0 a 255	0 a 255	0 a 255	1.0.0.0 a 127.255.255.255
	Network ID		Host ID		
Classe B:	128 a 191	0 a 255	0 a 255	0 a 255	128.0.0.0 a 191.255.255.255
	Network ID		Host ID		
Classe C:	192 a 223	0 a 255	0 a 255	1 a 254	192.0.0.0 a 223.255.255.255
	Endereço para difusão seletiva				
Classe D (multicast):	224 a 239	0 a 255	0 a 255	1 a 254	224.0.0.0 a 239.255.255.255
Classe E (reservada):	240 a 255	0 a 255	0 a 255	1 a 254	240.0.0.0 a 255.255.255.255

Endereçamento IP – Melhorias

- Por volta de 1990, ficou claro que, mantendo-se o ritmo de alocação vigente, logo não haveria mais endereços IP disponíveis
- Três iniciativas foram tomadas:
 - Desenvolvimento de uma nova versão do protocolo IP e do seu esquema de endereçamento (IPv6)
 - Definição de um novo esquema de alocação de endereços e roteamento de pacotes (CIDR)
 - Definição de um novo esquema mapeamento de endereços, para permitir o acesso indireto à Internet (NAT)
 - ♦ Permitiu que a expansão da Internet continuasse muito além do que se imaginava possível à época
 - Principal razão para a longevidade do IPv4!
 - ♦ Inadequado para servidores (por quê?)

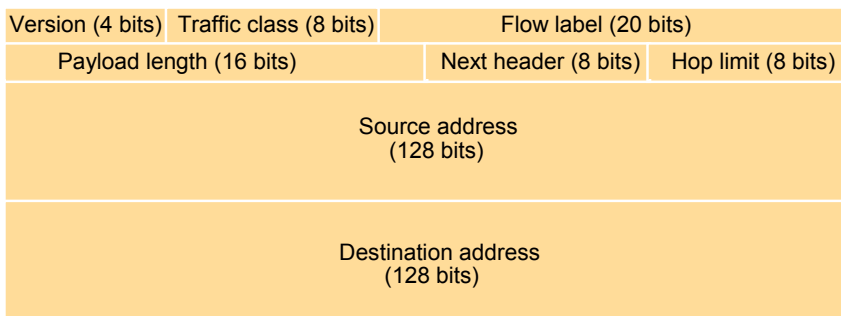
IP Versão 6 (IPv6)

- Adotado pela IETF em 1994 como uma solução mais permanente para algumas das limitações da versão 4
 - Endereços de 128 bits (aprox. 3×10^{38} endereços possíveis)
 - ♦ Uma estimativa conservadora calcula mais de 1000 endereços por metro quadrado da superfície do planeta (incluindo terra e água!) [Huitema, 1998]
 - Espaço de endereçamento dividido em várias partições lógicas
 - ♦ Menor partição ainda muito maior do que todo o espaço de endereçamento do IPv4
 - ♦ Uma participação específica para mapear endereços IPv4
 - ♦ Maioria das partições (72% do total) reservada para propósitos ainda não definidos
 - ♦ Duas grandes partições de propósito geral (cada uma com 12% do espaço total) alocadas para endereços de rede “tradicionais”:
 - Partição física – baseada na localização física dos computadores na rede
 - Partição organizacional – baseada no contexto organizacional

IP Versão 6 (IPv6)

- Suporte para ampla gama de serviços e melhorias
 - Maior velocidade de roteamento (cabeçalhos mais simples e mais fáceis de processar)
 - Tráfego de dados com diferenciação em termos de garantias de entrega (multimídia, tempo real, etc.)
 - Segurança (extensões de cabeçalho para autenticação e encriptação de mensagens)

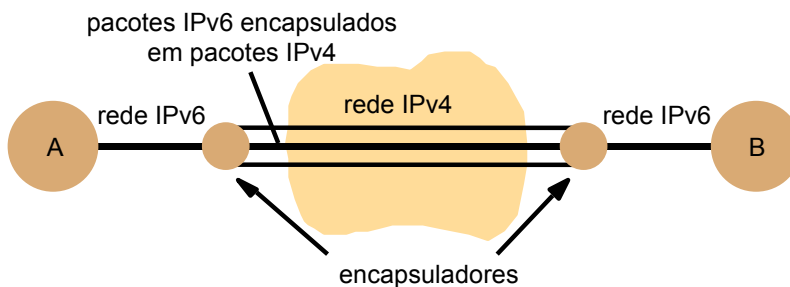
Esquema de cabeçalhos do IPv6



Migração do IPv4 para IPv6

- Estratégia de migração proposta pela IETF baseada na criação e crescimento gradual de “ilhas” de roteadores IPv6
 - Processo bem mais lento do que previsto inicialmente
 - Dificultado por fatores de ordem técnica (CIDR e NATI aliviaram “pressão”) e econômica (custo de trocar toda a infra-estrutura vigente)
- Necessidade de migração acentuada com a proliferação de dispositivos móveis com acesso à rede
 - Previsão de mais de 1 bilhão de dispositivos acessando a rede apenas na China e na Índia até 2014 (impossível com IPv4!)
 - Edição 4 (2005) do livro estima que processo de migração ainda vai levar dez anos ou mais

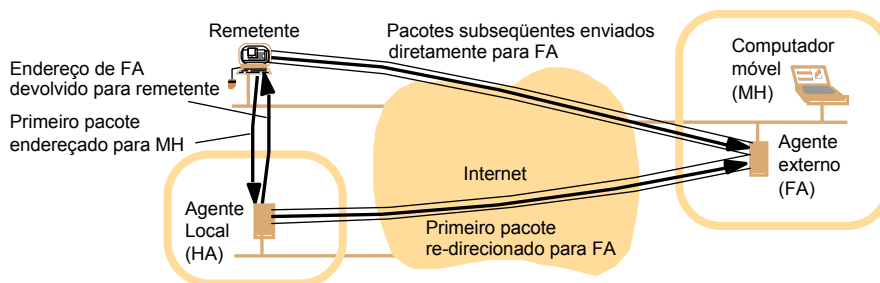
Estratégia de migração do IPv4 para IPv6



IP Móvel (*MobileIP*)

- Problemas de mobilidade do IPv4:
 - Necessidade de adquirir um novo IP a cada vez que um computador móvel entra numa nova sub-rede (protocolo DHCP)
 - Necessidade de descobrir os serviços disponíveis localmente em cada sub-rede
- Soluções do IP Móvel:
 - Alocação permanente de um mesmo IP para cada computador móvel baseada no domínio de origem
 - Funcionamento como no IP tradicional quando os computadores móveis encontram-se no seu domínio de origem
 - Re-direcionamento de pacotes quando os computadores móveis estão conectados a outras sub-redes
 - ♦ Baseado em dois agentes roteadores: local (HA) e externo (FA)

Esquema de roteamento do IP Móvel



IP Móvel

- Solução efetiva mas bastante ineficiente
 - Se remetente não suporta IP móvel, toda comunicação é feita indiretamente, via HA e FA
 - Alto custo de configuração e re-direcionamento de pacotes
- Solução ideal deveria tratar os dispositivos móveis como cidadãos de “primeira-classe” (como na telefonia celular)
 - Liberdade para se deslocarem sem ter que informar de antemão seus destinos a alguma rede de origem
 - Comunicação direta, sem necessidade de re-direcionamento de pacotes

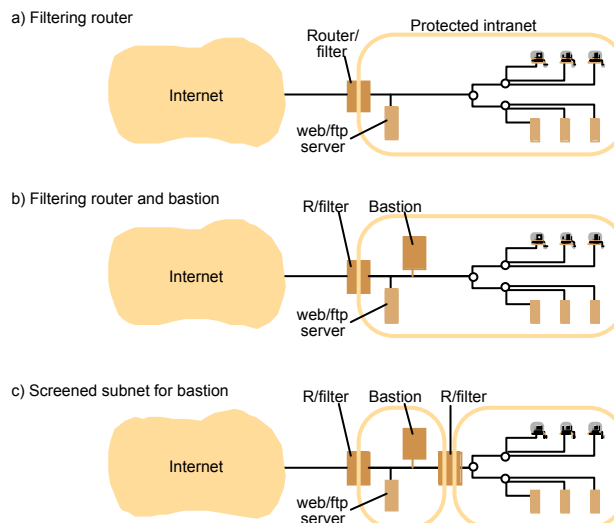
Nomes de domínio (DNS)

- Esquema da Internet que permite o uso de nomes simbólicos para endereços de rede
 - Organizados em uma hierarquia de **nomes de domínio**
 - Hierarquia definida visando refletir a estrutura organizacional (domínios) das entidades proprietárias dos endereços
 - Totalmente independente de qualquer infra-estrutura física da rede
- DNS (*Domain Name Service*) é o serviço responsável por mapear nomes simbólicos para seus endereços físicos (IPs) correspondentes
 - Todo domínio tem pelo menos dois servidores DNS (geralmente mais)
 - Cada servidor DNS contém informações parciais sobre o seu domínio
 - Requisições sobre nomes de fora de seu domínio são encaminhadas a servidores externos de domínios relevantes (da direita para a esquerda)
 - Respostas recebidas são mantidas em cache (maior eficiência em futuras requisições para o mesmo nome)

Firewalls

- Mecanismo para monitorar e controlar toda a comunicação com o mundo externo em uma intranet
 - Implementado por um grupo de processos que agem como um “portão de acesso” (*gateway*) para a intranet
 - Controle envolve aplicação de **políticas de segurança** definidas pela organização:
 - ♦ Controle de serviços – determina quais serviços internos são visíveis e acessíveis externamente (requisições para quaisquer outros serviços são rejeitadas)
 - ♦ Controle de comportamento – previne comportamentos que possam infringir as normas da organização (anti-social, improdutivo, etc.)
 - ♦ Controle de usuários – diferencia controle de acesso externo por (categoria de) usuário
 - Políticas expressas em termos de operações de filtragem aplicadas em diferentes níveis (IP, TCP, HTTP, Aplicação)

Configurações de firewall



Agenda

- Redes e sistemas distribuídos
- Tipos de rede
- Princípios de rede
- Protocolos da Internet
- Exemplos: Ethernet, WiFi, Bluetooth

Exemplos: Ethernet, WiFi, Bluetooth

A serem incluídos numa futura versão do material.

Exercícios

- No livro: 3.1, 3.6–3.9 (exceto questões sobre redes ATM), 3.11, 3.18