

Parte 1

Camada de Rede

Conteúdo

1 Fundamentos

- Repasse e Roteamento
- Encapsulamento
- Modelos de Serviço de Rede

2 Redes de Circuitos Virtuais e de Datagramas

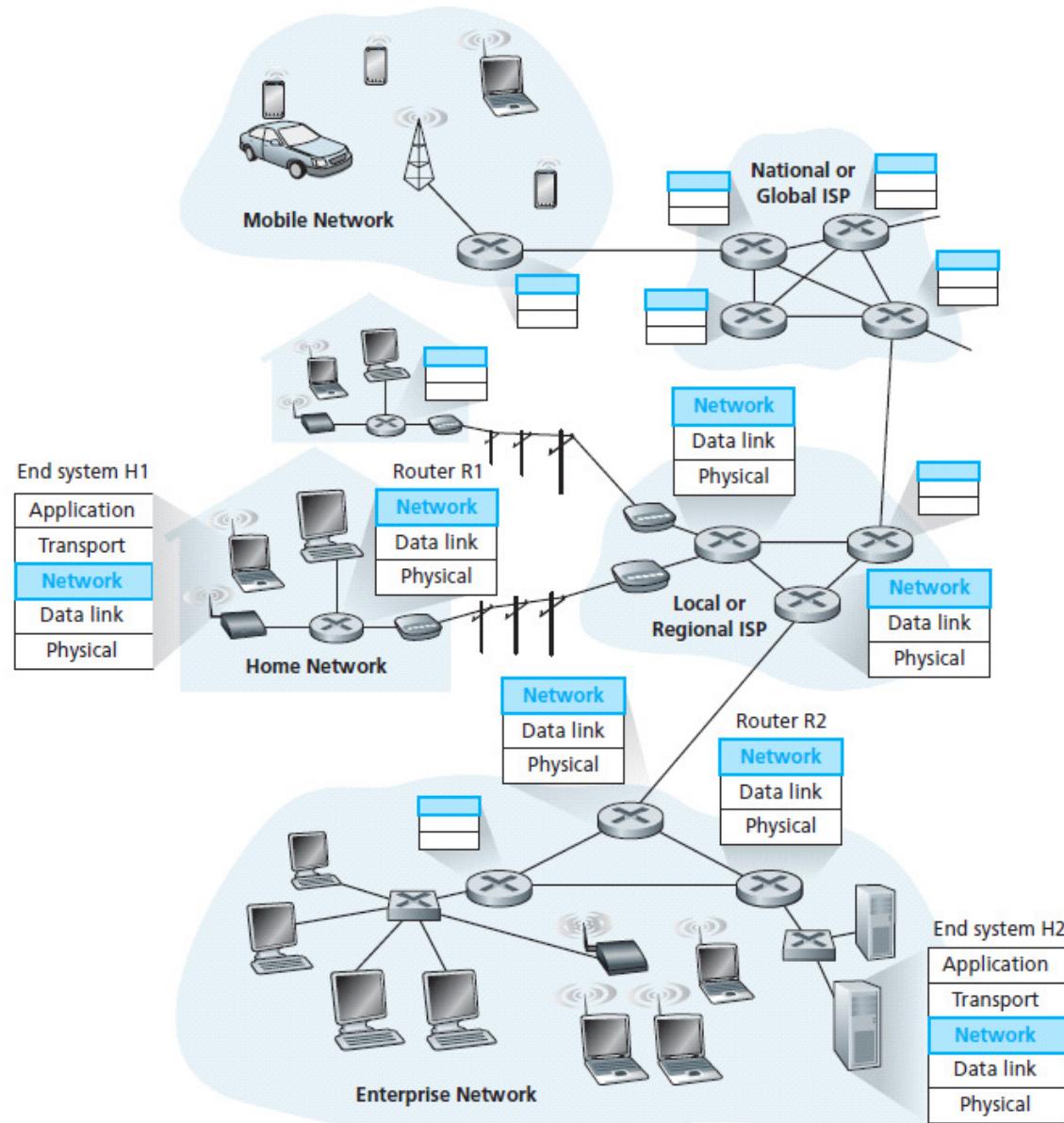
3 O Protocolo IP: Repasse e Endereçamento na Internet

- Protocolo DHCP
- Protocolo NAT
- Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

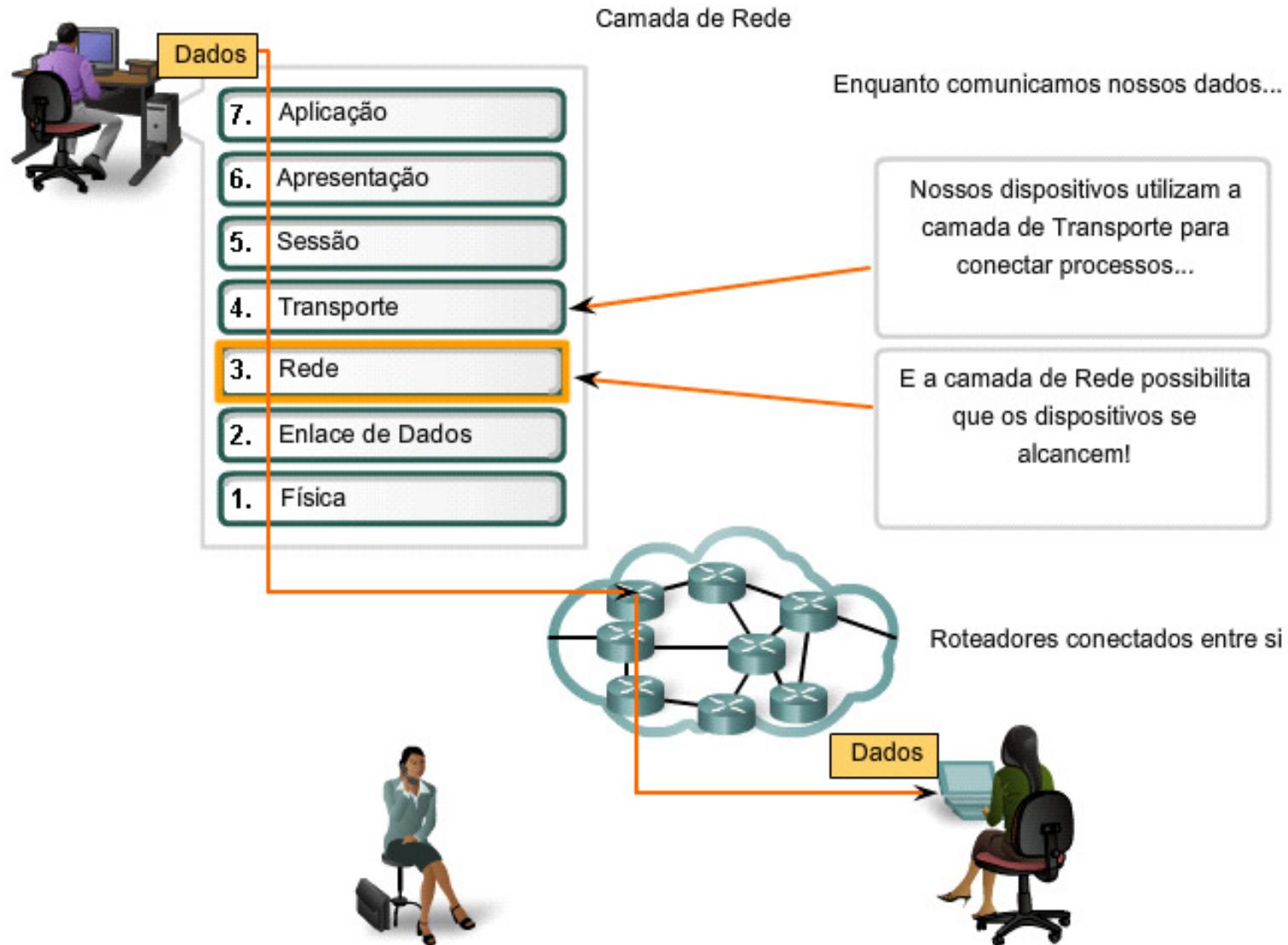
4 Algoritmos de Roteamento

5 Roteamento na Internet

Fundamentos



Fundamentos



Conteúdo

1 Fundamentos

- Repasse e Roteamento
- Encapsulamento
- Modelos de Serviço de Rede

2 Redes de Circuitos Virtuais e de Datagramas

3 O Protocolo IP: Repasse e Endereçamento na Internet

- Protocolo DHCP
- Protocolo NAT
- Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

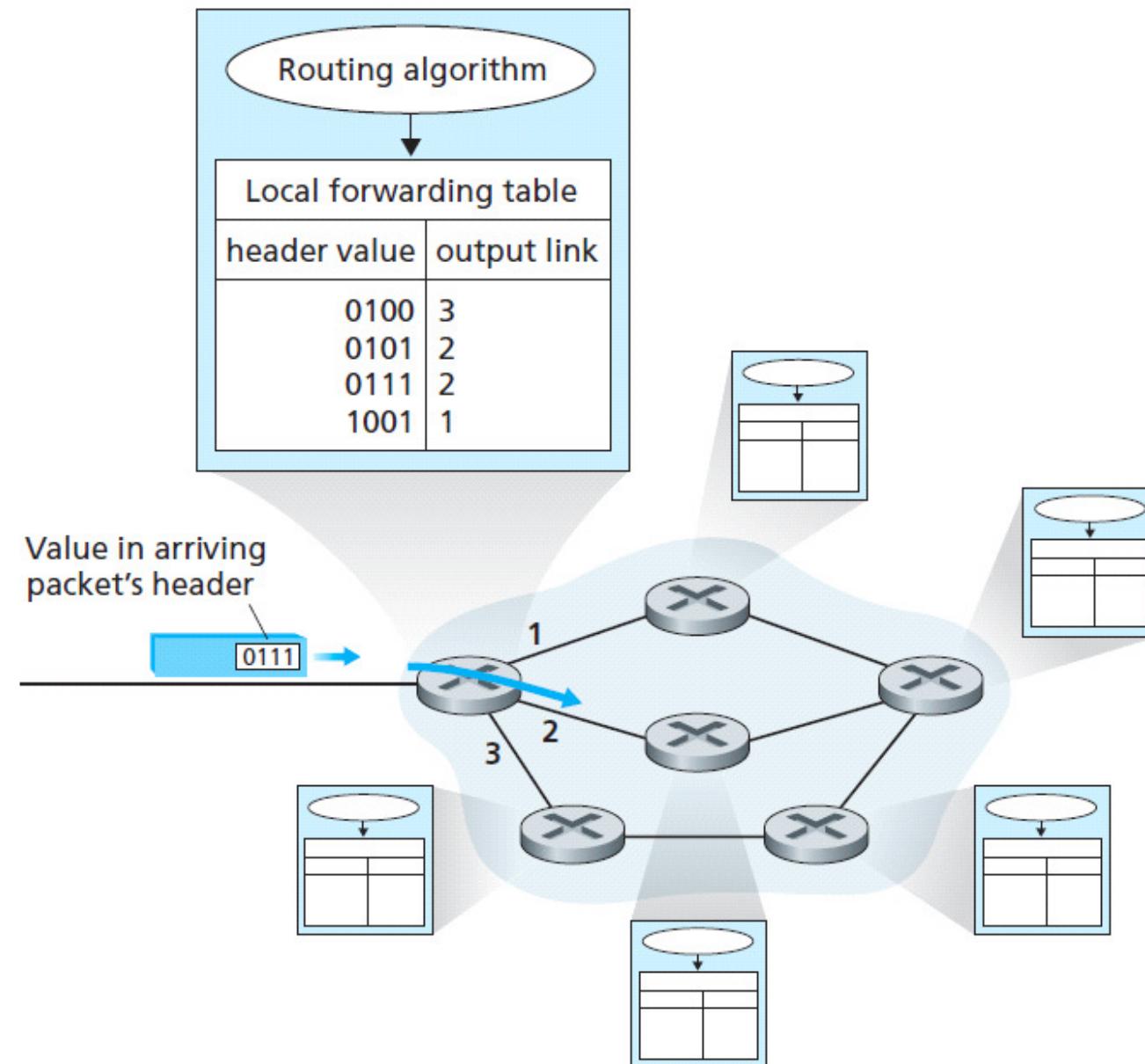
4 Algoritmos de Roteamento

5 Roteamento na Internet

Repassar e Roteamento

- O papel da camada de rede é aparentemente simples: transportar pacotes de um host remetente a um host destinatário;
- Duas importantes funções da camada de rede:
 - **Repassar:** Quando um pacote chega ao enlace de entrada de um roteador, este deve conduzi-lo até o enlace de saída apropriado (**tabelas de repasse**);
 - **Roteamento:** A camada de rede deve determinar a rota ou o caminho tomado pelos pacotes ao fluírem de um remetente a um destinatário (**algoritmos de roteamento**).
- O algoritmo de roteamento determina os valores que são inseridos nas tabelas de repasse dos roteadores.

Repasse e Roteamento



Conteúdo

1 Fundamentos

- Repasse e Roteamento
- Encapsulamento
- Modelos de Serviço de Rede

2 Redes de Circuitos Virtuais e de Datagramas

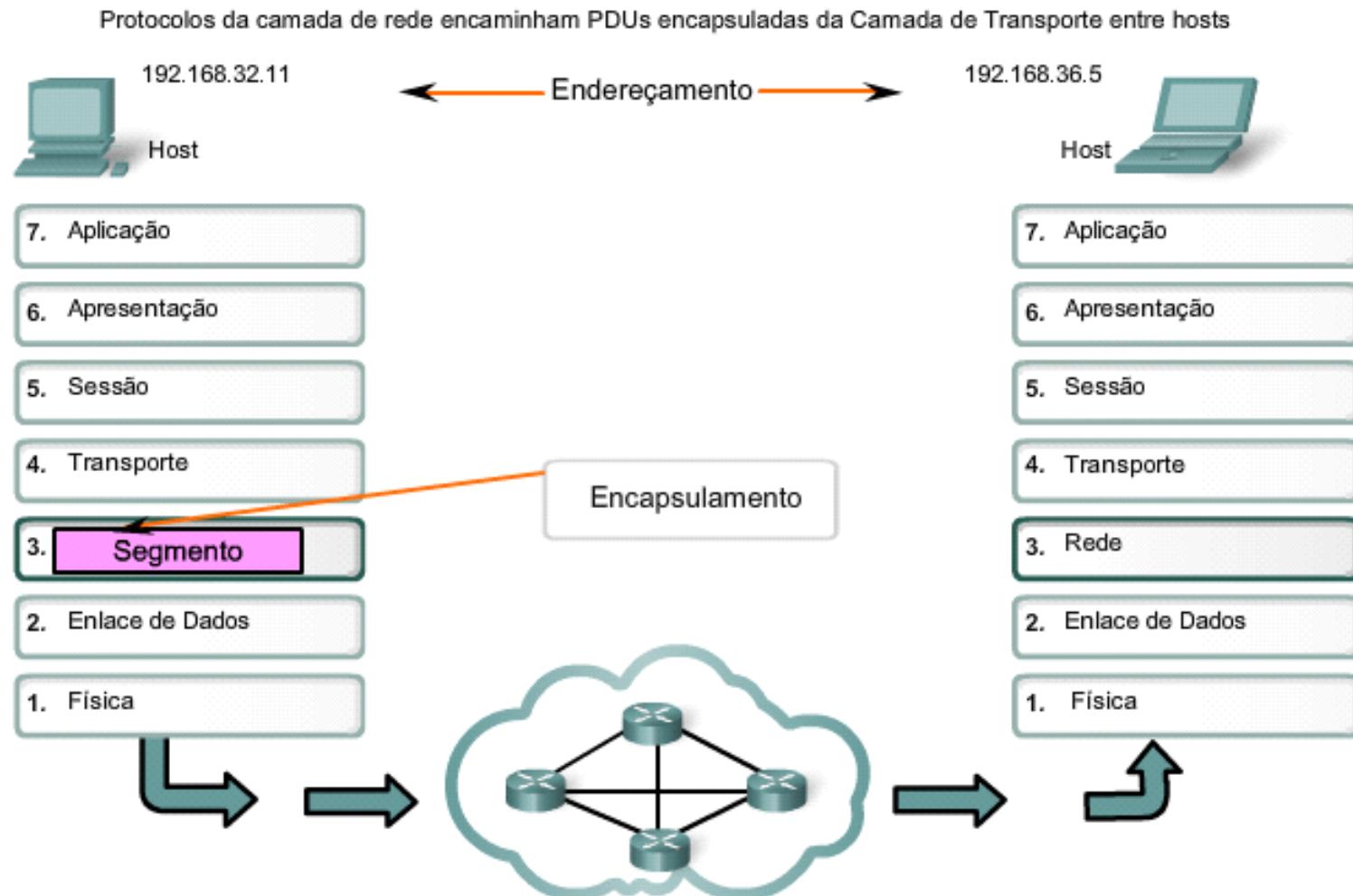
3 O Protocolo IP: Repasse e Endereçamento na Internet

- Protocolo DHCP
- Protocolo NAT
- Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

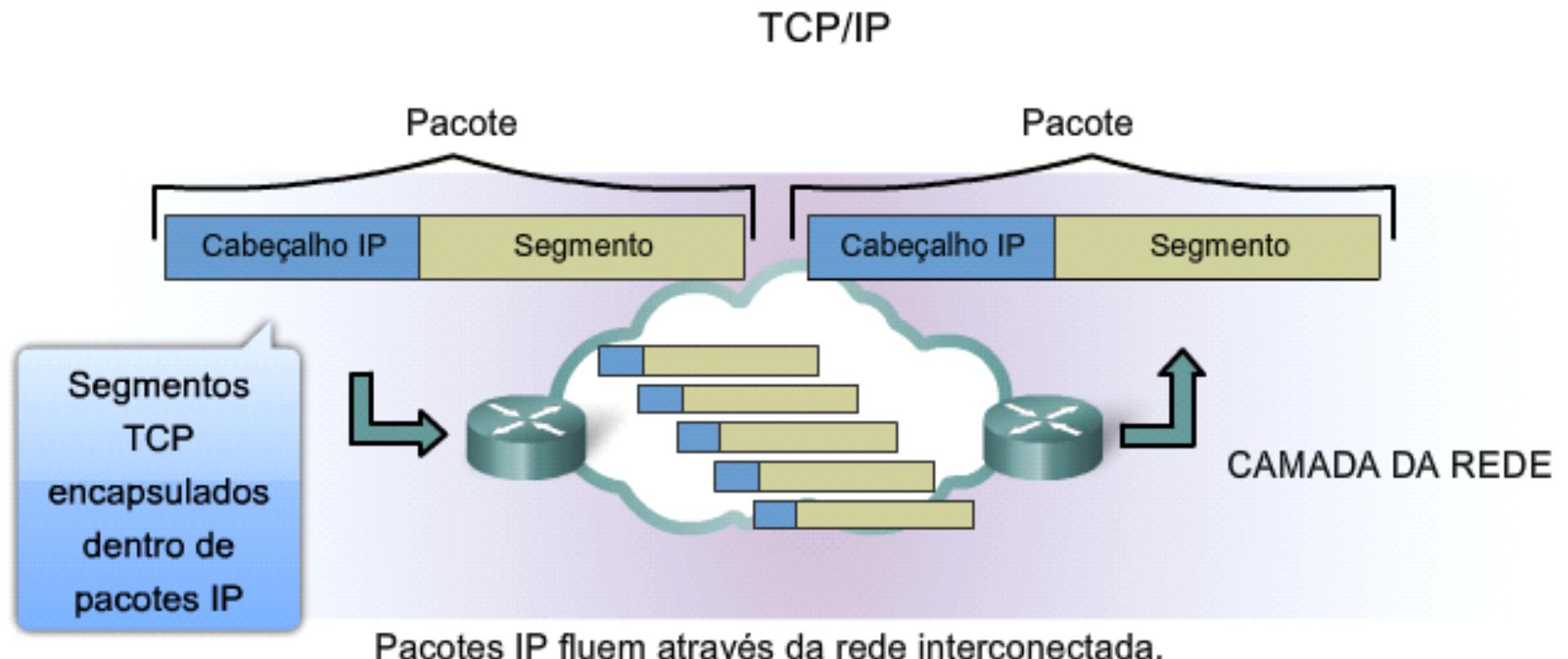
4 Algoritmos de Roteamento

5 Roteamento na Internet

Encapsulamento



Encapsulamento



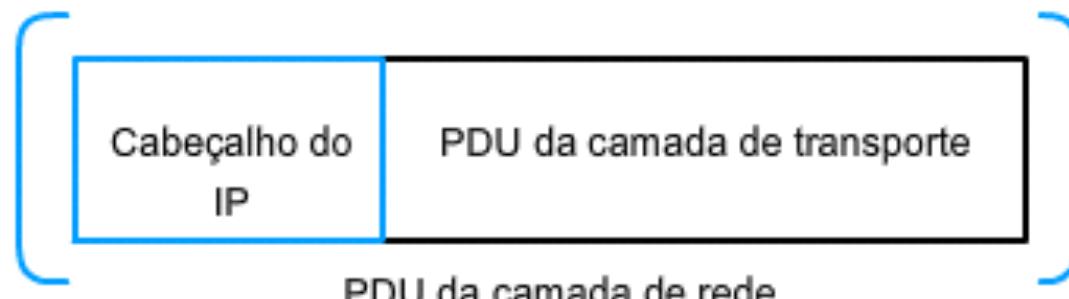
Encapsulamento

Gerando pacotes de IP

Encapsulamento da camada de transporte



Encapsulamento da camada de rede



A **camada de rede** adiciona um cabeçalho, de modo que os pacotes possam ser roteados através de redes complexas até o destino.

Conteúdo

1 Fundamentos

- Repasse e Roteamento
- Encapsulamento
- Modelos de Serviço de Rede

2 Redes de Circuitos Virtuais e de Datagramas

3 O Protocolo IP: Repasse e Endereçamento na Internet

- Protocolo DHCP
- Protocolo NAT
- Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

4 Algoritmos de Roteamento

5 Roteamento na Internet

Modelos de Serviço de Rede

Modelo de serviço de rede

Define as **características do transporte** de dados fim a fim entre uma borda da rede e a outra, isto é, entre sistemas finais remetente e destinatário.

- Alguns serviços possíveis que a camada de rede pode prover:
 - **Entrega garantida:** Assegura que o pacote mais cedo ou mais tarde **chegará** a seu destino;
 - **Entrega garantida com atraso limitado:** Assegura a entrega de um pacote com um **atraso host a host limitado** e especificado;
 - **Entrega de pacotes na ordem:** Garante que pacotes chegarão ao destino na **ordem** em que foram enviados.

Modelos de Serviço de Rede

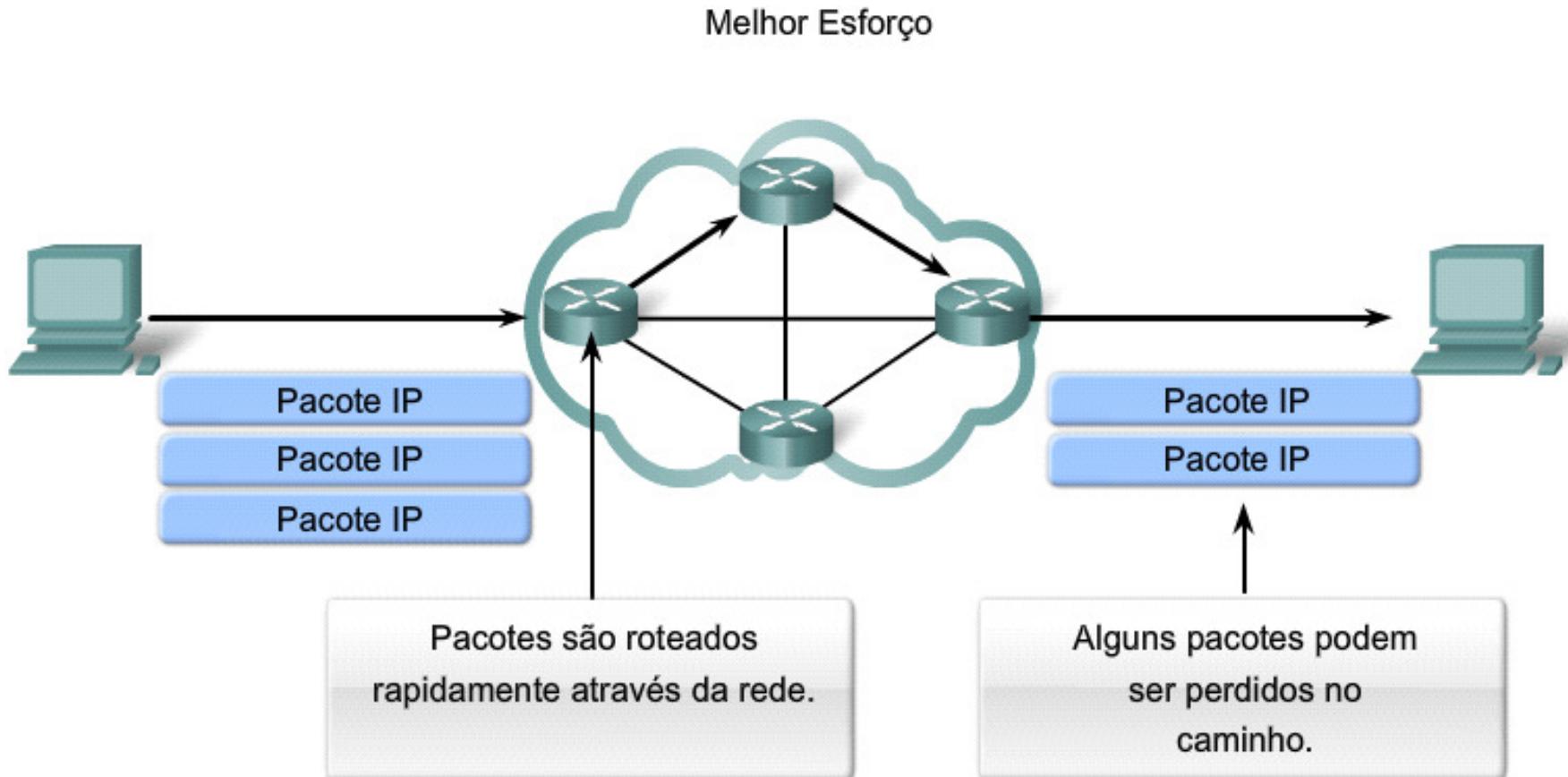
- Alguns serviços possíveis que a camada de rede pode prover:
 - **Largura de banda mínima garantida:** Contanto que o host remetente transmita bits a uma taxa **abaixo da taxa de bits especificada**, nenhum pacote será perdido e cada um chegará dentro de um atraso especificado;
 - **Jitter máximo garantido:** Assegura que a **quantidade de tempo entre a transmissão** de dois pacotes sucessivos no remetente seja igual ou aproximadamente igual à quantidade de tempo entre o recebimento dos dois pacotes no destino;
 - **Serviços de segurança:** Utilizando uma chave de sessão secreta conhecida somente por um host de origem e de destino, a carga útil de todos os datagramas pode ser **codificada**.

Modelos de Serviço de Rede

- A camada de rede da Internet fornece um único modelo de serviço: **serviço de melhor esforço**.

Network Architecture	Service Model	Bandwidth Guarantee	No-Loss Guarantee	Ordering	Timing	Congestion Indication
Internet	Best Effort	None	None	Any order possible	Not maintained	None
ATM	CBR	Guaranteed constant rate	Yes	In order	Maintained	Congestion will not occur
ATM	ABR	Guaranteed minimum	None	In order	Not maintained	Congestion indication provided

Serviço de Melhor Esforço



Como um protocolo não confiável da camada de Rede, IP não garante que todos os pacotes enviados serão recebidos.

Outros protocolos gerenciam o processo de rastreamento de pacotes e garantem sua entrega.

Redes de Circuitos Virtuais e de Datagramas

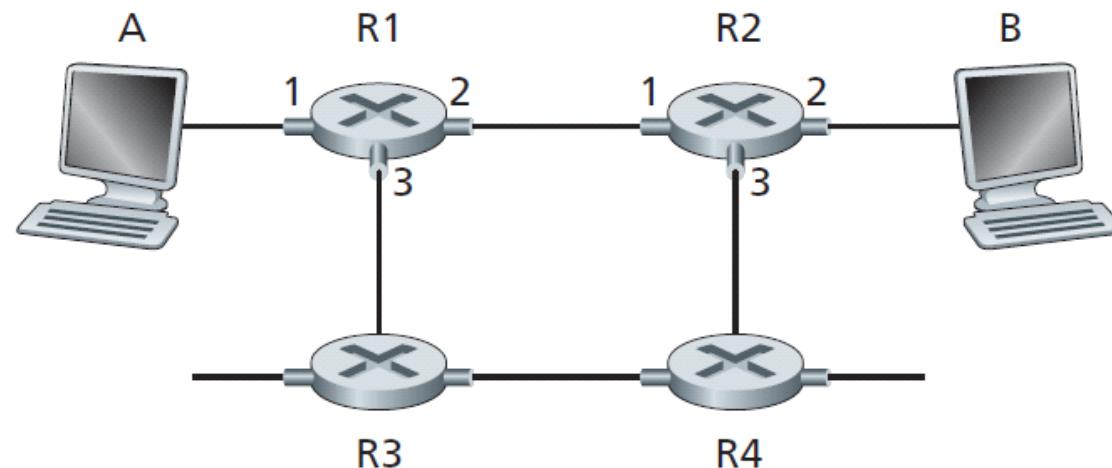
- A camada de transporte pode oferecer às aplicações serviço não orientado para conexão (UDP) ou serviço orientado para conexão (TCP);
- De modo semelhante, uma camada de rede também pode oferecer qualquer dos dois tipos de serviço:
 - **Serviço orientado para conexão:** **redes de Circuitos Virtuais (CV)**;
 - **Serviço não orientado para conexão:** **redes de datagramas**.

Redes de Circuitos Virtuais

- Inspirado nas redes de **telefonia fixa**;
- Exemplos de redes CV: ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e Frame Relay;
- Um circuito virtual (CV) consiste em:
 - ① Um **caminho** (série de enlaces e roteadores) entre hosts de origem e de destino;
 - ② **Números de CV**: um número para cada enlace ao longo do caminho;
 - ③ **Registros na tabela de repasse** em cada roteador ao longo do caminho.
- Os roteadores da rede devem manter **informações de estado de conexão** para as conexões em curso;
- Sempre que um novo CV é estabelecido ou finalizado, um registro é adicionado ou removido em cada tabela de repasse dos roteadores ao longo do caminho.

Redes de Circuitos Virtuais

- Exemplo: Circuito Virtual entre A-R1-R2-B: os 3 enlaces no caminho tem números de CV 12, 22 e 32.



Incoming Interface	Incoming VC #	Outgoing Interface	Outgoing VC #
1	12	2	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

Redes de Circuitos Virtuais

- Há três fases em um circuito virtual:

1 Estabelecimento de CV

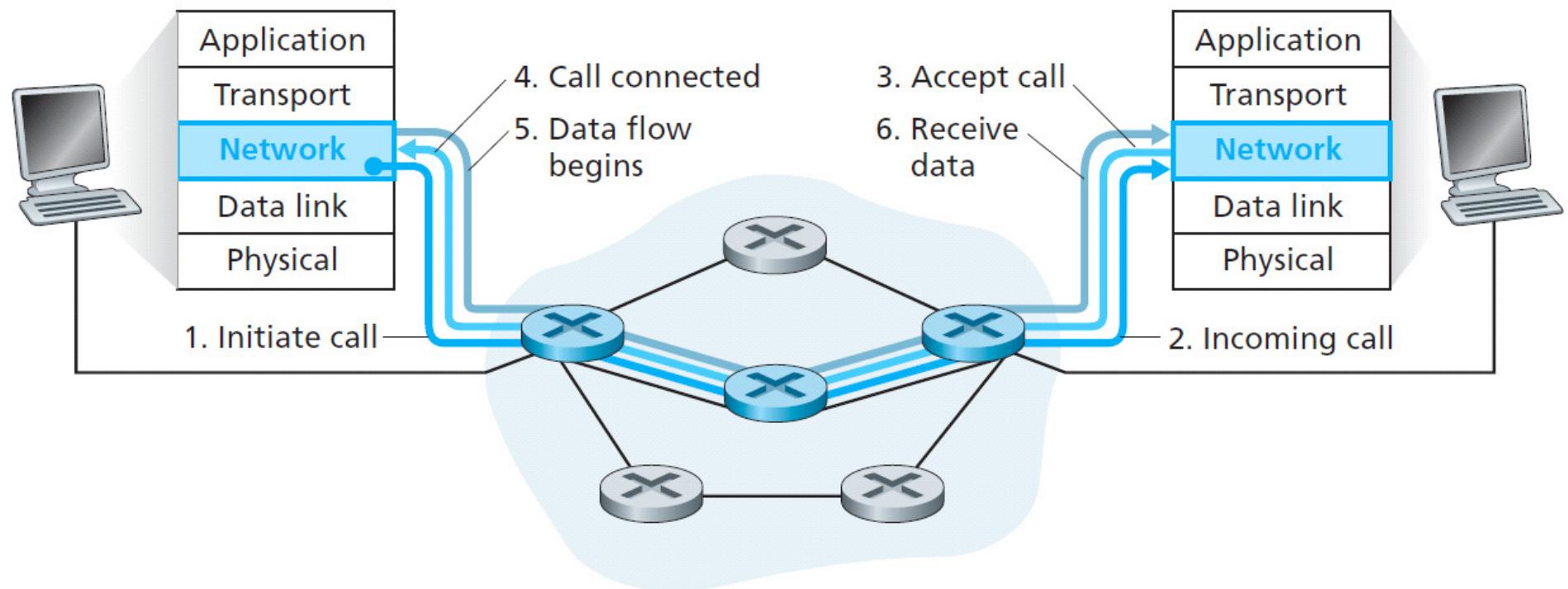
- A camada de transporte remetente contacta a camada de rede e espera esta estabelecer o CV;
- A camada de rede determina o caminho entre remetente e destinatário;
- A camada de rede determina o número de CV para cada enlace ao longo do caminho;
- A camada de rede adiciona um registro na tabela de repasse em cada roteador no caminho.

2 Transferência de dados

3 Encerramento do CV

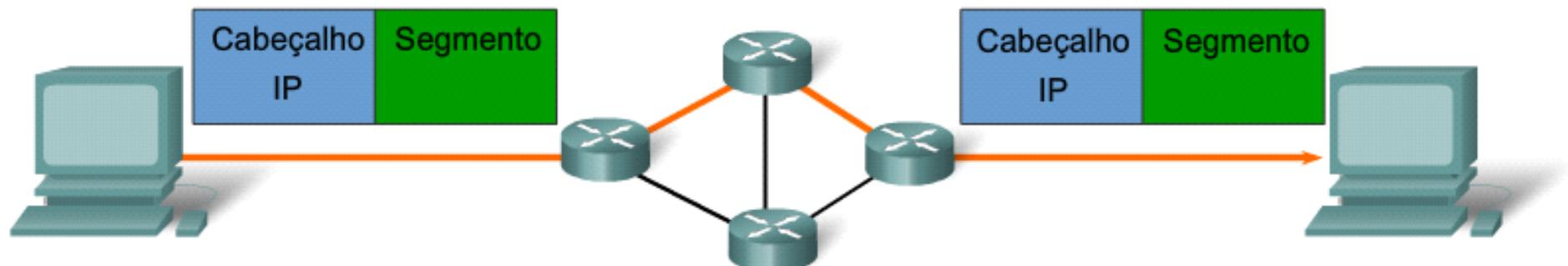
- O remetente ou destinatário informa à camada de rede seu desejo de desativar o CV;
- A camada de rede informará o host do outro lado da rede;
- A camada de rede atualizará as tabelas de repasse dos roteadores.

Redes de Circuitos Virtuais



Redes de Datagramas

Comunicação sem Conexão



Um pacote é enviado.

O remetente não sabe:

- se o destinatário está presente
- se o pacote chegou
- se o destinatário pode ler o pacote

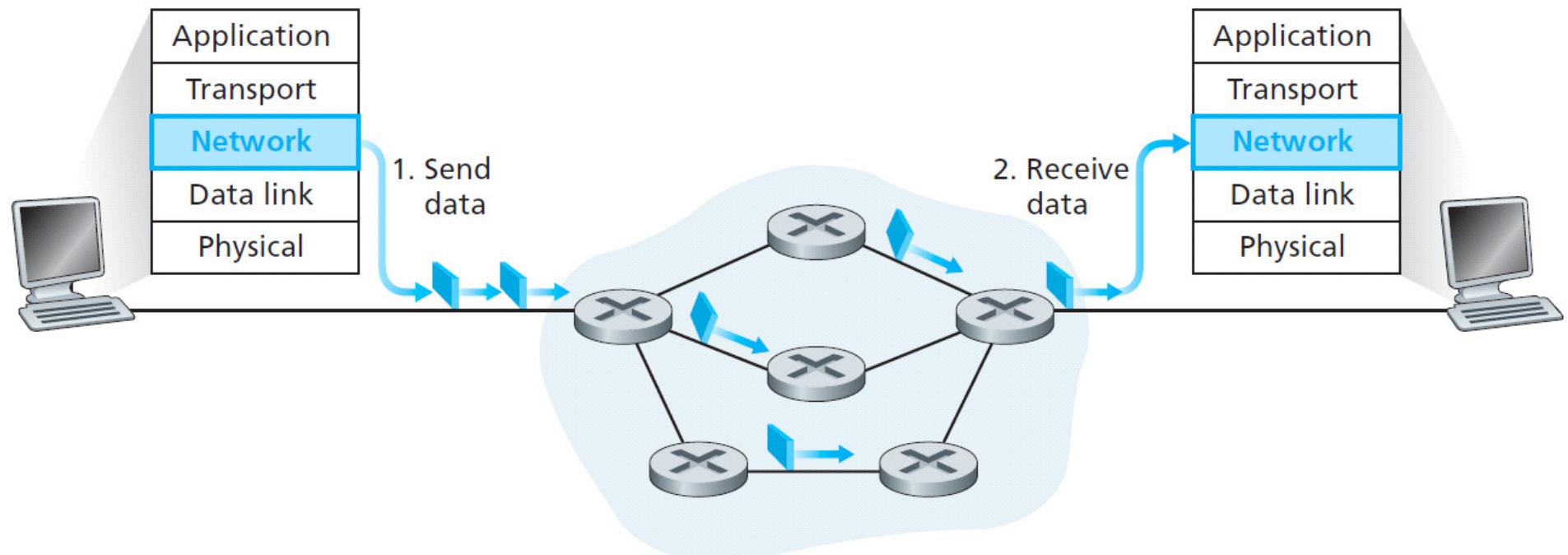
O destinatário não sabe:

- quando chega

Redes de Datagramas

- Modelo de serviço de camada de rede **o mais simples possível**;
- Toda vez que um host quer enviar um pacote, ele marca o pacote com o **endereço do host de destino** e então o envia para dentro da rede;
- Cada um dos roteadores ao longo do caminho usa o endereço de destino do pacote para repassá-lo;
- A tabela de repasse **mapeia** endereços de destino para interfaces de enlaces;
- O roteador compara um **prefixo** do endereço de destino do pacote com os registros na tabela; se houver uma concordância de prefixos, o roteador transmite o pacote para o enlace associado àquele prefixo correspondente;
- **Regra da concordância do prefixo mais longo**: encontra o registro cujo prefixo tem mais bits correspondentes.

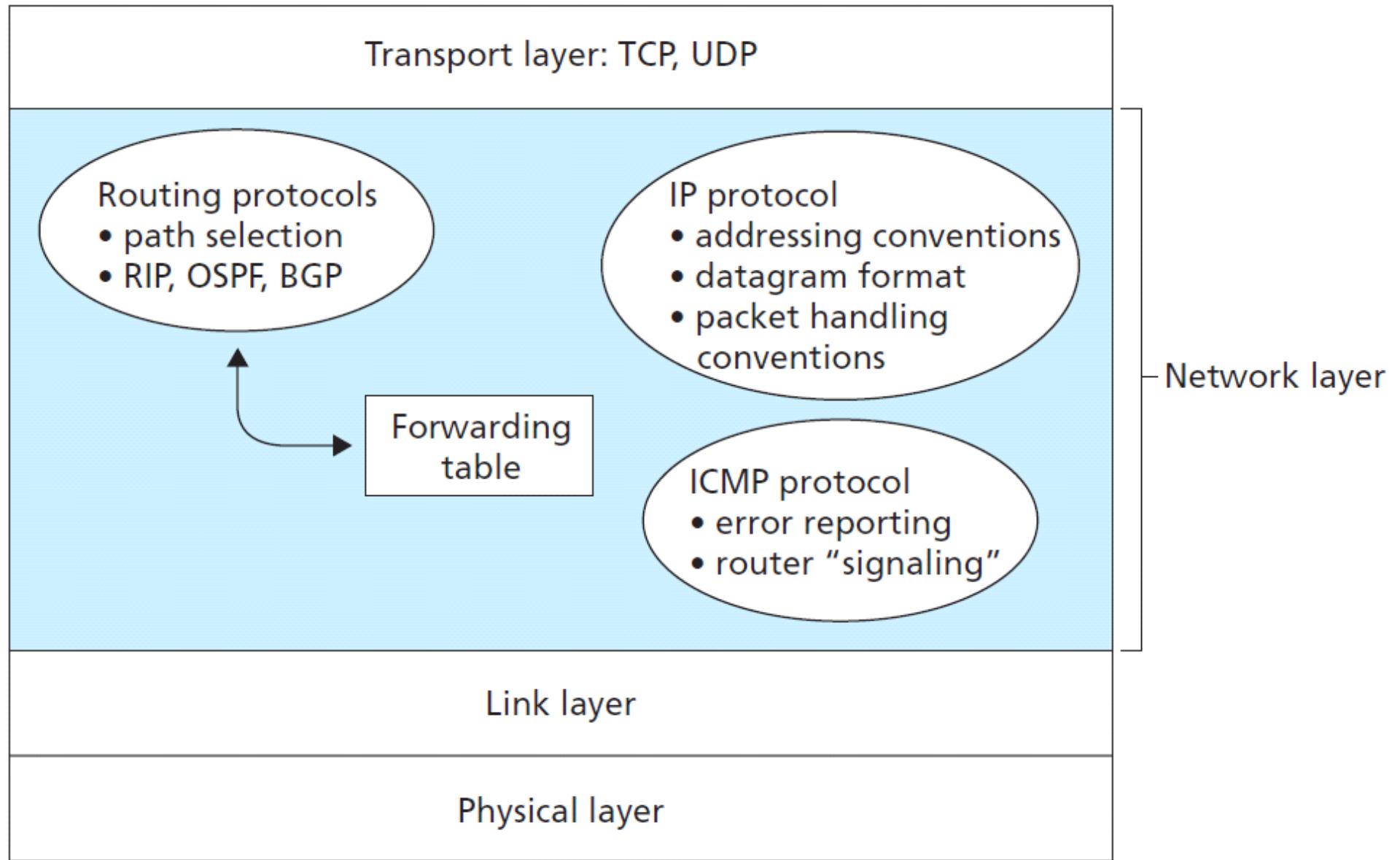
Redes de Datagramas



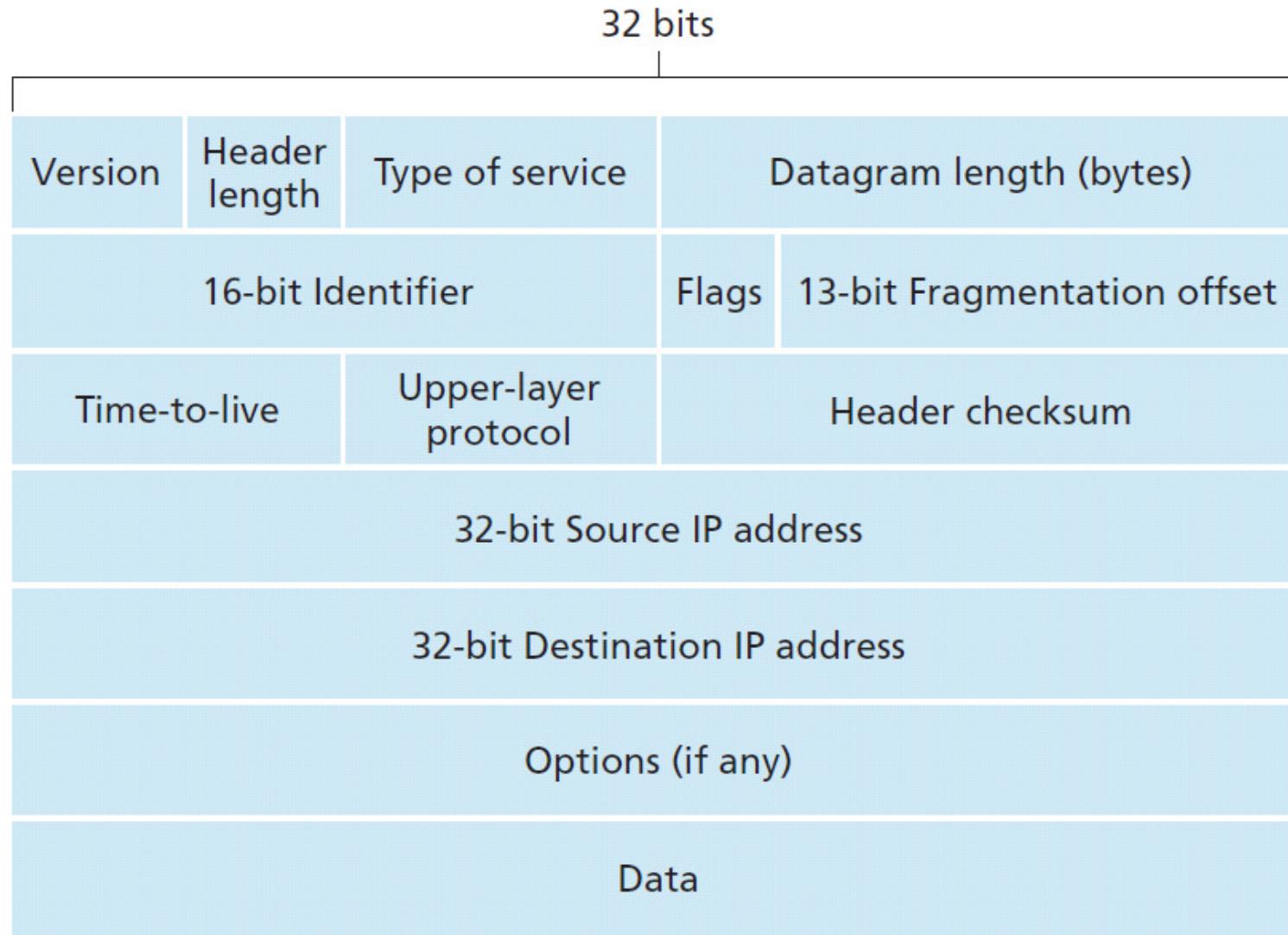
Redes de Datagramas

Destination Address Range	Link Interface
11001000 00010111 00010000 00000000 through 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 through 11001000 00010111 00011000 11111111	1
11001000 00010111 00011001 00000000 through 11001000 00010111 00011111 11111111	2
otherwise	3
Prefix Match	Link Interface
11001000 00010111 00010	0
11001000 00010111 00011000	1
11001000 00010111 00011	2
otherwise	3

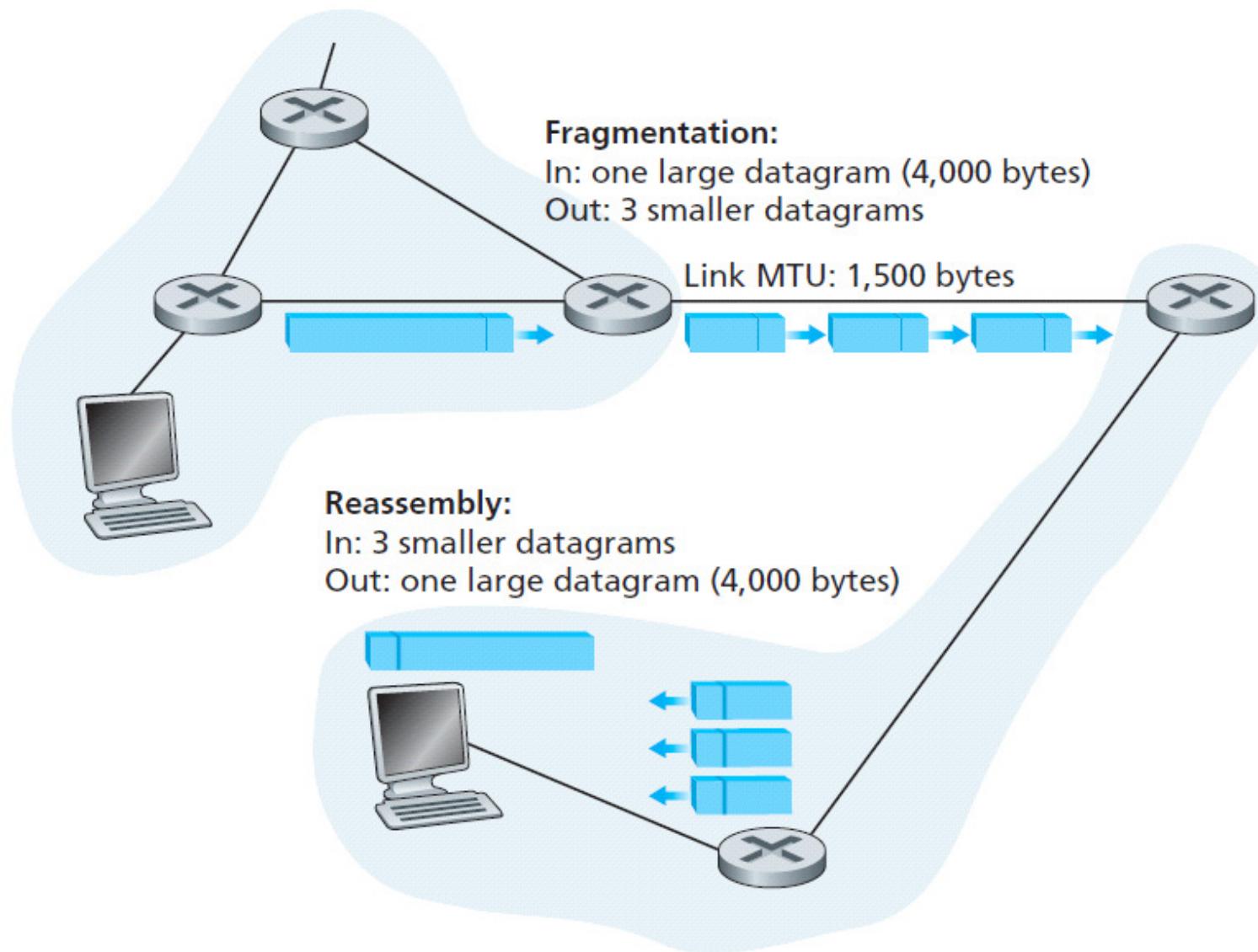
O interior da camada de rede da Internet



Formato de datagrama



Fragmentação e reconstrução IP



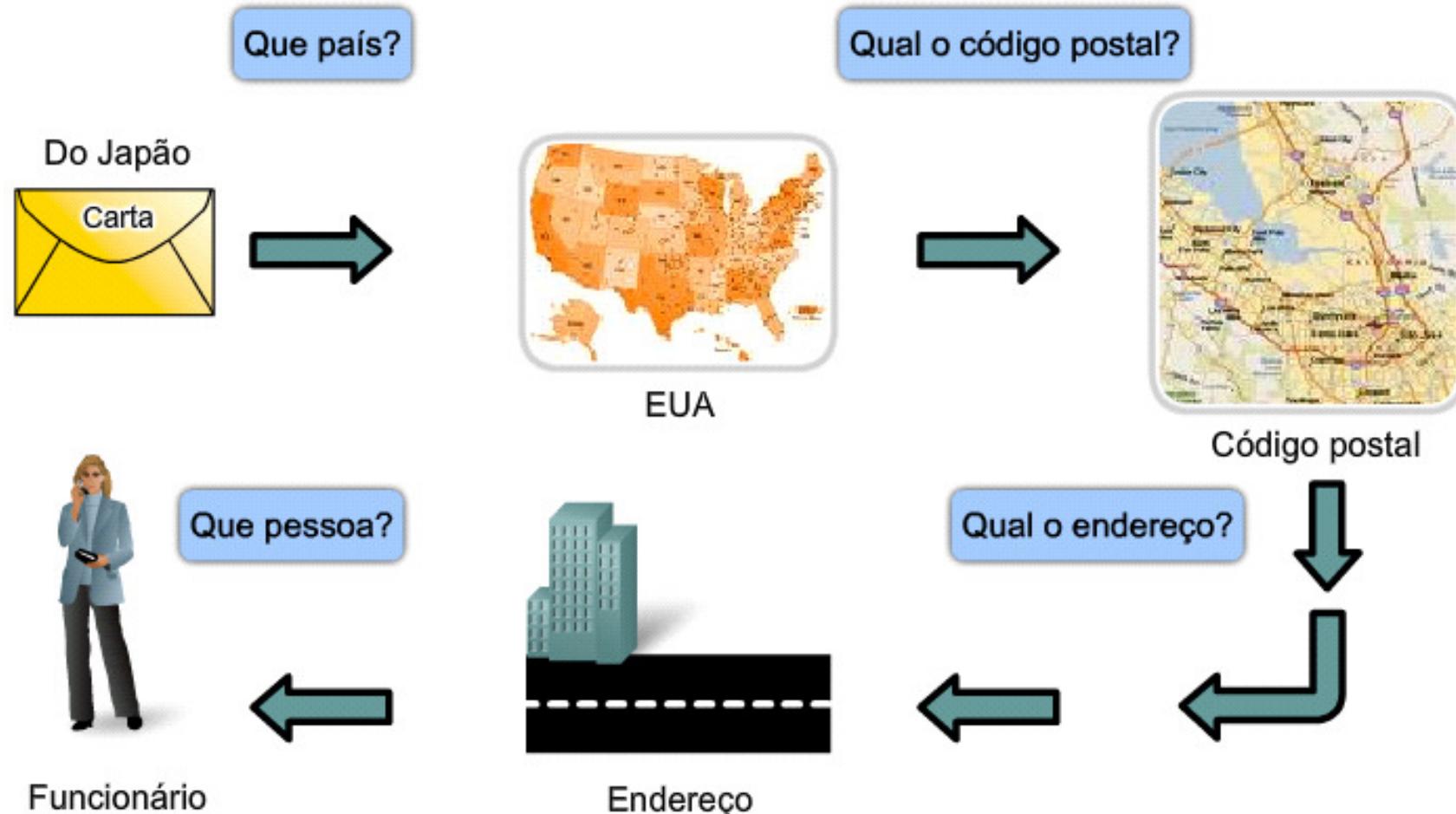
Fragmentos IP

Fragment	Bytes	ID	Offset	Flag
1st fragment	1,480 bytes in the data field of the IP datagram	identification = 777	offset = 0 (meaning the data should be inserted beginning at byte 0)	flag = 1 (meaning there is more)
2nd fragment	1,480 bytes of data	identification = 777	offset = 185 (meaning the data should be inserted beginning at byte 1,480. Note that $185 \cdot 8 = 1,480$)	flag = 1 (meaning there is more)
3rd fragment	1,020 bytes $(= 3,980 - 1,480 - 1,480)$ of data	identification = 777	offset = 370 (meaning the data should be inserted beginning at byte 2,960. Note that $370 \cdot 8 = 2,960$)	flag = 0 (meaning this is the last fragment)

Endereçamento hierárquico

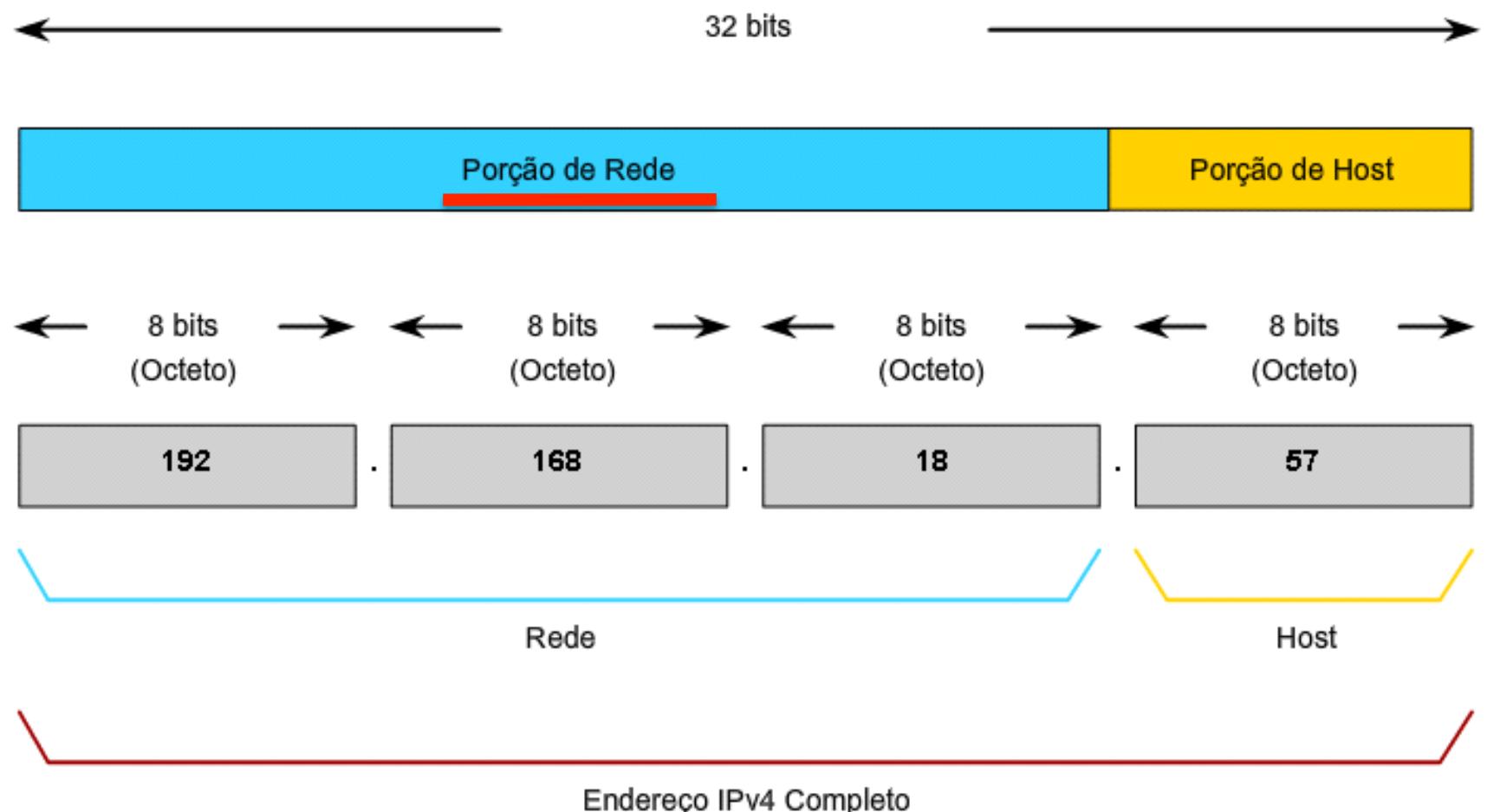
Endereçamento hierárquico

PARA: Jane Doe 170 West Tasman Drive, San Jose, CA 95134, EUA

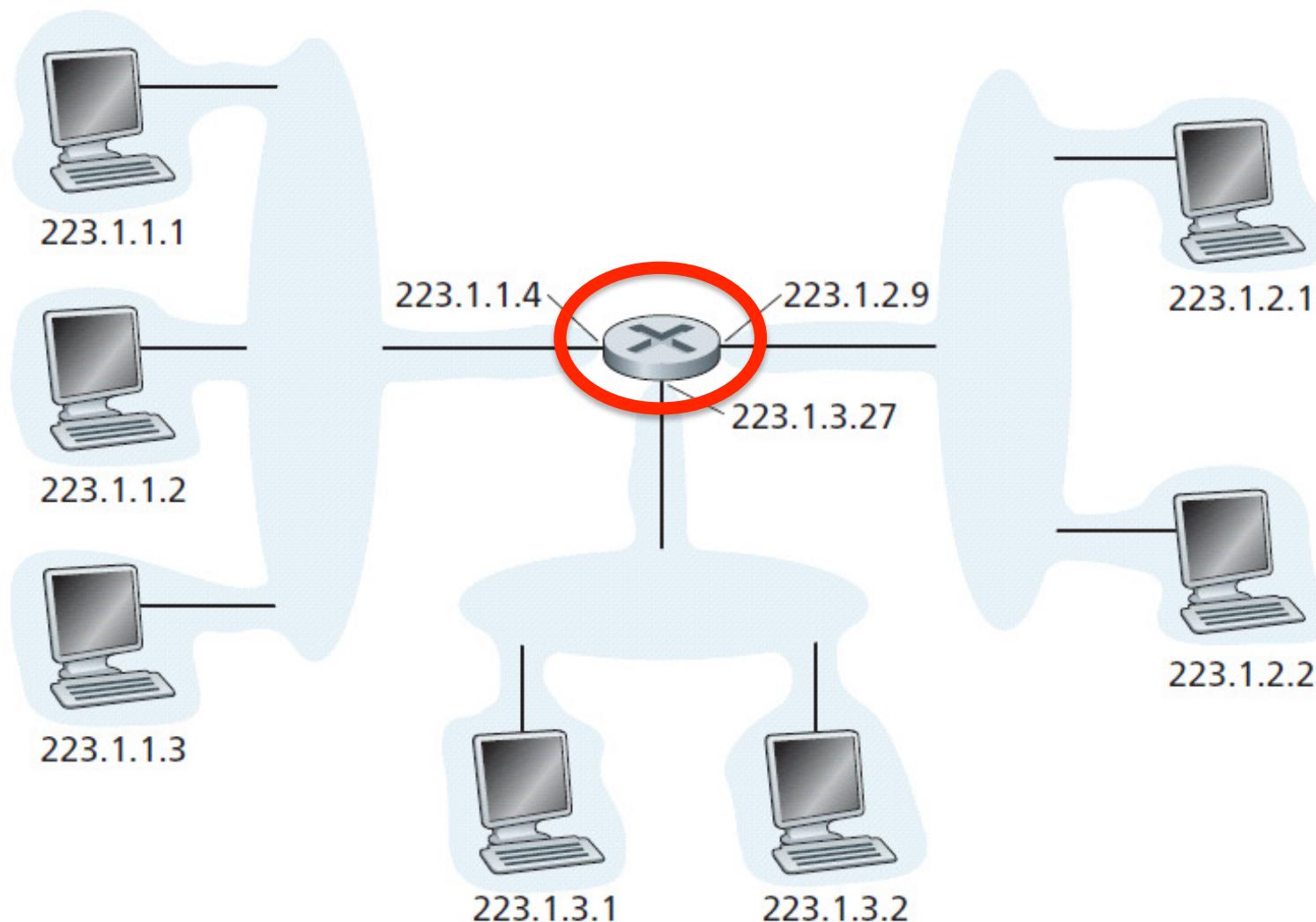


Endereçamento hierárquico

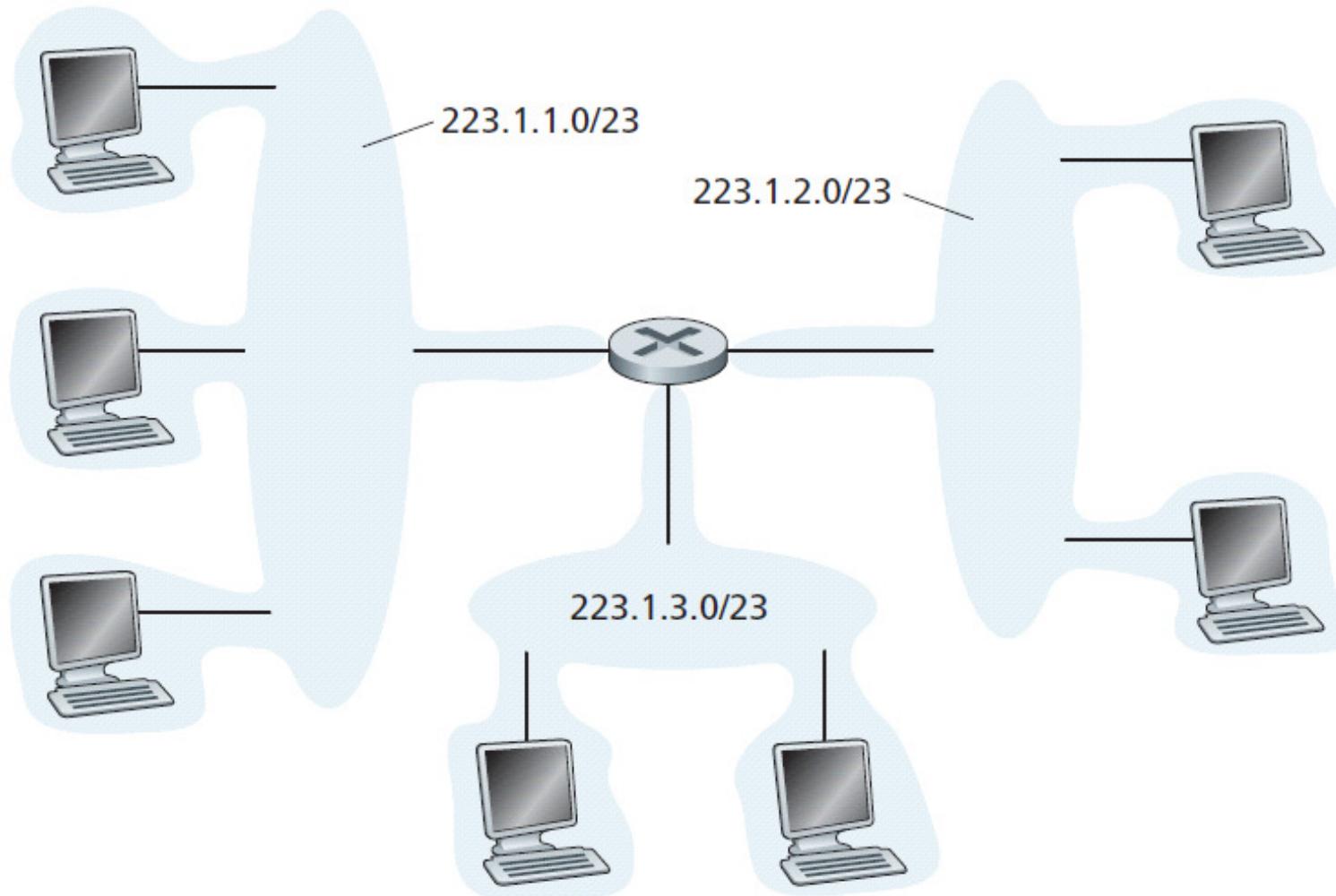
Endereço IPv4 Hierárquico



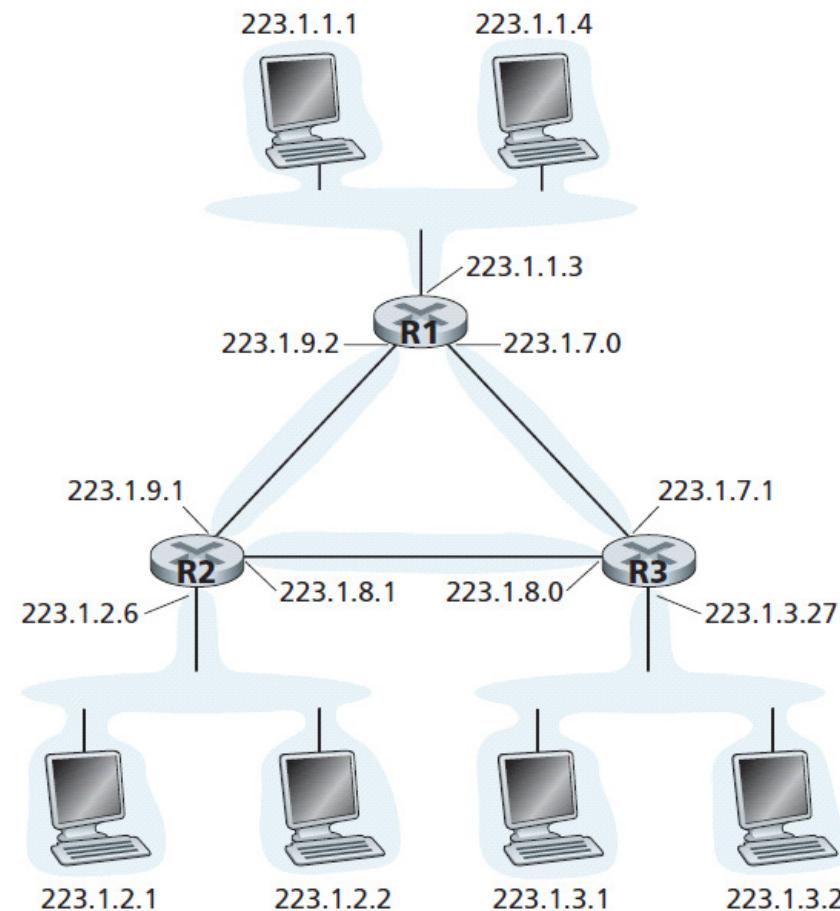
Endereços de interfaces e sub-redes



Endereços de sub-redes

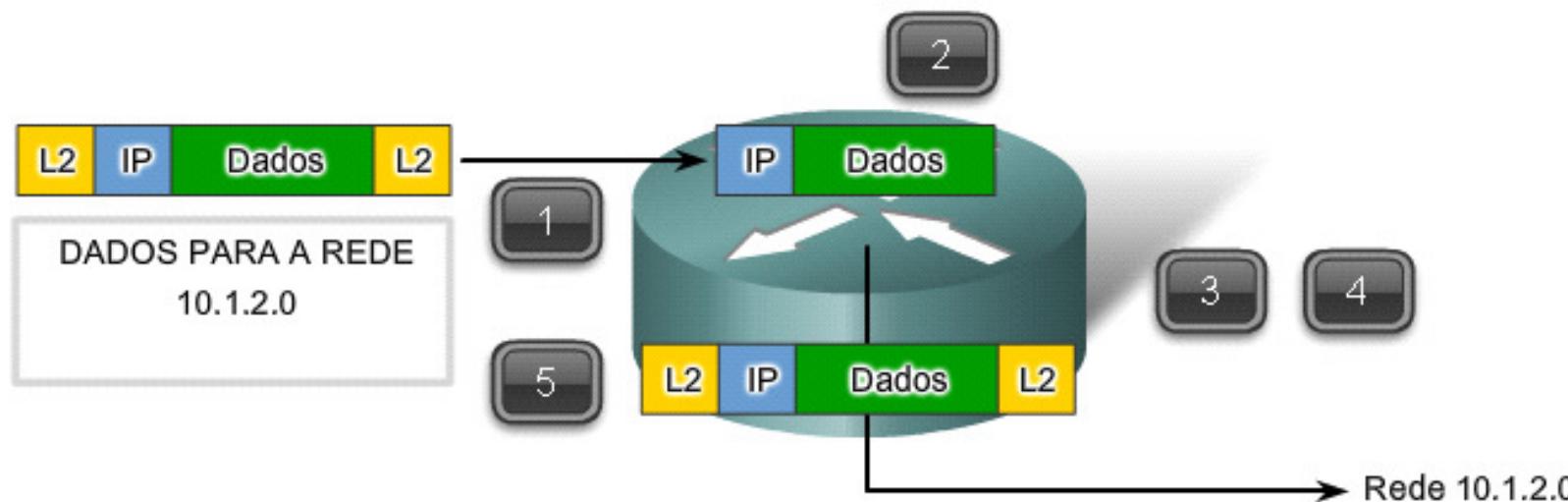


Três roteadores interconectando seis sub-redes



Encaminhamento de pacotes

Entrada de Rota Existente



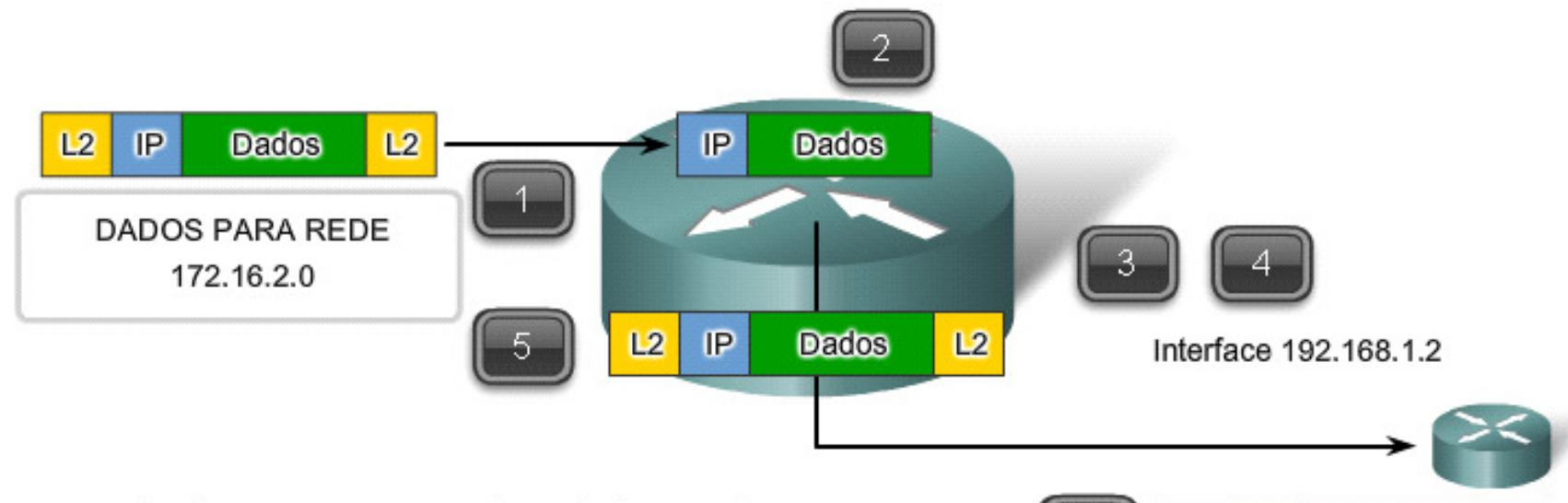
1. O roteador remove o encapsulamento da Camada 2
2. Roteador extrai o endereço IP de destino
3. O Roteador verifica a tabela de roteamento para encontrar uma correspondência
4. A Rede 10.1.2.0 é encontrada na tabela de roteamento
5. O roteador refaz o encapsulamento do pacote
6. Pacote é enviado à Rede 10.1.2.0



Encaminhamento de pacotes

Não Existe Nenhuma Rota de Entrada Além da Rota Padrão

Baixe a barra de rolagem para ver as etapas que o roteador executa.

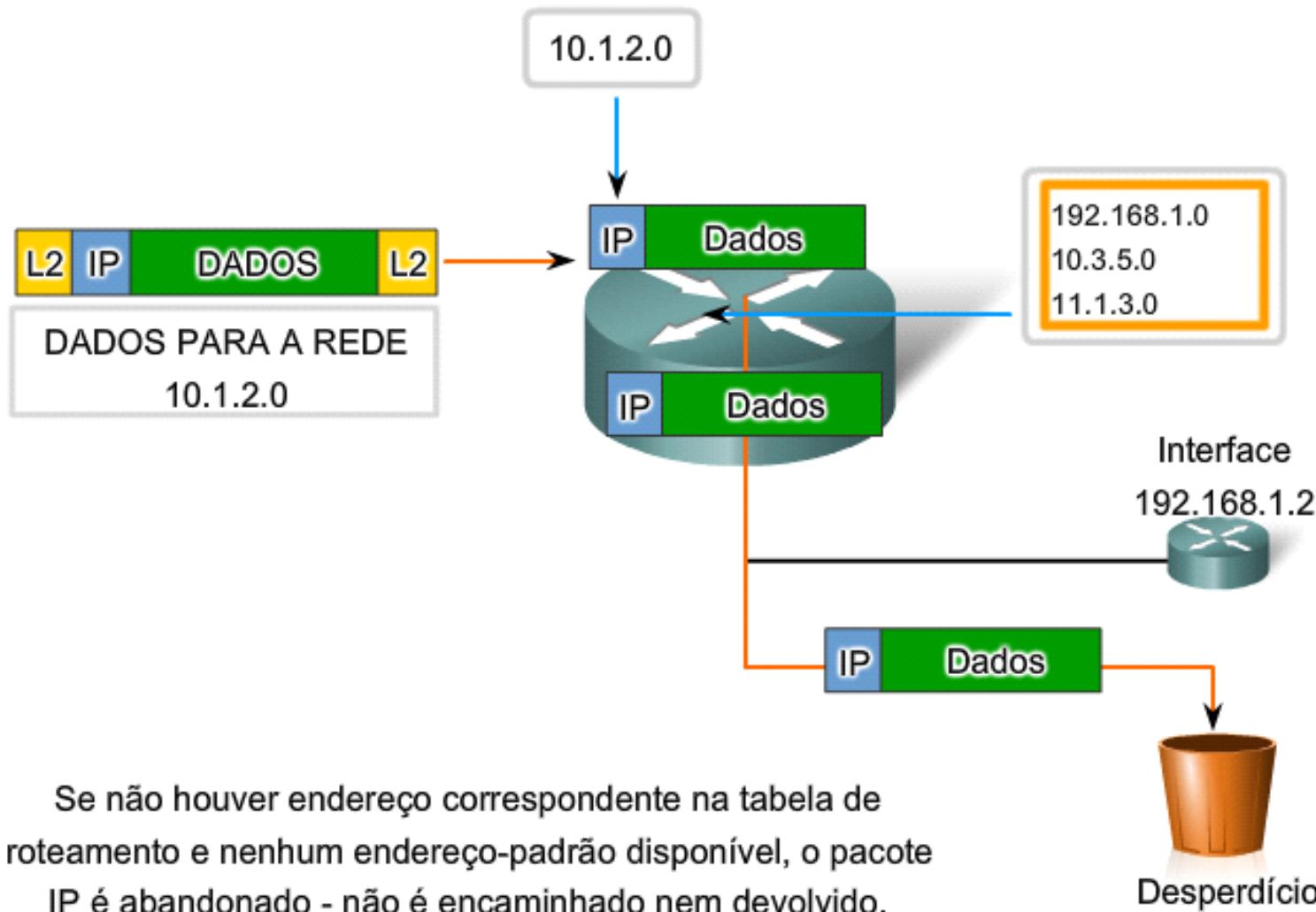


1. O roteador remove o encapsulamento da Camada 2
2. O roteador extrai o Endereço IP
3. O Roteador verifica a tabela de roteamento para encontrar uma correspondência
4. A Rede 172.16.2.0 não está na tabela de roteamento, mas existe uma rota padrão para 192.168.1.2
5. O roteador refaz o encapsulamento do pacote
6. O pacote é enviado para a Interface 192.168.1.2



Encaminhamento de pacotes

Nenhuma Entrada de Rota e Nenhuma Rota-Padrão



Obtenção de um bloco de endereços

ISP's block	200.23.16.0/20	<u>11001000</u> <u>00010111</u> <u>00010000</u> 00000000
Organization 0	200.23.16.0/23	<u>11001000</u> <u>00010111</u> <u>00010000</u> 00000000
Organization 1	200.23.18.0/23	<u>11001000</u> <u>00010111</u> <u>00010010</u> 00000000
Organization 2	200.23.20.0/23	<u>11001000</u> <u>00010111</u> <u>00010100</u> 00000000
...
Organization 7	200.23.30.0/23	<u>11001000</u> <u>00010111</u> <u>00011110</u> 00000000

Conteúdo

1 Fundamentos

- Repasse e Roteamento
- Encapsulamento
- Modelos de Serviço de Rede

2 Redes de Circuitos Virtuais e de Datagramas

3 O Protocolo IP: Repasse e Endereçamento na Internet

- Protocolo DHCP
- Protocolo NAT
- Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

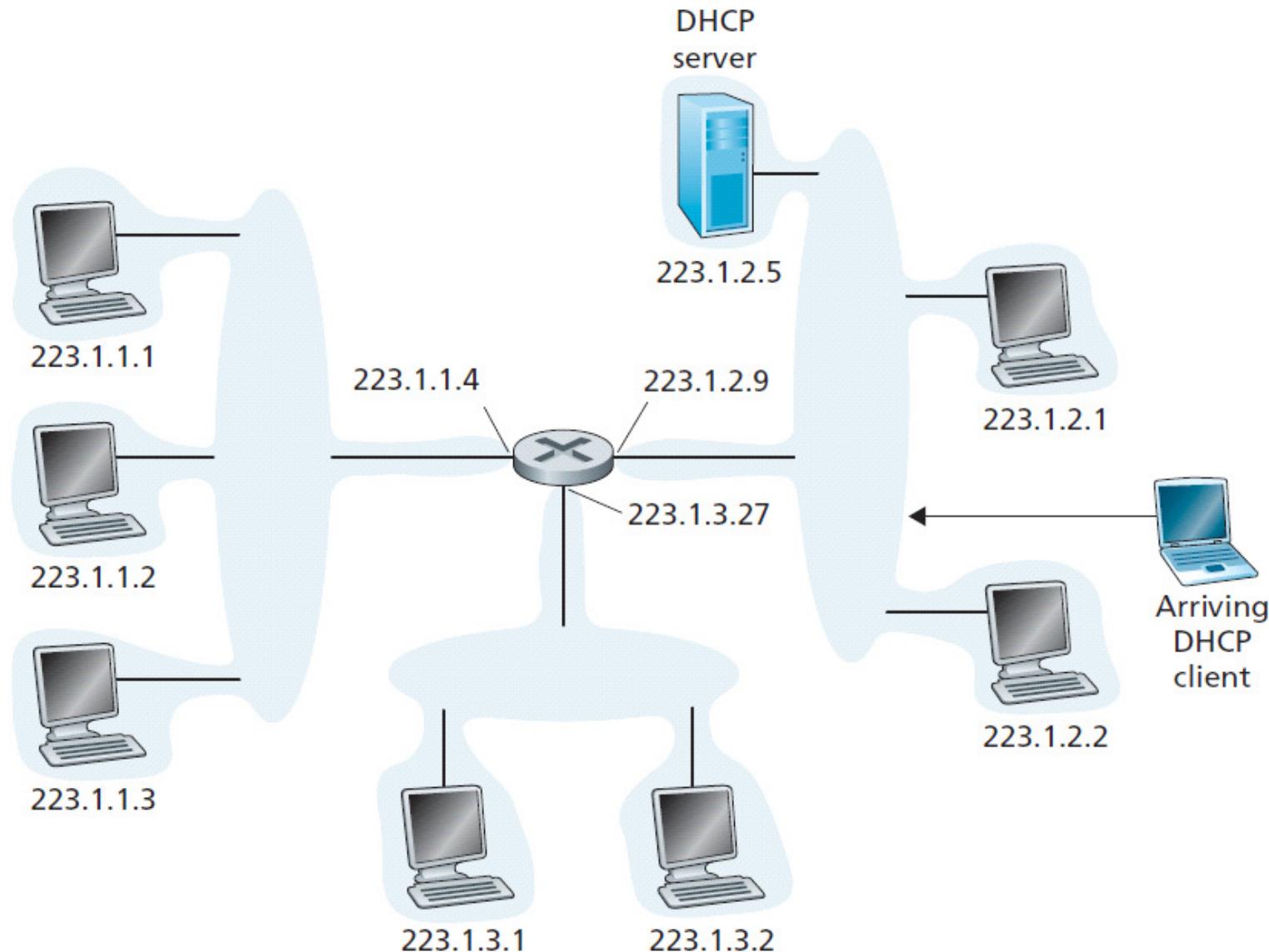
4 Algoritmos de Roteamento

5 Roteamento na Internet

Protocolo de Configuração Dinâmica de Hosts - DHCP

- Em geral, um administrador de sistemas configurará de modo manual os endereços IP no roteador;
- Os endereços dos hosts costumam ser alocados de forma automática usando o **Protocolo de Configuração Dinâmica de Hospedeiros** (*Dynamic Host Configuration Protocol* - DHCP);
- Informações disponibilizadas pelo DHCP ao host:
 - Endereço IP fixo ou temporário;
 - Máscara de sub-rede;
 - Endereço IP do primeiro roteador (em geral chamado de roteador de borda padrão - default gateway);
 - Endereço IP de seu servidor DNS local.
- DHCP é protocolo **plug and play**;
- Tem ampla utilização em redes residenciais de acesso à Internet e em WLANs.

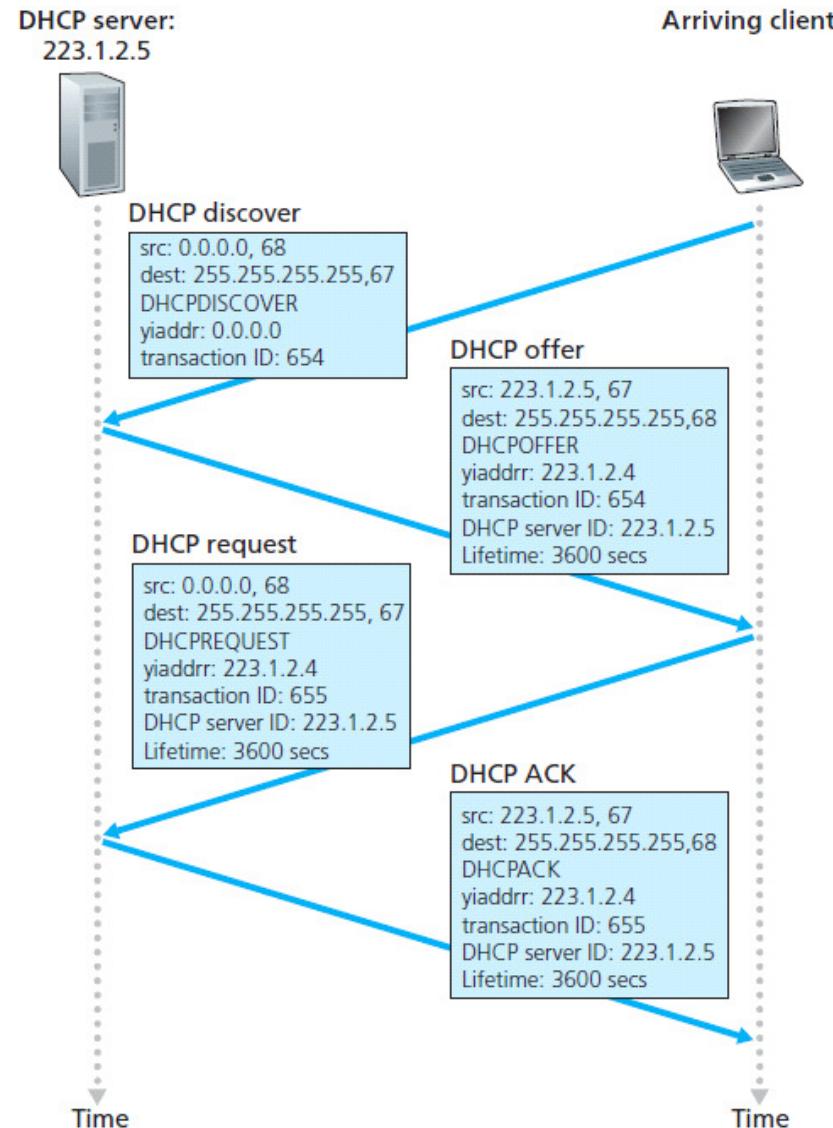
Protocolo de Configuração Dinâmica de Hosts - DHCP



Protocolo de Configuração Dinâmica de Hosts - DHCP

- O DHCP é um protocolo **cliente-servidor**;
- Processo de quatro etapas:
 - **Descoberta do servidor DHCP**: o cliente envia por difusão um pacote UDP para a porta 67 com a mensagem de descoberta DHCP;
 - **Oferta(s) dos servidores DHCP**: Um servidor DHCP que recebe uma mensagem de descoberta DHCP responde ao cliente através de difusão com uma mensagem de oferta DHCP contendo parâmetros de configuração;
 - **Solicitação DHCP**: O cliente escolherá uma oferta e responderá com uma mensagem de solicitação DHCP, repetindo os parâmetros de configuração.
 - **DHCP ACK**: O servidor responde a mensagem de requisição DHCP com uma mensagem DHCP ACK, confirmando os parâmetros requisitados.

Protocolo de Configuração Dinâmica de Hosts - DHCP



Conteúdo

1 Fundamentos

- Repasse e Roteamento
- Encapsulamento
- Modelos de Serviço de Rede

2 Redes de Circuitos Virtuais e de Datagramas

3 O Protocolo IP: Repasse e Endereçamento na Internet

- Protocolo DHCP
- Protocolo NAT
- Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

4 Algoritmos de Roteamento

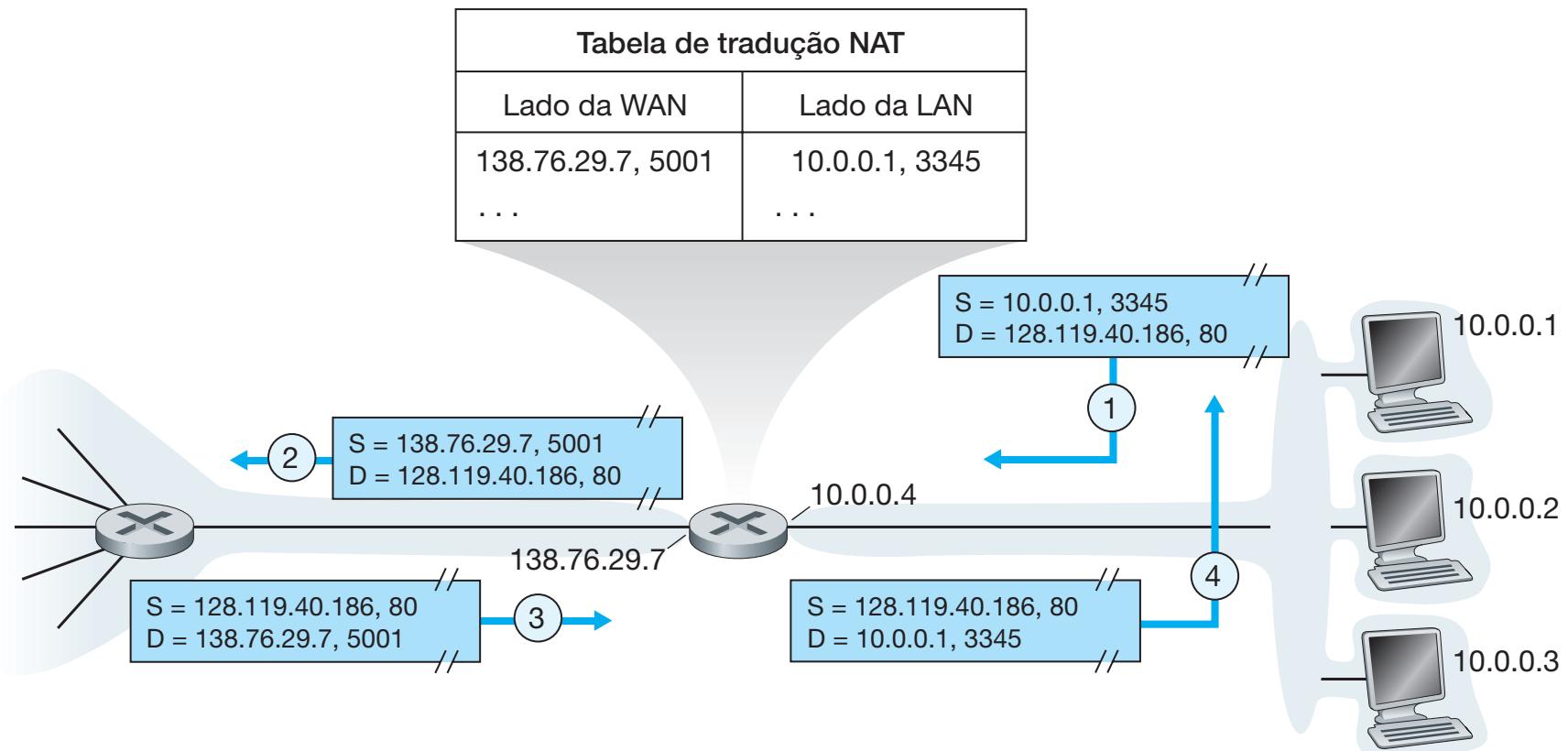
5 Roteamento na Internet

Protocolo de Tradução de Endereços de Rede - NAT

- Cenário de proliferação de sub-redes de pequenos escritórios e de escritórios residenciais (*Small Office Home Office - SOHO*)
 - Grande demanda por endereços IP distintos;
 - Usuários em geral não querem se preocupar em administrar os endereços IP de sua residência/escritório.
- **Tradução de endereços de rede** (*Network Address Translation - NAT*);
- O espaço de endereço 10.0.0.0/8 é uma das três porções do espaço de endereço IP reservado para uma rede privada, ou um **domínio com endereços privados**;
- Um domínio com endereços privados refere-se a uma rede cujos endereços somente têm significado para equipamentos pertencentes àquela rede.

Protocolo de Tradução de Endereços de Rede - NAT

Se endereços privados têm significado apenas dentro de uma dada rede, como o endereçamento é administrado quando pacotes são recebidos ou enviados para a Internet global, onde os endereços são necessariamente exclusivos?



Protocolo de Tradução de Endereços de Rede - NAT

- O roteador que usa NAT não parece um roteador para o mundo externo, pois se comporta como um equipamento único com um único endereço IP;
- O roteador que usa NAT está **ocultando do mundo exterior** os detalhes da rede residencial;
- A **tabela de tradução NAT** no roteador NAT possui registros com números de portas e endereços IP;
- Críticas ao NAT:
 - Usa números de portas para endereçar hosts, e não processos;
 - Faz roteadores processarem pacotes até a camada de transporte;
 - Hosts deveriam poder falar diretamente uns com os outros, sem a interferência de nós que modifiquem endereços IP e números de portas;
 - A escassez de endereços IP deveria ser resolvida somente com o uso do IPv6;
 - O NAT interfere em aplicações P2P. Uma possível solução é usar o protocolo UPnP (*Universal Plug and Play*) para fazer a travessia de NAT.

Conteúdo

1 Fundamentos

- Repasse e Roteamento
- Encapsulamento
- Modelos de Serviço de Rede

2 Redes de Circuitos Virtuais e de Datagramas

3 O Protocolo IP: Repasse e Endereçamento na Internet

- Protocolo DHCP
- Protocolo NAT
- Protocolo de Mensagens de Controle da Internet (ICMP)

4 Algoritmos de Roteamento

5 Roteamento na Internet

Protocolo de Mensagens de Controle da Internet - ICMP

- O ICMP é usado por hosts e roteadores para **comunicar informações de camada de rede** entre si;
- A utilização mais comum do ICMP é para comunicação de erros.
- Em termos de arquitetura, o ICMP está localizado acima do IP, pois mensagens ICMP são carregadas como carga útil IP, exatamente como segmentos TCP ou UDP;
- Exemplos de uso do ICMP:
 - Programa *Ping*;
 - Redução da origem: permite que um roteador congestionado envie uma mensagem ICMP de redução da origem a um host para obrigá-lo a reduzir sua velocidade de transmissão;
 - Programa *Traceroute*.

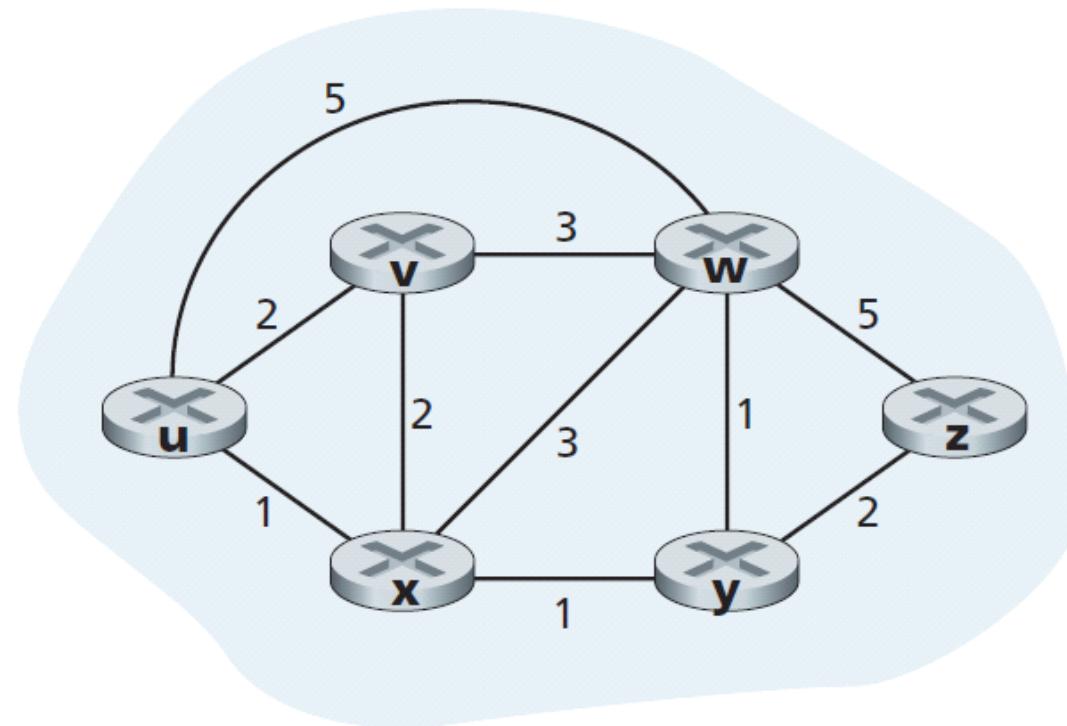
Protocolo de Mensagens de Controle da Internet - ICMP

Tipo ICMP	Código	Descrição
0	0	resposta de eco (para <i>ping</i>)
3	0	rede de destino inalcançável
3	1	hospedeiro de destino inalcançável
3	2	protocolo de destino inalcançável
3	3	porta de destino inalcançável
3	6	rede de destino desconhecida
3	7	hospedeiro de destino desconhecido
4	0	repressão da origem (controle de congestionamento)
8	0	solicitação de eco
9	0	anúncio do roteador
10	0	descoberta do roteador
11	0	TTL expirado
12	0	cabeçalho IP inválido

Fundamentos

- A tarefa de roteamento é determinar bons caminhos (ou rotas) entre remetentes e destinatários através da rede de roteadores;
- Em geral, um host está ligado diretamente a um roteador, o **roteador default** para esse host (também denominado **roteador do primeiro salto**);
- Um **grafo** é usado para formular problemas de roteamento; um grafo $G = (N, E)$ é um conjunto N de nós e uma coleção E de arestas, no qual cada aresta é um par de nós do conjunto N ;
- Dados quaisquer dois nós x e y , em geral há muitos caminhos entre os dois, e cada caminho tem um custo; um ou mais desse caminhos é um caminho de **menor custo**.

Fundamentos



Qual o caminho de menor custo entre os nós u e z ?

Classificação de Algoritmos de Roteamento

● Algoritmos de roteamento global

- Calcula o caminho de menor custo entre uma origem e um destino usando **conhecimento completo** e **global** sobre a rede;
- Um algoritmo global tem informação completa sobre conectividade e custo de enlaces;
- São com frequência denominados **algoritmos de estado de enlace**.

● Algoritmos de roteamento descentralizados

- O cálculo do caminho de menor custo é realizado de modo **iterativo** e **distribuído**;
- Cada nó começa sabendo apenas os custos dos enlaces diretamente ligados a eles;
- Por meio de um processo iterativo de cálculo e de troca de informações com seus nós vizinhos, um nó gradualmente calcula o caminho de menor custo até um destino ou conjunto de destinos.

Classificação de Algoritmos de Roteamento

- **Algoritmos de roteamento estáticos**

- As rotas mudam **muito devagar** ao longo do tempo;
- Muitas vezes as rotas mudam como resultado de intervenção humana, por exemplo uma pessoa editando manualmente a tabela de repasse do roteador.

- **Algoritmos de roteamento dinâmicos**

- Mudam os caminhos de roteamento à medida que mudam as **cargas de tráfego** ou a **topologia** de rede;
- Pode ser rodado **periodicamente** ou como **reação direta** a mudanças de topologia ou de custo dos enlaces;
- São mais susceptíveis a **problemas** como loops de roteamento e oscilação em rotas.

Classificação de Algoritmos de Roteamento

- **Algoritmos de roteamento sensível à carga**
 - Custos de enlace **variam dinamicamente** para refletir o nível corrente de **congestionamento** no enlace subjacente;
 - Se houver um alto custo associado com um enlace que está congestionado, o algoritmo tenderá a escolher rotas que **evitem** esse enlace.
- **Algoritmos de roteamento insensíveis à carga**
 - O custo de um enlace **não reflete explicitamente** seu nível de congestionamento atual;
 - Tipo de algoritmos de roteamento utilizados na **Internet** hoje, por exemplo RIP, OSPF e BGP.

O algoritmo de roteamento LS

- A topologia de rede e todos os custos de enlace são conhecidos;
- Isso frequentemente é conseguido com um algoritmo de **transmissão por difusão de estado de enlace**;
- O resultado da transmissão por difusão dos nós é que todos os nós têm uma **visão idêntica e completa** da rede;
- Cada um pode, então, rodar o algoritmo de estado de enlace e calcular o **mesmo conjunto** de caminhos de menor custo como todos os outros nós.

O algoritmo de roteamento LS

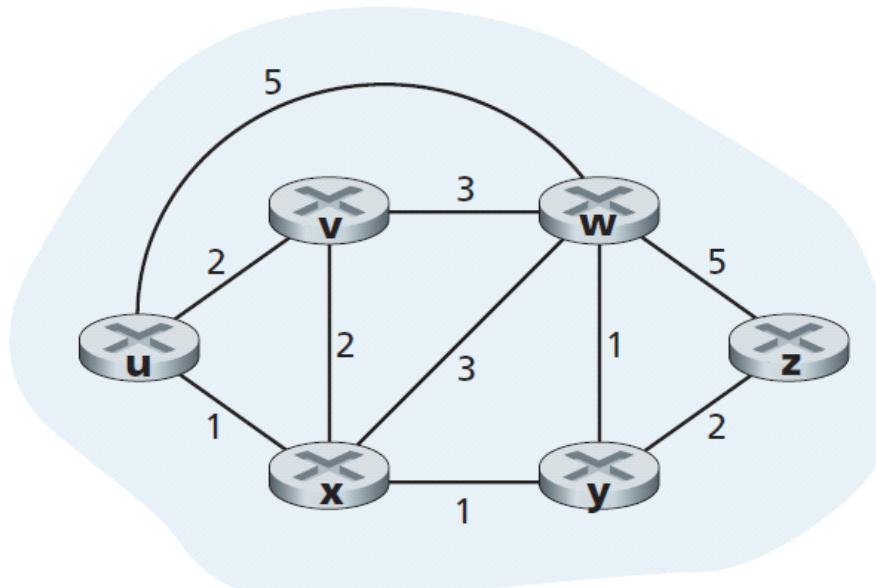
- **Algoritmo de Dijkstra;**
- $D(v)$: custo do caminho de menor custo entre o nó de origem e o destino v até essa iteração do algoritmo;
- $p(v)$: nó anterior (vizinho de v) ao longo do caminho de menor custo corrente desde a origem até v ;
- N' : subconjunto de nós; v pertence a N' se o caminho de menor custo entre a origem e v for inequivocamente conhecido.

Entrada: Topologia da rede e custos de enlace

Saída: Caminho de menor custo entre um nó de origem u e todos os outros nós da rede

- 1: $N' = \{u\}$;
- 2: **para** todos os nós v **faça**
- 3: **se** v for um vizinho de u **então**
- 4: $D(v) = c(u, v)$;
- 5: **senão**
- 6: $D(v) = \infty$;
- 7: **fim-se**;
- 8: **fim-para**;
- 9: **repita**
- 10: Encontre w não em N' tal que $D(w)$ é um mínimo;
- 11: Adicione w a N' ;
- 12: **para** cada vizinho v de w e não em N' **faça**
- 13: $D(v) = \min\{D(v), D(w) + c(w, v)\}$;
- 14: **fim-para**;
- 15: **até** $N' = N$

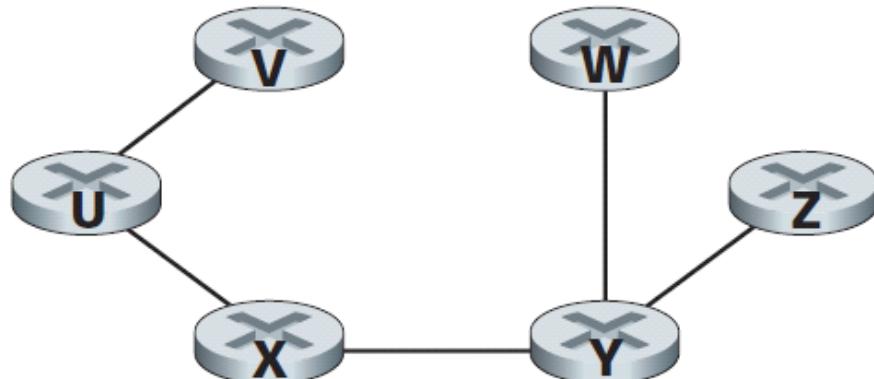
O algoritmo de roteamento LS



step	N'	$D(v), p(v)$	$D(w), p(w)$	$D(x), p(x)$	$D(y), p(y)$	$D(z), p(z)$
0	u	2,u	5,u	1,u	∞	∞
1	ux	2,u	4,x		2,x	∞
2	uxy	2,u	3,y			4,y
3	uxyv		3,y			4,y
4	uxyvw					4,y
5	uxyvwz					

O algoritmo de roteamento LS

step	N'	$D(v), p(v)$	$D(w), p(w)$	$D(x), p(x)$	$D(y), p(y)$	$D(z), p(z)$
0	u	2,u	5,u	1,u	∞	∞
1	ux	2,u	4,x		2,x	∞
2	uxy	2,u	3,y			4,y
3	uxyv		3,y			4,y
4	uxyvw					4,y
5	uxyvwz					



Destination	Link
v	(u, v)
w	(u, x)
x	(u, x)
y	(u, x)
z	(u, x)

O algoritmo de roteamento DV

- O algoritmo de **vetor de distâncias (distance-vector - DV)** é iterativo, assíncrono e distribuído;
- **Distribuído**
 - Cada nó recebe alguma informação de um ou mais vizinhos **diretamente ligados** a ele, realiza cálculos e, em seguida, distribui os resultados de seus cálculos para seus vizinhos.
- **Iterativo**
 - O processo continua até que mais nenhuma informação seja trocada entre vizinhos;
 - É um algoritmo **finito**: não há nenhum sinal de que o cálculo deve parar; ele apenas pára.
- **Assíncrono**
 - Não requer que todos os nós rodem simultaneamente.

Equação de Bellman-Ford

- Seja $d_x(y)$ o custo do caminho de menor custo do nó x ao nó y . Então, os menores custos estão relacionados por:

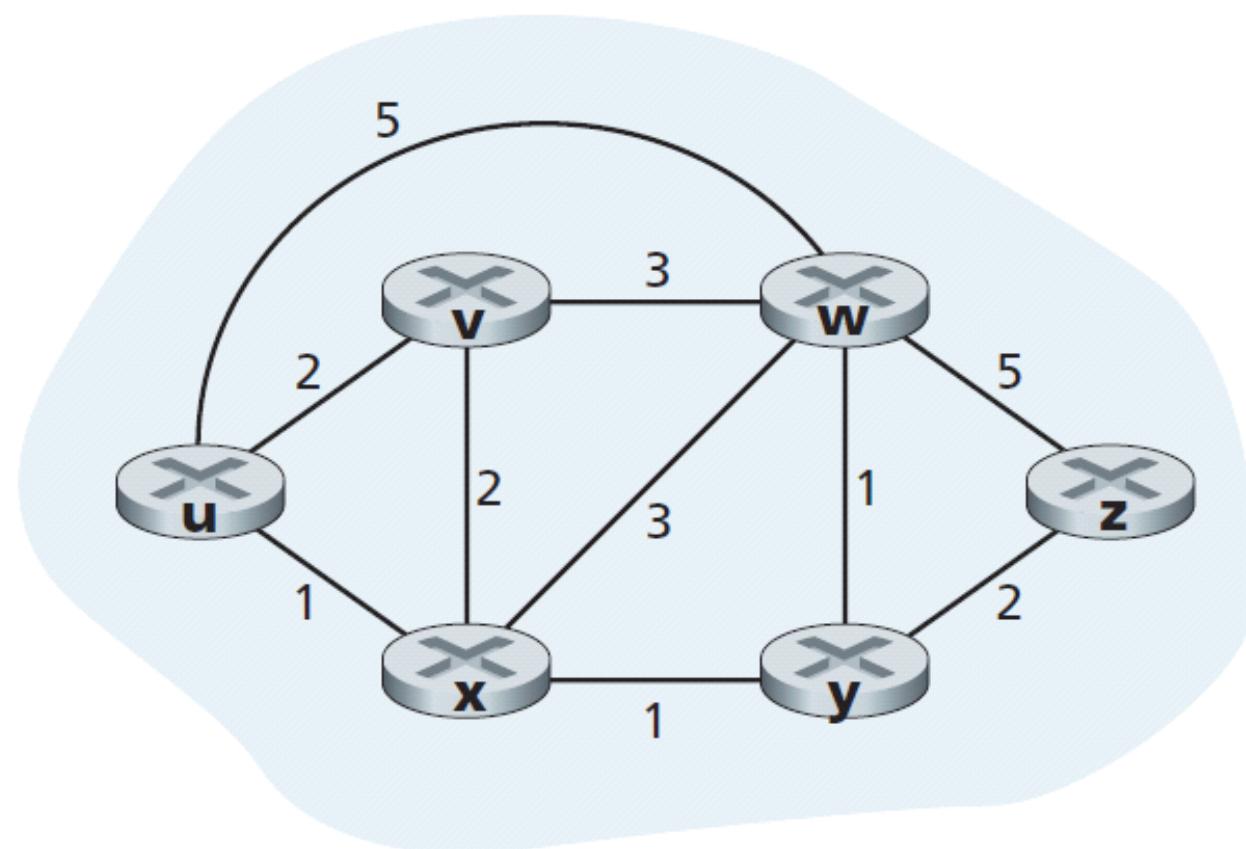
$$d_x(y) = \min_v \{c(x, v) + d_v(y)\}, \quad (1)$$

sendo o \min_v da equação calculado para todos os vizinhos de x .

- Se após transitarmos de x para v tomarmos o caminho de menor custo de v a y , o custo do caminho será $c(x, v) + d_v(y)$;
- O caminho de menor custo de x a y é o mínimo do conjunto dos $c(x, v) + d_v(y)$ calculados para todos os vizinhos v .

Equação de Bellman-Ford

$$d_x(y) = \min_v \{c(x, v) + d_v(y)\} \quad (2)$$



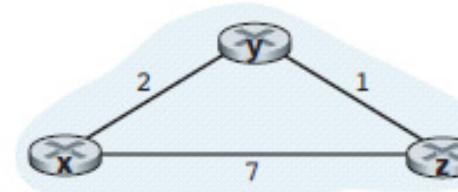
O algoritmo de roteamento DV

- Cada nó x mantém os seguintes dados:
 - Para cada vizinho direto v , o custo $c(x, v)$ de x até v ;
 - O vetor de distâncias do nó x , $D_x = [D_x(y) : y \in N]$, contendo a estimativa de x para seus custos até todos os destinos $y \in N$;
 - Os vetores de distâncias de seus vizinhos, $D_v = [D_v(y) : y \in N]$ para cada vizinho v de x .
- Cada nó envia a intervalos regulares uma cópia do seu vetor de distâncias a cada um de seus vizinhos;
- Após algumas trocas de mensagens, cada estimativa de custo $D_x(y)$ convergirá para $d_x(y)$.

O algoritmo de roteamento DV

- 1: **para** todos os destinos $y \in N$ **faça**
- 2: $D_x(y) = c(x, y);$
- 3: **fim-pará;**
- 4: **para** cada vizinho w **faça**
- 5: $D_w(y) = ?$ para todos os destinos $y \in N;$
- 6: **fim-pará;**
- 7: **para** cada vizinho w **faça**
- 8: Envia vetor de distâncias $D_x = [D_x(y) : y \in N]$ para $w;$
- 9: **fim-pará;**
- 10: **repita**
- 11: Espere até que ocorra uma mudança no custo do enlace ao vizinho w ou até a recepção de um vetor de distâncias do vizinho $w;$
- 12: **para** cada $y \in N$ **faça**
- 13: $D_x(y) = \min_v \{c(x, v) + D_v(y)\};$
- 14: **fim-pará;**
- 15: se $D_x(y)$ mudou para algum destino y **então**
- 16: Envia vetor de distâncias $D_x = [D_x(y) : y \in N]$ para todos os vizinhos;
- 17: **fim-se;**
- 18: **até** para sempre

O algoritmo de roteamento DV



Node x table

		cost to		
		x	y	z
from	x	0	2	7
	y	∞	∞	∞
from		x	y	z
from	y	0	2	3
	z	2	0	1
from		x	y	z
from	x	0	2	3
	y	2	0	1
from		x	y	z
from	z	3	1	0

Node y table

		cost to		
		x	y	z
from	x	∞	∞	∞
	y	2	0	1
from		x	y	z
from	y	0	2	7
	z	2	0	1
from		x	y	z
from	x	0	2	3
	y	2	0	1
from		x	y	z
from	z	3	1	0

Node z table

		cost to		
		x	y	z
from	x	∞	∞	∞
	y	∞	∞	∞
from		x	y	z
from	x	0	2	7
	y	2	0	1
from		x	y	z
from	x	0	2	3
	y	2	0	1
from		x	y	z
from	z	3	1	0

Comparação entre os algoritmos de roteamento DV e LS

- **Algoritmo DV:**

- Cada nó fala **somente** com os vizinhos diretamente conectados a ele;
- Cada nó informa a esses vizinhos as estimativas de menor custo entre ele mesmo e **todos** os outros nós da rede (isto é, todos os que ele sabe que existem).

- **Algoritmo LS:**

- Cada nó fala com **todos** os outros nós (por difusão);
- Cada nó informa **somente** os custos dos enlaces diretamente ligados a ele.

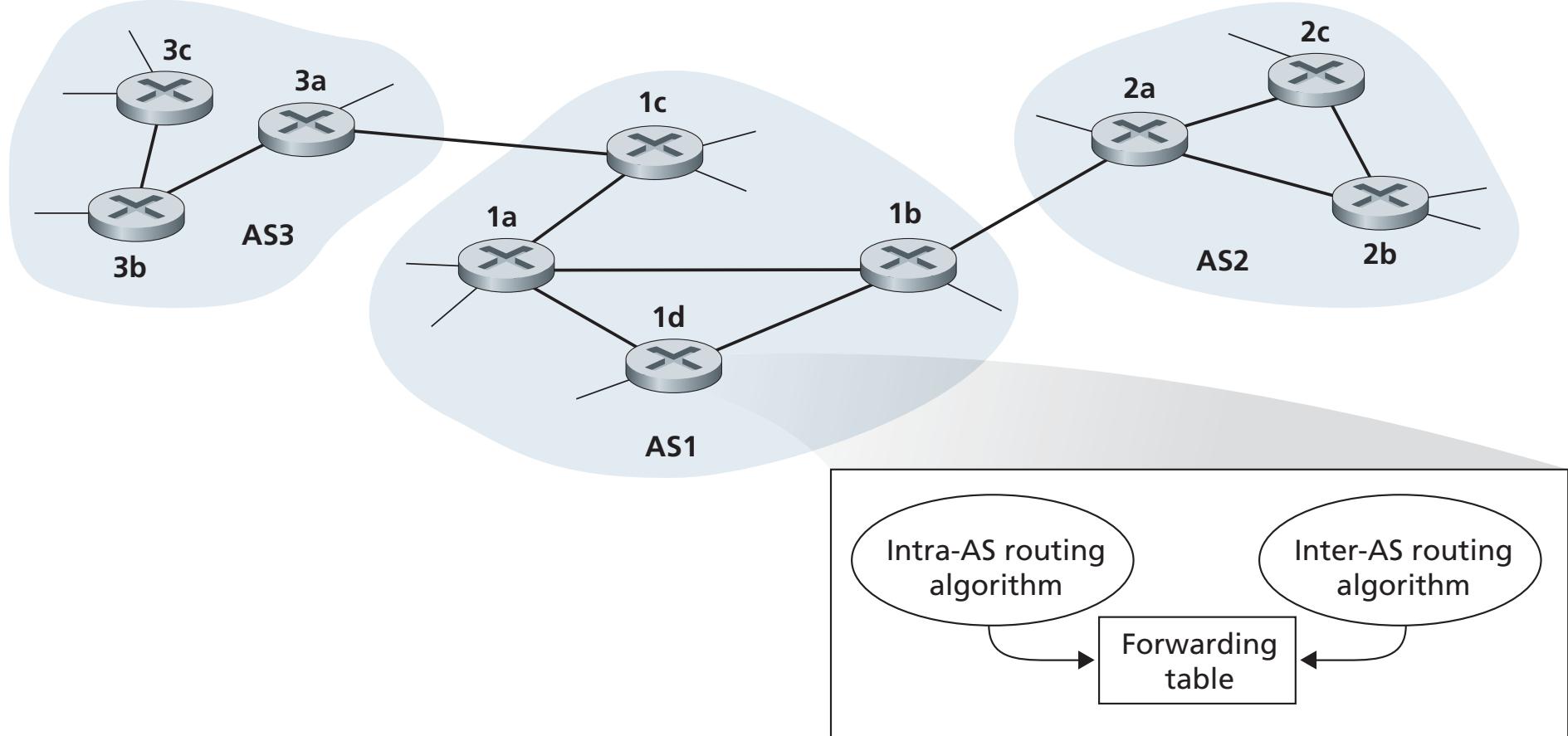
Roteamento Hierárquico

- A visão de uma rede como um conjunto homogêneo de roteadores, todos rodando o mesmo algoritmo de roteamento, é simplista, por dois motivos principais:
 - Escala;
 - Autonomia administrativa.
- Esses problemas podem ser resolvidos agrupando roteadores em **Sistemas Autônomos (Autonomous Systems - ASs)**;
- ASs diferentes se conectam através dos **roteadores de borda** (*gateway routers*).

Sistema Autônomo

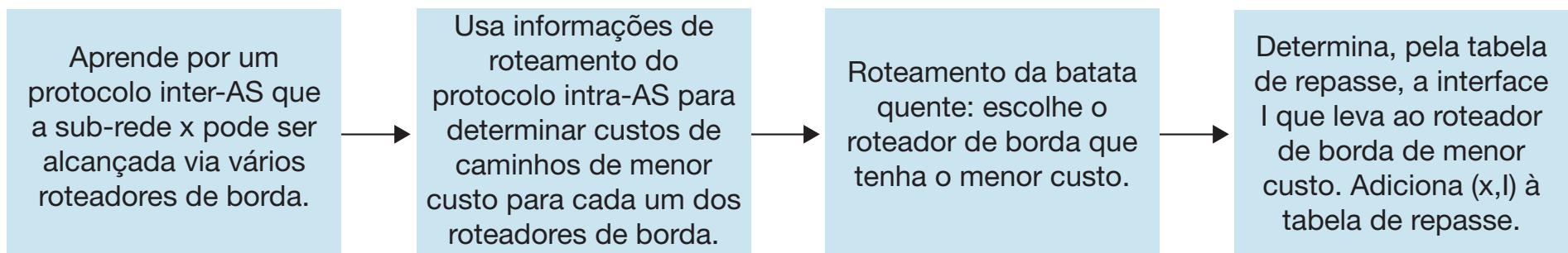
Grupo de roteadores sob o mesmo domínio administrativo, onde é rodado o mesmo algoritmo de roteamento.

Roteamento Hierárquico



Roteamento Hierárquico

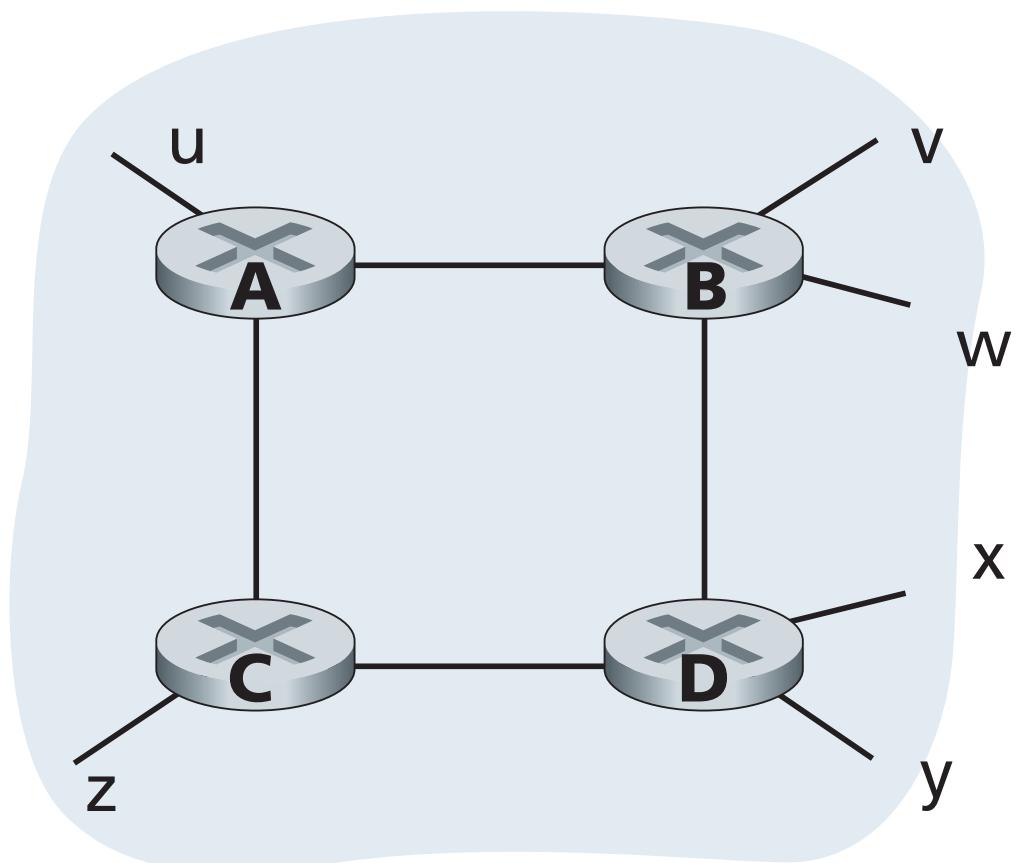
- **Roteamento da batata quente:** o AS se livra do pacote (a batata quente) o mais depressa possível (mais precisamente, com o menor custo possível).
- Etapas da adição de um destino fora do AS à tabela de repasse de um roteador:



Protocolo RIP

- **Protocolo de Informações de Roteamento** (RIP, *Routing Information Protocol*);
- Um dos primeiros protocolos de roteamento intra-AS da Internet, e seu uso é ainda muito disseminado;
- Muito parecido com o protocolo de roteamento DV (*Distance Vector*);
- Protocolo de vetor de distâncias que usa contagem de saltos como métrica de custo (cada enlace tem um custo 1);
- Os custos são definidos entre um roteador de origem até uma sub-rede de destino, e não entre pares de roteadores.

Protocolo RIP



Destination	Hops
u	1
v	2
w	2
x	3
y	3
z	2

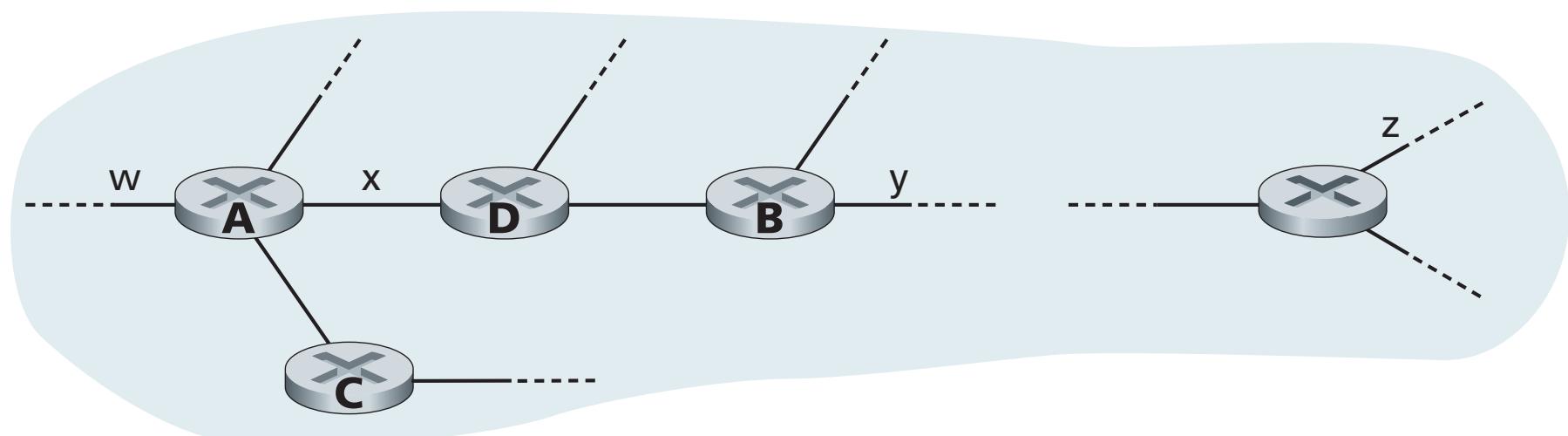
Protocolo RIP

- O uso do RIP é restrinido a sistemas autônomos que têm menos de 15 saltos de diâmetro (custo máximo do caminho = 15);
- Atualizações de roteamento são trocadas entre vizinhos aproximadamente a cada 30 s, usando uma **mensagem de resposta RIP**, também conhecida como **anúncio RIP**;
- Se um roteador não ouvir nada de seu vizinho ao menos uma vez a cada 180 s, esse vizinho será considerado impossível de ser alcançado dali em diante;
- O RIP é um protocolo de aplicação que usa o UDP (porta 520) e o IP para implementar funcionalidade da camada de rede (algoritmo de roteamento);
- Cada roteador mantém uma tabela RIP denominada **tabela de roteamento**. A tabela de roteamento de um roteador inclui o vetor de distâncias e a tabela de repasse desse roteador.

Protocolo RIP

Tabela de roteamento do roteador D antes de receber anúncio de A

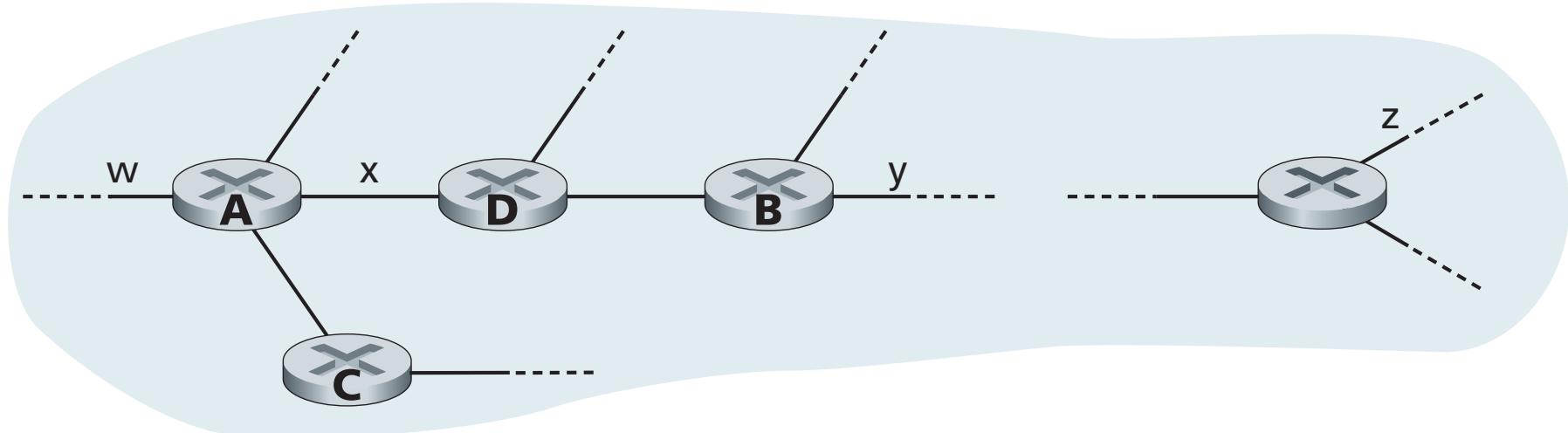
Destination Subnet	Next Router	Number of Hops to Destination
w	A	2
y	B	2
z	B	7
x	—	1
....



Protocolo RIP

Anúncio vindo do roteador A

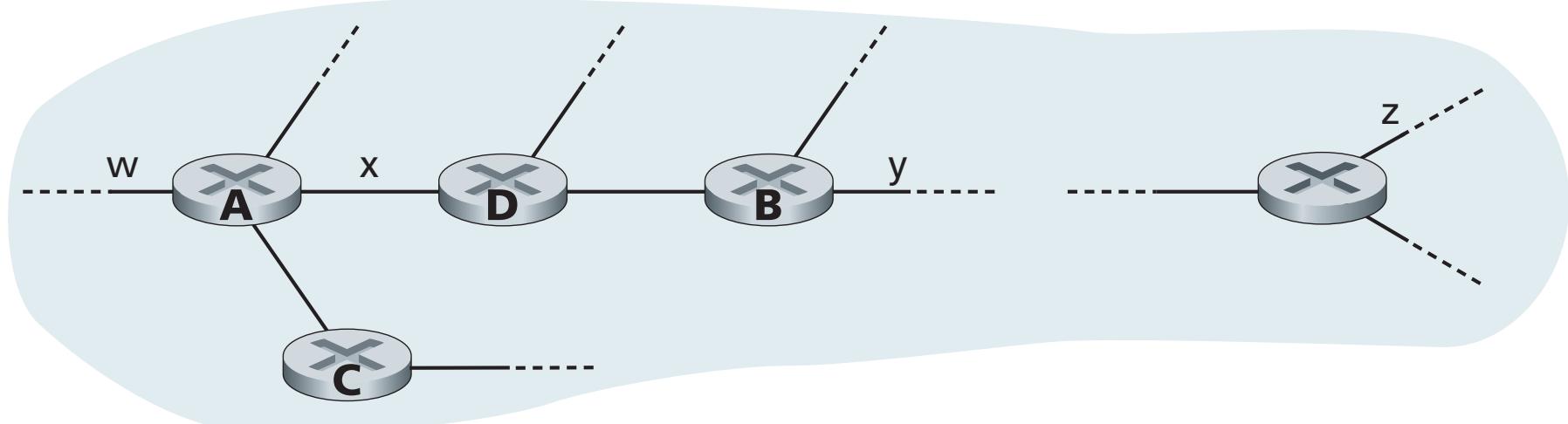
Destination Subnet	Next Router	Number of Hops to Destination
z	C	4
w	—	1
x	—	1
...



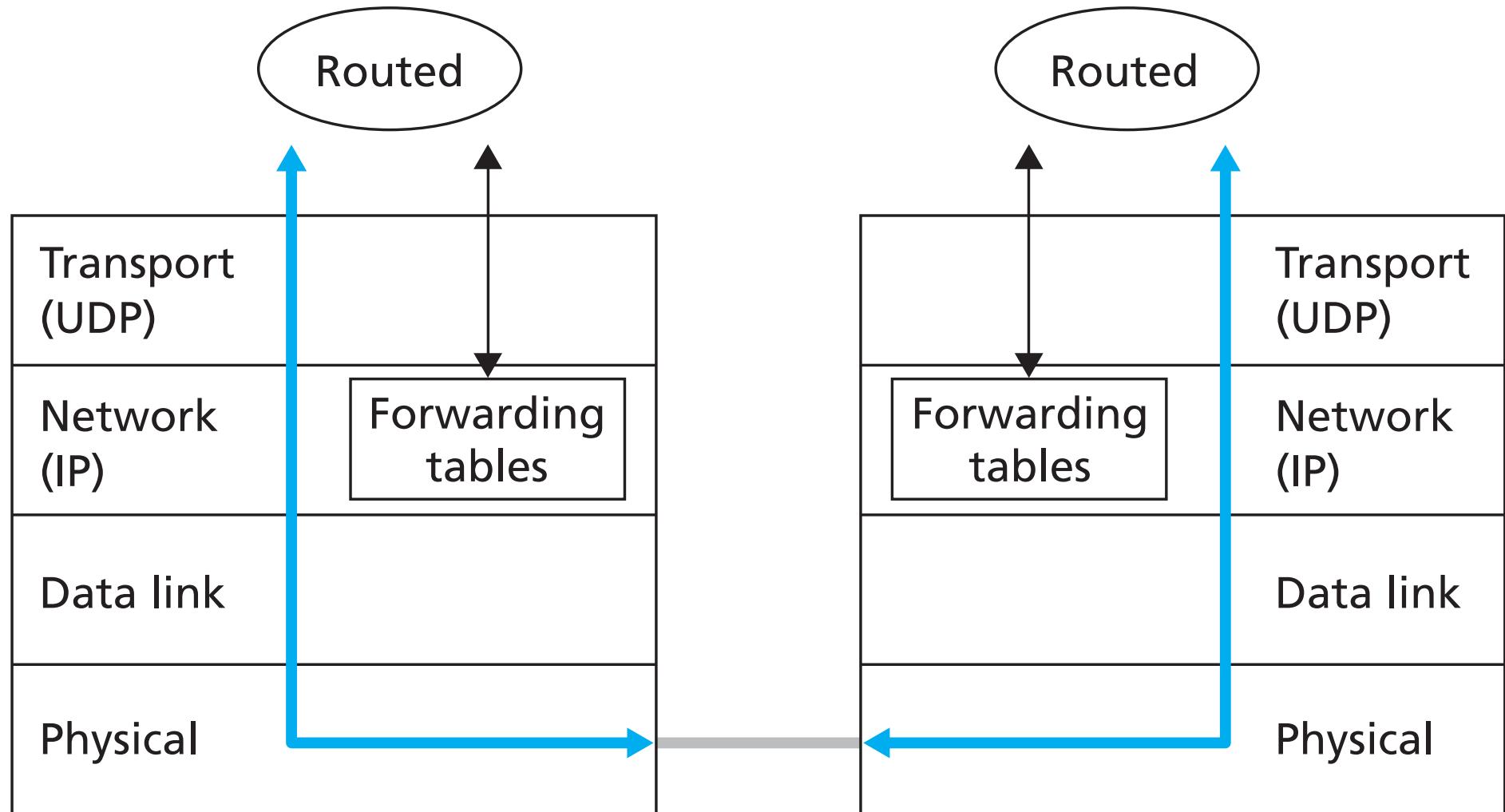
Protocolo RIP

Tabela de roteamento do roteador D após ter recebido anúncio de A

Destination Subnet	Next Router	Number of Hops to Destination
w	A	2
y	B	2
z	A	5
....



Protocolo RIP



Protocolo OSPF

- O OSPF em geral é utilizado em ISPs de nível mais alto, enquanto o RIP é utilizado em ISPs de nível mais baixo e redes corporativas;
- O OSPF foi concebido como sucessor do RIP, portanto possui uma série de características avançadas;
- É um protocolo de estado de enlace (LS - *Link State*) que usa inundação de informação de estado de enlace e um algoritmo de caminho de menor custo de Dijkstra;
- Com o OSPF, um roteador constrói um mapa topológico completo (grafo) de todo o AS.

Protocolo OSPF

- O roteador então roda localmente o algoritmo de Dijkstra para determinar uma árvore de caminho mais curto para todas as sub-redes do AS, sendo ele próprio o nó raiz;
- Os custos de enlaces individuais são configurados pelo administrador da rede.
Exemplos:
 - **Custo de enlace = 1:** roteamento com o mínimo de saltos;
 - **Custo inversamente proporcional à capacidade do enlace:** roteamento que desencoraja o tráfego a usar enlaces de largura de banda baixa.
- Um roteador transmite informações de estado de enlace sempre que este mude, ou periodicamente a cada 30 min;
- OSPF -> IP (código de protocolo superior 89): o próprio OSPF tem que implementar funcionalidades de transferência confiável e transmissão por difusão.

Protocolo OSPF

- Alguns avanços incorporados ao OSPF:
 - **Segurança:** trocas entre roteadores podem ser autenticadas;
 - **Caminhos múltiplos com o mesmo custo:** não é preciso escolher um único caminho para carregar todo o tráfego até o destino quando existe vários de igual custo;
 - **Suporte integrado para roteamento individual (unicast) e em grupo (multicast):** o Multicast OSPF (MOSPF) fornece extensões simples ao OSPF para prover roteamento em grupo;
 - **Suporte para hierarquia dentro de um único domínio de roteamento:** capacidade de estruturar em hierarquia (áreas) um sistema autônomo.

Protocolo BGP

- **Protocolo de Roteador de Borda** - *Border Gateway Protocol* (BGP);
- Padrão para roteamento entre ASs na Internet hoje; determina caminhos para pares origem-destino que abrangem vários ASs;
- O BGP oferece a cada AS meios de:
 - Obter de ASs vizinhos informações de ancançabilidade de sub-redes;
 - Propagar a informação de ancançabilidade a todos os roteadores internos ao AS;
 - Determinar rotas boas para sub-redes com base na informação de ancançabilidade e na política do AS.
- O BGP garante que cada sub-rede anuncie sua existência ao restante da Internet e não fique sozinha e desconhecida.

Protocolo BGP

- O BGP é de altíssima complexidade e é um protocolo crítico para a Internet, pois é ele quem agrupa tudo;
- Pares de roteadores trocam informações de roteamento por conexões TCP (porta 179): sessões BGP externas (eBGP) e internas (iBGP);
- Os destinos não são hospedeiros, mas prefixos cíderizados, onde cada prefixo representa uma sub-rede ou um conjunto delas.

Protocolo BGP

