

de grande porte em domínios administrativos independentes denominados sistemas autônomos (ASs). Cada AS direciona independentemente seus datagramas pelo sistema, assim como cada país distribui correspondência postal pelo seu território. Aprendemos como abordagens centralizadas, descentralizadas e hierárquicas estão incorporadas nos principais protocolos de roteamento da Internet: RIP, OSPF e BGP. Concluimos nosso estudo de algoritmos de roteamento considerando o roteamento por difusão (*broadcast*) e para um grupo (*multicast*).

Agora que concluimos nosso estudo da camada de rede, nossa jornada segue rumo a um nível mais baixo da pilha de protocolos, isto é, à camada de enlace. Como a camada de rede, a camada de enlace é também parte do núcleo da rede. Mas veremos no próximo capítulo que a camada de enlace tem a tarefa muito mais localizada de movimentar pacotes entre nós no mesmo enlace ou rede local. Embora essa tarefa possa à primeira vista parecer trivial quando comparada às tarefas da camada de rede, veremos que a camada de enlace envolve uma série de questões importantes e fascinantes que podem nos manter ocupados por muito tempo.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO E PERGUNTAS

Questões de revisão do Capítulo 4

SEÇÕES 4.1–4.2

- R1. Vamos rever um pouco da terminologia usada neste livro. Lembre-se de que o nome de um pacote na camada de transporte é *segmento* e que o nome de um pacote na camada de enlace é *quadro*. Qual é o nome de um pacote de camada de rede? Lembre-se de que roteadores e comutadores da camada de enlace são denominados *comutadores de pacotes*. Qual é a diferença fundamental entre um roteador e um comutador da camada de enlace? Lembre-se de que usamos o termo *roteadores* tanto para redes de datagramas quanto para redes de CVs.
- R2. Quais são as duas funções mais importantes de camada de rede em uma rede de datagramas? Quais são as três funções mais importantes de camada de rede em uma rede com circuitos virtuais?
- R3. Qual é a diferença entre rotear e repassar?
- R4. Os roteadores nas redes de datagramas e nas redes de circuitos virtuais usam tabelas de repasse? Caso usem, descreva as tabelas de repasse para ambas as classes de redes.
- R5. Descreva alguns serviços hipotéticos que a camada de rede poderia oferecer a um pacote individual. Faça o mesmo para um fluxo de pacotes. Alguns dos serviços hipotéticos que você descreveu são fornecidos pela camada de rede da Internet? Alguns são fornecidos pelo modelo de serviço ATM CBR? Alguns são fornecidos pelo modelo de serviço ATM ABR?
- R6. Cite algumas aplicações que poderiam se beneficiar do modelo de serviço ATM CBR.

SEÇÃO 4.3

- R7. Discuta por que cada porta de entrada em um roteador de alta velocidade armazena uma cópia de sombra da tabela de repasse.
- R8. Três tipos de elementos de comutação são discutidos na Seção 4.3. Cite e descreva brevemente cada tipo. Qual (se houver algum) pode enviar múltiplos pacotes em paralelo pelo elemento?
- R9. Descreva como pode ocorrer perda de pacotes em portas de entrada. Descreva como a perda de pacotes pode ser eliminada em portas de entrada (sem usar buffers infinitos).
- R10. Descreva como pode ocorrer perda de pacotes em portas de saída. Essa perda poderia ser impedida aumentando a velocidade de fábrica do comutador?
- R11. O que é bloqueio HOL? Ele ocorre em portas de saída ou em portas de entrada?

SEÇÃO 4.4

- R12. Roteadores têm endereços IP? Em caso positivo, quantos?
- R13. Qual é o equivalente binário de 32 bits para o endereço IP 223.1.3.27?
- R14. Visite um hospedeiro que usa DHCP para obter seu endereço IP, máscara de rede, roteador de *default* e endereço IP de seu servidor DNS local. Faça uma lista desses valores.
- R15. Suponha que haja três roteadores entre os hospedeiros de origem e de destino. Ignorando a fragmentação, um datagrama IP enviado do hospedeiro de origem até o hospedeiro de destino transitará por quantas interfaces? Quantas tabelas de repasse serão indexadas para deslocar o datagrama desde a origem até o destino?
- R16. Suponha que uma aplicação gere blocos de 40 bytes de dados a cada 20 ms e que cada bloco seja encapsulado em um segmento TCP e, em seguida, em um datagrama IP. Que porcentagem de cada datagrama será sobrecarga e que porcentagem será dados de aplicação?
- R17. Suponha que o hospedeiro A envie ao hospedeiro B um segmento TCP encapsulado em um datagrama IP. Quando o hospedeiro B recebe o datagrama, como sua camada de rede sabe que deve passar o segmento (isto é, a carga útil do datagrama) para TCP e não para UDP ou qualquer outra coisa?
- R18. Suponha que você compre um roteador sem fio e o conecte a seu modem a cabo. Suponha também que seu ISP designe dinamicamente um endereço IP a seu dispositivo conectado (isto é, seu roteador sem fio). Suponha ainda que você tenha cinco PCs em casa e que usa 802.11 para conectá-los sem fio ao roteador. Como são designados endereços IP aos cinco PCs? O roteador sem fio usa NAT? Por quê?
- R19. Compare os campos de cabeçalho do IPv4 e do IPv6 e aponte suas diferenças. Eles têm algum campo em comum?
- R20. Afirma-se que, quando o IPv6 implementa túneis via roteadores IPv4, o IPv6 trata os túneis IPv4 como protocolos de camada de enlace. Você concorda com essa afirmação? Explique sua resposta.

SEÇÃO 4.5

- R21. Compare e aponte as diferenças entre os algoritmos de roteamento de estado de enlace e por vetor de distâncias.
- R22. Discuta como a organização hierárquica da Internet possibilitou estender seu alcance para milhões de usuários.
- R23. É necessário que todo sistema autônomo use o mesmo algoritmo de roteamento intra-AS? Justifique sua resposta.

SEÇÃO 4.6

- R24. Considere a Figura 4.37. Começando com a tabela original em *D*, suponha que *D* receba de *A* o seguinte anúncio:

Sub-rede de destino	Roteador seguinte	Número de saltos até o destino
z	C	10
w	—	1
x	—	1
....

A tabela em *D* mudará? Em caso afirmativo, como?

- R25. Compare os anúncios utilizados por RIP e OSPF e aponte suas diferenças.
- R26. Complete: anúncios RIP em geral anunciam o número de saltos até vários destinos. Atualizações BGP, por outro lado, anunciam _____ aos diversos destinos.

- R27. Por que são usados protocolos inter-AS e intra-AS diferentes na Internet?
- R28. Por que considerações políticas são tão importantes para protocolos intra-AS, como o OSPF e o RIP, quanto para um protocolo de roteamento inter-AS, como BGP?
- R29. Defina e aponte as diferenças entre os seguintes termos: *sub-rede*, *prefixo* e *rota BGP*.
- R30. Como o BGP usa o atributo NEXT-HOP? Como ele usa o atributo AS-PATH?
- R31. Descreva como um administrador de rede de um ISP de nível superior pode executar uma política ao configurar o BGP.

SEÇÃO 4.7

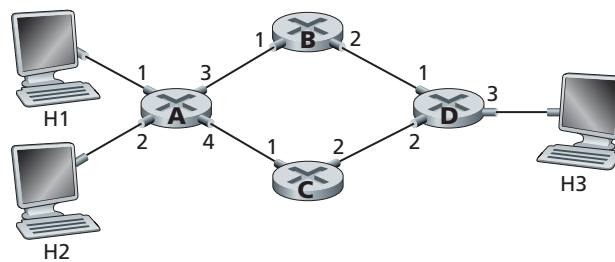
- R32. Cite uma diferença importante entre a execução da abstração de difusão por meio de múltiplas transmissões individuais e a de uma única difusão com suporte da rede (roteador).
- R33. Para cada uma das três abordagens gerais que estudamos para a comunicação por difusão (inundação não controlada, inundação controlada e difusão por *spanning tree*), as seguintes declarações são verdadeiras ou falsas? Você pode considerar que não há perda de pacotes por estouro de buffers e que todos os pacotes são entregues em um enlace na ordem em que foram enviados.
 - a. Um nó pode receber várias cópias do mesmo pacote.
 - b. Um nó pode repassar várias cópias de um pacote pelo mesmo enlace de saída.
- R34. Quando um hospedeiro se junta a um grupo, ele deve mudar seu endereço IP para o endereço do grupo ao qual está se juntando?
- R35. Quais são os papéis desempenhados pelo protocolo IGMP e por um protocolo de roteamento para um grupo de longa distância?
- R36. Qual é a diferença entre uma árvore compartilhada por um grupo e uma árvore de origem no contexto do roteamento para um grupo?

PROBLEMAS

- P1. Nesta questão, consideramos alguns dos prós e dos contras de redes de circuitos virtuais e redes de datagramas.
 - a. Suponha que roteadores foram submetidos a condições que poderiam levá-los a falhar com muita frequência. Isso seria um argumento em favor de um CV ou arquitetura de datagrama? Por quê?
 - b. Suponha que um nó de origem e um de destino solicitem que uma quantidade fixa de capacidade esteja sempre disponível em todos os roteadores no caminho entre o nó de origem e de destino, para o uso exclusivo de fluxo de tráfego entre esse nós. Essas ações favorecem uma arquitetura de circuitos virtuais ou de datagramas? Por quê?
 - c. Suponha que os enlaces e os roteadores da rede nunca falhem e que os caminhos de roteamento usados entre as duplas de origem/destino permaneçam constantes. Nesse cenário, a arquitetura de circuitos virtuais ou de datagramas possui mais sobrecarga de tráfego de controle? Por quê?
- P2. Considere uma rede de circuitos virtuais. Suponha que o número do CV é um campo de 8 bits.
 - a. Qual é o número máximo de circuitos virtuais que pode ser transportado por um enlace?
 - b. Suponha que um nó central determine caminhos e números de CVs no estabelecimento da conexão. Suponha que o mesmo número de CV seja usado em cada enlace no caminho do CV. Descreva como o nó central poderia determinar o número do CV no estabelecimento da conexão. É possível haver um número de CVs ativos menor do que o máximo determinado na parte (a) e, mesmo assim, não haver nenhum número de CV livre em comum?
 - c. Suponha que sejam permitidos números diferentes de CVs em cada enlace no caminho de um CV. Durante o estabelecimento da conexão, após a determinação de um caminho fim a fim, descreva como

os enlaces podem escolher seus números de CVs e configurar suas tabelas de repasse de uma maneira descentralizada, sem depender de um nó central.

- P3. Uma tabela de repasse bem básica em uma rede de CVs tem quatro colunas. O que significam os valores em cada uma dessas colunas? Uma tabela de repasse bem básica em uma rede de datagramas tem duas colunas. O que significam os valores em cada coluna?
- P4. Considere a rede a seguir.
- Suponha que seja uma rede de datagramas. Mostre a tabela de repasse no roteador A, de modo que todo o tráfego destinado ao hospedeiro H3 seja encaminhado pela interface 3.
 - Suponha que esta rede seja uma rede de datagramas. Você consegue compor uma tabela de repasse no roteador A, de modo que todo o tráfego de H1 destinado ao hospedeiro H3 seja encaminhado pela interface 3, enquanto todo o tráfego de H2 destinado ao hospedeiro H3 seja encaminhado pela interface 4? (Dica: esta é uma pergunta capciosa.)
 - Suponha, agora, que esta rede seja uma rede de circuitos virtuais e que haja uma chamada em andamento entre H1 e H3, e outra chamada em andamento entre H2 e H3. Elabore uma tabela de repasse no roteador A, de modo que todo o tráfego de H1 destinado ao hospedeiro H3 seja encaminhado pela interface 3, enquanto todo o tráfego de H2 destinado ao hospedeiro H3 seja encaminhado pela interface 4.
 - Admitindo o mesmo cenário de (c), elabore tabelas de repasse nos nós B, C e D.



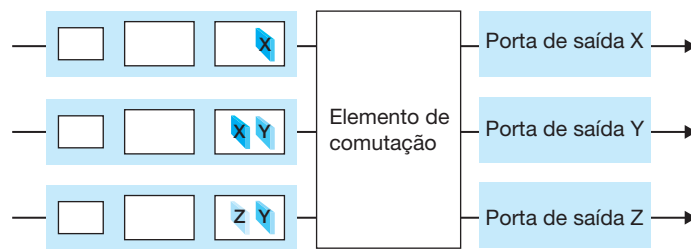
- P5. Considere uma rede de circuito virtual cujo campo de número de CV tenha 2 bits. Suponha que a rede queira estabelecer um circuito virtual por quatro enlaces: A, B, C e D. Imagine que, nesse momento, cada enlace esteja carregando dois outros circuitos virtuais e que os números desses outros CVs são os seguintes:

Enlace A	Enlace B	Enlace C	Enlace D
00	01	10	11
01	10	11	00

Ao responder às perguntas a seguir, tenha em mente que cada um dos CVs pode estar atravessando apenas um dos quatro enlaces.

- Se cada CV tiver de usar o mesmo número de CV em todos os enlaces ao longo de seu caminho, qual número de CV poderia ser designado ao novo CV?
 - Se fosse permitido que cada CV tivesse um número de CV diferente nos diferentes enlaces em seu caminho (de modo que a tabela de repasse tenha de realizar tradução de número de CV), quantas combinações diferentes de quatro números de CVs (um para cada enlace) poderiam ser usadas?
- P6. No texto usamos o termo *serviço orientado para conexão* para descrever a camada de transporte e *serviço de conexão* para a camada de rede. Por que essa sutileza na terminologia?
- P7. Suponha que dois pacotes cheguem a duas portas de entrada diferentes de um roteador exatamente ao mesmo tempo. Suponha também que não haja outros pacotes em lugar algum no roteador.
- Suponha que os dois pacotes devam ser repassados a duas portas de saída *diferentes*. É possível repassar os dois pacotes pelo elemento de comutação ao mesmo tempo quando o elemento usa um *barramento compartilhado*?

- b. Imagine que os dois pacotes devam ser repassados a duas portas de saída *diferentes*. É possível repassar os dois pacotes pelo elemento de comutação ao mesmo tempo quando o elemento usa o tipo *crossbar*?
- c. Considere que os dois pacotes devam ser repassados para a *mesma* porta de saída. É possível repassar os dois pacotes pelo elemento de comutação ao mesmo tempo quando o elemento usa um tipo *crossbar*?
- P8. Na Seção 4.3, observamos que o atraso máximo de fila é $(n-1)D$ se o elemento de comutação for n vezes mais rápido do que as taxas das linhas de entrada. Suponha que todos os pacotes tenham o mesmo comprimento, n pacotes chegam ao mesmo tempo às n portas de entrada e todos os n pacotes querem ser encaminhados para *diferentes* portas de saída. Qual é o atraso máximo para um pacote para (a) a memória, (b) o barramento e (c) os elementos de comutação do tipo *crossbar*?
- P9. Considere o comutador a seguir. Suponha que todos os datagramas possuam o mesmo comprimento, que o comutador opere de uma maneira segmentada e síncrona, e que em um intervalo de tempo (*time slot*) um datagrama possa ser transferido de uma porta de entrada para uma porta de saída. A malha de comutação é um *crossbar* no qual, no máximo, um datagrama possa ser transferido para uma determinada porta de saída em um intervalo de tempo, mas portas de saída diferentes podem receber datagramas de portas de entrada diferentes em um único intervalo de tempo. Qual é o número mínimo de intervalos de tempo necessário para transferir os pacotes mostrados das portas de entrada para suas portas de saída, admitindo qualquer ordem de escalonamento de fila que você quiser (ou seja, não é necessário o bloqueio HOL)? Qual é o maior número de intervalos necessários, admitindo uma ordem de escalonamento de pior caso e que uma fila de entrada não vazia nunca fica ociosa?



- P10. Considere uma rede de datagramas que usa endereços de hospedeiro de 32 bits. Suponha que um roteador tenha quatro enlaces, numerados de 0 a 3, e que os pacotes têm de ser repassados para as interfaces de enlaces desta forma:

Faixa do endereço de destino	Interface de enlace
11100000 00000000 00000000 00000000 até	0
11100000 00111111 11111111 11111111	
11100000 01000000 00000000 00000000 até	1
11100000 01000000 11111111 11111111	
11100000 01000001 00000000 00000000 até	2
11100001 01111111 11111111 11111111	
senão	3

- a. Elabore uma tabela de repasse que tenha cinco registros, use correspondência do prefixo mais longo e repasse pacotes para as interfaces de enlace corretas.

- b. Descreva como sua tabela de repasse determina a interface de enlace apropriada para datagramas com os seguintes endereços:

```
11001000 10010001 01010001 01010101
11100001 01000000 11000011 00111100
11100001 10000000 00010001 01110111
```

- P11. Considere uma rede de datagramas que utiliza endereços de hospedeiro de 8 bits. Suponha que um roteador utilize a correspondência do prefixo mais longo e tenha a seguinte tabela de repasse:

Prefixo a comparar	Interface
00	0
010	1
011	2
10	2
11	3

Para cada uma das quatro interfaces, forneça a faixa associada de endereços de hospedeiro de destino e o número de endereços na faixa.

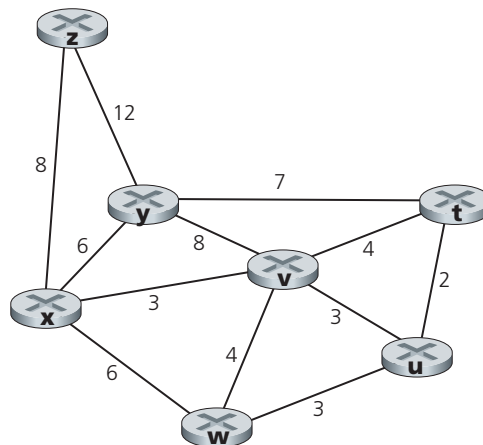
- P12. Considere uma rede de datagramas que usa endereços de hospedeiros de 8 bits. Suponha que um roteador use a correspondência do prefixo mais longo e tenha a seguinte tabela de repasse:

Prefixo a comparar	Interface
1	0
10	1
111	2
senão	3

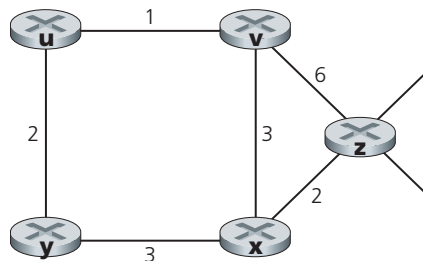
Para cada uma das quatro interfaces, forneça a faixa associada de endereços de hospedeiro de destino e o número de endereços na faixa.

- P13. Considere um roteador que interconecta três sub-redes: 1, 2 e 3. Suponha que todas as interfaces de cada uma dessas três sub-redes tenha de ter o prefixo 223.1.17/24. Suponha também que a sub-rede 1 tenha de suportar até 60 interfaces, a sub-rede 2 tenha de suportar até 90 interfaces e a sub-rede 3, 12 interfaces. Dê três endereços de rede (da forma a.b.c.d/x) que satisfaçam essas limitações.
- P14. Na Seção 4.2.2 é dado um exemplo de tabela de repasse (usando a correspondência de prefixo mais longo). Reescreva a tabela usando a notação a.b.c.d/x em vez da notação de cadeia binária.
- P15. No Problema P10, solicitamos que você elaborasse uma tabela de repasse (usando a correspondência de prefixo mais longo). Reescreva a tabela usando a notação a.b.c.d/x em vez da notação de cadeia binária.
- P16. Considere uma sub-rede com prefixo 128.119.40.128/26. Dê um exemplo de um endereço IP (na forma xxx.xxx.xxx.xxx) que possa ser designado para essa rede. Suponha que um ISP possua o bloco de endereços na forma 128.119.40.64/26. Suponha que ele queira criar quatro sub-redes a partir desse bloco, e que cada bloco tenha o mesmo número de endereços IP. Quais são os prefixos (na forma a.b.c.d/x) para as quatro sub-redes?
- P17. Considere a topologia mostrada na Figura 4.17. Denomine as três sub-redes com hospedeiros (começando em sentido horário, a partir da posição das 12h) como A, B e C. Denomine as sub-redes sem hospedeiros como D, E e F.

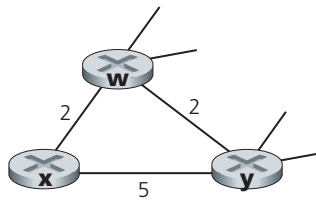
- a. Designe endereços de rede a cada uma das seis sub-redes, com as seguintes restrições: todos os endereços deverão ser alocados a partir de 214.97.254/23; a sub-rede A deve ter endereços suficientes para suportar 250 interfaces; a sub-rede B deve ter endereços suficientes para suportar 120 interfaces e a sub-rede C deve ter endereços suficientes para suportar 120 interfaces. É claro que cada uma das sub-redes D, E e F deve poder suportar duas interfaces. Para cada sub-rede, a designação deve tomar a forma a.b.c.d/x ou a.b.c.d/x – e.f.g.h/y.
 - b. Usando a resposta dada no item (a), elabore as tabelas de repasse (usando a correspondência de prefixo mais longo) para cada um dos três roteadores.
- P18. Use o serviço whois no American Registry for Internet Numbers (<http://www.arin.net/whois>) para determinar os blocos de endereço IP para três universidades. Os serviços whois podem ser usados para determinar com certeza o local geográfico de um endereço IP específico? Use www.maxmind.com para determinar os locais dos servidores Web em cada universidade.
- P19. Considere enviar um datagrama de 2.400 bytes por um enlace que tem uma MTU de 700 bytes. Suponha que o datagrama original esteja marcado com o número de identificação 422. Quantos fragmentos são gerados? Quais são os valores em vários campos dos datagramas IP gerados em relação à fragmentação?
- P20. Suponha que entre o hospedeiro de origem A e o hospedeiro destinatário B os datagramas estejam limitados a 1.500 bytes (incluindo cabeçalho). Admitindo um cabeçalho IP de 20 bytes, quantos datagramas seriam necessários para enviar um arquivo MP3 de 5 milhões de bytes? Explique como você obteve a resposta.
- P21. Considere a configuração de rede da Figura 4.22. Suponha que o ISP designe ao roteador o endereço 24.34.112.235 e que o endereço da rede residencial seja 192.168.1/24.
- a. Designe endereços a todas as interfaces na rede residencial.
 - b. Suponha que haja duas conexões TCP em curso em cada hospedeiro, todas para a porta 80 no hospedeiro 128.119.40.86. Forneça os seis registros correspondentes na tabela de tradução NAT.
- P22. Suponha que você esteja interessado em detectar o número de hospedeiros por trás da NAT. Você observa que a camada IP traz um número de identificação, de modo sequencial, em cada pacote IP. O número de identificação do primeiro pacote IP gerado por um hospedeiro é aleatório, e os números de identificação subsequentes são determinados sequencialmente. Admita que todos os pacotes IP gerados por hospedeiros por trás da NAT sejam enviados para o mundo exterior.
- a. Com base nessa observação e admitindo que você pode analisar todos os pacotes enviados para fora pela NAT, você pode descrever uma técnica simples que detecte o número de hospedeiros únicos por trás da NAT? Justifique sua resposta.
 - b. Se os números de identificação não são determinados de maneira sequencial, e sim aleatória, sua técnica funcionaria? Justifique sua resposta.
- P23. Neste problema estudaremos o impacto das NATs sobre aplicações P2P. Suponha que um parceiro com nome de usuário Arnold descubra, por meio de consulta, que um parceiro com nome de hospedeiro Bernard tem um arquivo que ele, Arnold, quer descarregar. Suponha também que Bernard e Arnold estejam por trás de uma NAT. Tente elaborar uma técnica que permita a Arnold estabelecer uma conexão TCP com Bernard sem a configuração da NAT específica da aplicação. Se você tiver dificuldade na elaboração dessa técnica, discuta o motivo.
- P24. Considerando a Figura 4.27, enumere os caminhos de y a u que não tenham laços.
- P25. Repita o Problema P24 considerando os caminhos de x a z , z a u e z a w .
- P26. Considere a seguinte rede. Com os custos de enlace indicados, use o algoritmo do caminho mais curto de Dijkstra para calcular o caminho mais curto de x até todos os nós da rede. Mostre como o algoritmo funciona calculando uma tabela semelhante à Tabela 4.3.



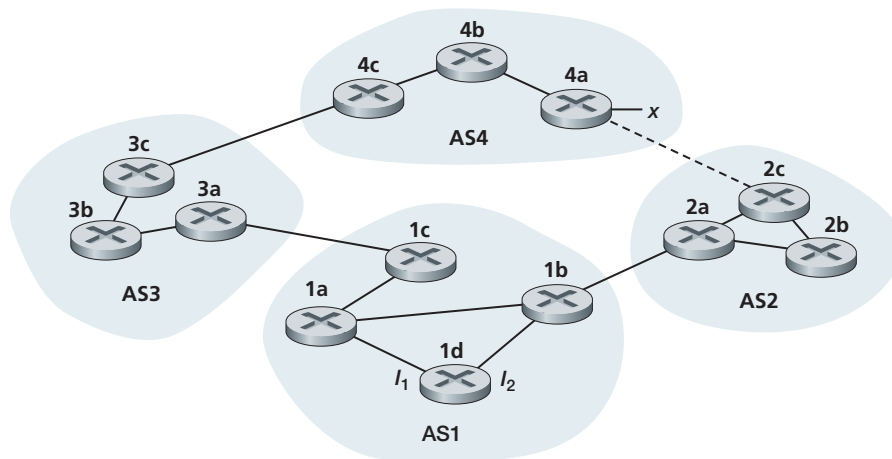
- P27. Considere a rede mostrada no Problema P26. Usando o algoritmo de Dijkstra e mostrando seu trabalho usando uma tabela semelhante à Tabela 4.3, faça o seguinte:
- Calcule o caminho mais curto de t até todos os nós da rede.
 - Calcule o caminho mais curto de u até todos os nós da rede.
 - Calcule o caminho mais curto de v até todos os nós da rede.
 - Calcule o caminho mais curto de w até todos os nós da rede.
 - Calcule o caminho mais curto de y até todos os nós da rede.
 - Calcule o caminho mais curto de z até todos os nós da rede.
- P28. Considere a rede mostrada a seguir e admita que cada nó inicialmente conheça os custos até cada um de seus vizinhos. Considere o algoritmo de vetor de distâncias e mostre os registros na tabela de distâncias para o nó z .



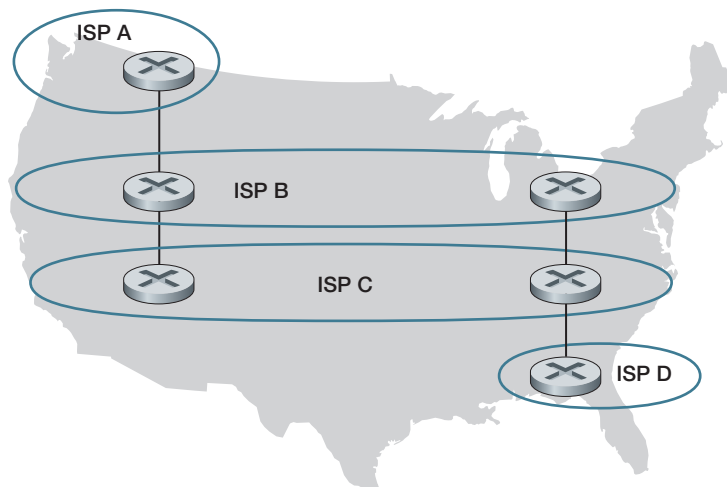
- P29. Considere uma topologia geral (isto é, não a rede específica mostrada antes) e uma versão síncrona do algoritmo de vetor de distâncias. Suponha que, a cada iteração, um nó troque seus vetores de distâncias com seus vizinhos e receba os vetores de distâncias deles. Supondo que o algoritmo comece com cada nó conhecendo apenas os custos até seus vizinhos imediatos, qual é o número máximo de iterações exigidas até que o algoritmo distribuído convirja? Justifique sua resposta.
- P30. Considere o fragmento de rede mostrado a seguir. x tem apenas dois vizinhos ligados a ele: w e y . w tem um caminho de custo mínimo até o destino u (não mostrado) de 5 e y tem um caminho de custo mínimo u de 6. Os caminhos completos de w e de y até u (e entre w e y) não são mostrados. Todos os valores dos custos de enlace na rede são números inteiros estritamente positivos.



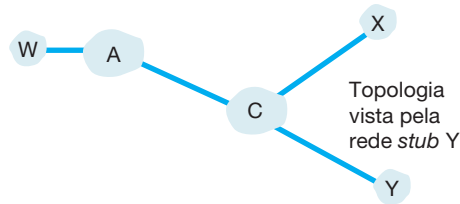
- a. Dê os vetores de distâncias de x para os destinos w , y e u .
 - b. Dê uma mudança de custo de enlace para $c(x, w)$ ou para $c(x, y)$ tal que x informará a seus vizinhos um novo caminho de custo mínimo até u como resultado da execução do algoritmo de vetor de distâncias.
 - c. Dê uma mudança de custo de enlace para $c(x, w)$ ou para $c(x, y)$ tal que x não informará a seus vizinhos um novo caminho de custo mínimo até u como resultado da execução do algoritmo de vetor de distâncias.
- P31. Considere a topologia de três nós mostrada na Figura 4.30. Em vez de ter os custos de enlace da Figura 4.30, os custos de enlace são: $c(x, y) = 3$, $c(y, z) = 6$, $c(z, x) = 4$. Calcule as tabelas de distâncias após a etapa de inicialização e após cada iteração de uma versão síncrona do algoritmo de vetor de distâncias (como fizemos em nossa discussão anterior da Figura 4.30).
- P32. Considere o problema da contagem até o infinito no roteamento de vetor de distâncias. Esse problema ocorrerá se reduzirmos o custo de um enlace? Por quê? E se conectarmos dois nós que não possuem enlace?
- P33. Demonstre que, para o algoritmo de vetor de distâncias na Figura 4.30, cada valor no vetor de distâncias $D(x)$ é não crescente e, conseqüentemente, se estabilizará em um número finito de etapas.
- P34. Considere a Figura 4.31. Suponha que haja outro roteador, w , conectado aos roteadores y e z . Os custos de todos os enlaces são: $c(x, y) = 4$, $c(x, z) = 50$, $c(y, w) = 1$, $c(z, w) = 1$, $c(y, z) = 3$. Suponha que a reversão envenenada seja utilizada no algoritmo de roteamento de vetor de distâncias.
- a. Quando o roteamento de vetor de distâncias é estabilizado, os roteadores w , y e z informam uns aos outros sobre suas distâncias para x . Que valores de distância eles podem informar uns aos outros?
 - b. Agora suponha que o custo do enlace entre x e y aumente para 60. Haverá um problema de contagem até o infinito mesmo se a reversão envenenada for utilizada? Por quê? Se houver um problema de contagem até o infinito, então quantas iterações são necessárias para o roteamento de vetor de distâncias alcançar um estágio estável novamente? Justifique sua resposta.
 - c. Como você modifica $c(y, z)$ de modo que não haja qualquer problema de contagem até o infinito se $c(y, x)$ mudar de 4 para 60?
- P35. Descreva como laços nos caminhos podem ser detectados com BGP.
- P36. Um roteador BGP sempre escolherá uma rota sem laços com o menor comprimento de AS-PATH? Justifique sua resposta.
- P37. Considere a rede a seguir. Suponha que AS3 e AS2 estejam rodando o OSPF para seu protocolo de roteamento intra-AS. Suponha que AS1 e AS4 estejam rodando o RIP para seu protocolo de roteamento intra-AS. Suponha que o eBGP e o iBGP sejam usados para o protocolo de roteamento intra-AS. Inicialmente, suponha que *não* haja enlace físico entre AS2 e AS4.
- a. O roteador 3c sabe sobre o prefixo x por qual protocolo de roteamento: OSPF, RIP, eBGP ou iBGP?
 - b. O roteador 3a sabe sobre o prefixo x por qual protocolo de roteamento?
 - c. O roteador 1c sabe sobre o prefixo x por qual protocolo de roteamento?
 - d. O roteador 1d sabe sobre o prefixo x por qual protocolo de roteamento?



- P38. Referindo-se ao problema anterior, uma vez que o roteador 1d sabe sobre x , ele inserirá uma entrada (x, I) em sua tabela de repasse.
- I será igual a I_1 ou I_2 para essa entrada? Justifique a resposta em uma frase.
 - Agora suponha que haja um enlace físico entre AS2 e AS4, ilustrado pela linha pontilhada. Suponha que o roteador 1d saiba que x é acessível por meio de AS2 e de AS3. I será definido para I_1 ou I_2 ? Justifique a resposta em uma frase.
 - Agora suponha que haja outro AS, denominado AS5, que fica no caminho entre AS2 e AS4 (não ilustrado no diagrama). Suponha que o roteador 1d saiba que x é acessível por meio de AS2 AS5 AS4, bem como de AS3 AS4. I será definido para I_1 ou I_2 ? Em uma frase, explique o motivo.
- P39. Considere a rede a seguir. O ISP B provê serviço nacional de *backbone* ao ISP regional A. O ISP C provê serviço nacional de *backbone* ao ISP regional D. Cada ISP consiste em um AS. Usando BGP, B e C se emparelham em dois lugares. Considere o tráfego na direção de A a D. B preferiria passar esse tráfego para C na Costa Oeste (de modo que C teria de absorver o custo de transportar o tráfego através do país), enquanto C preferiria receber o tráfego via seu ponto de emparelhamento com B na Costa Leste (de modo que B transportaria o tráfego através do país). Qual mecanismo BGP poderia ser usado por C de modo que B entregasse o tráfego de A a D em seu ponto de emparelhamento na Costa Leste? Para responder a essa pergunta, você precisará estudar muito bem a especificação do BGP.



- P40. Na Figura 4.42, considere a informação de caminho que chega às sub-redes *stub* W, X e Y. Com base na informação disponível em W e X, quais são as respectivas visões da topologia da rede? Justifique sua resposta. A topologia vista de Y é mostrada a seguir.



- P41. Considere a Figura 4.42. B nunca encaminharia tráfego destinado a Y via X com base no roteamento BGP. Mas existem muitas aplicações conhecidas para as quais os pacotes de dados vão primeiro para X e depois fluem para Y. Identifique tal aplicação e descreva como os pacotes de dados percorrem um caminho não determinado pelo roteamento BGP.
- P42. Na Figura 4.42, suponha que haja outra rede *stub* V que seja cliente do ISP A. Suponha que B e C tenham uma relação de emparelhamento, e que A seja cliente de B e de C. Suponha, ainda, que A gostaria de ter o tráfego destinado para W vindo apenas de B, e o tráfego destinado para V vindo de B ou C. Como A deveria anunciar suas rotas para B e C? Quais rotas AS são recebidas por C?
- P43. Suponha que os ASs X e Z não estejam conectados diretamente, mas estejam conectados pelo AS Y. Suponha ainda que X tenha um acordo de emparelhamento com Y, e que Y tenha um acordo de emparelhamento com Z. Por fim, suponha que Z queira transitar todo o tráfego de Y, mas não queira transitar o tráfego de X. O BGP permite que Z execute essa política?
- P44. Considere a rede de sete nós (com nós rotulados de t a z) do Problema 26. Mostre a árvore de custo mínimo com raiz em z que inclua (como hospedeiros finais) os nós u , v , w e y . Justifique informalmente por que sua árvore é uma árvore de custo mínimo.
- P45. Considere as duas abordagens básicas identificadas para fazer a difusão: emulação de transmissão individual e difusão de camada de rede (isto é, assistido por roteador) e suponha que seja usada difusão de *spanning tree* para fazer difusão de camada de rede. Considere um único remetente e 32 destinatários. Suponha que o remetente esteja conectado aos destinatários por uma árvore binária de roteadores. Qual é o custo para enviar um pacote por difusão nos casos da emulação de transmissão individual e de difusão de camada de rede para essa topologia? Aqui, cada vez que um pacote (ou cópia de um pacote) é enviado por um único enlace, ele incorre em uma unidade de custo. Qual topologia para interconectar o remetente, os destinatários e os roteadores fará que os custos da emulação individual e de difusão verdadeira da camada de rede fiquem o mais longe possível um do outro? Você pode escolher quantos roteadores quiser.
- P46. Considere a operação do algoritmo de repasse de caminho inverso (RPF) na Figura 4.44. Usando a mesma topologia, descubra um conjunto de caminhos de todos os nós até o nó de origem A (e indique esses caminhos em um grafo usando linhas grossas como as da Figura 4.44) de modo que, se esses caminhos forem os de menor custo, então o nó B receberia uma cópia das mensagens de difusão de A dos nós A, C e D sob RPF.
- P47. Considere a topologia ilustrada na Figura 4.44. Suponha que todos os enlaces tenham custo unitário e que o nó E é a origem da difusão. Usando setas como as mostradas na Figura 4.44, indique enlaces pelos quais pacotes serão repassados usando RPF e enlaces pelos quais pacotes não serão repassados, dado que o nó E é a origem.
- P48. Repita o Problema P47 utilizando o gráfico do Problema P26. Suponha que z seja a origem da difusão e que os custos do enlace são aqueles mostrados no Problema P26.
- P49. Considere a topologia mostrada na Figura 4.46 e suponha que cada enlace tenha custo unitário. Suponha que o nó C seja escolhido como o centro de um algoritmo de roteamento para um grupo baseado em centro. Supondo que cada roteador conectado use seu caminho de menor custo até o nó C para enviar mensagens de

adesão a C, desenhe a árvore de roteamento baseada no centro resultante. É uma árvore de custo mínimo? Justifique sua resposta.

- P50. Repita o Problema P49, usando o gráfico do Problema P26. Admita que o nó central seja v .
- P51. Na Seção 4.5.1 estudamos o algoritmo de roteamento de estado de enlace de Dijkstra para calcular os caminhos individuais que são os de menor custo da origem até todos os destinos. Poderíamos imaginar que a união desses caminhos forme uma **árvore individual de caminho de menor custo** (ou uma árvore individual de caminho mais curto, se todos os custos de enlaces fossem idênticos). Construindo um contraexemplo (um exemplo que nega essa afirmação), mostre que a árvore de caminho de menor custo *nem sempre* é a mesma que uma *spanning tree* mínima.
- P52. Considere uma rede na qual todos os nós estão conectados a três outros nós. Em uma única fase de tempo, um nó pode receber de seus vizinhos todos os pacotes transmitidos por difusão, duplicar os pacotes e enviá-los a todos os seus vizinhos (exceto ao nó que enviou um dado pacote). Na próxima fase, nós vizinhos podem receber, duplicar e repassar esses pacotes e assim por diante. Suponha que seja utilizada a inundação não controlada para prover difusão a essa rede. Na fase de tempo t , quantas cópias do pacote *broadcast* serão transmitidas, admitindo que, durante a fase 1, um único pacote *broadcast* é transmitido pelo nó de origem a seus três vizinhos?
- P53. Vimos na Seção 4.7 que não há um protocolo de camada de rede que possa ser usado para identificar os hospedeiros que participam de um grupo (*multicast*). Isto posto, como aplicações de transmissão para um grupo podem aprender as identidades dos hospedeiros que estão participando de um grupo?
- P54. Projete (dê uma descrição em pseudocódigo) um protocolo de nível de aplicação que mantenha os endereços de hospedeiros para todos os hospedeiros participantes de um grupo (*multicast*). Identifique o serviço de rede (individual ou para um grupo) que é usado por seu protocolo e indique se seu protocolo está enviando mensagens dentro ou fora da banda (com relação ao fluxo de dados de aplicação entre os participantes do grupo) e por quê.
- P55. Qual é o tamanho do espaço de endereços de grupo? Suponha agora que dois grupos escolham aleatoriamente um endereço de grupo. Qual é a probabilidade de que escolham o mesmo endereço? Suponha agora que mil grupos estejam em operação ao mesmo tempo e escolham seus endereços de grupo aleatoriamente. Qual é a probabilidade de que uns interfiram nos outros?

TAREFAS DE PROGRAMAÇÃO DE SOCKETS

Ao final do Capítulo 2, existem quatro tarefas de programação de *sockets*. A seguir, você verá uma quinta tarefa que emprega ICMP, um protocolo discutido neste capítulo.

Tarefa 5: ICMP ping

Ping é uma aplicação popular para redes, usada para testar, de um local remoto, se determinado hospedeiro está ativo e pode ser alcançado. Em geral é usada para medir a latência entre o hospedeiro cliente e o hospedeiro de destino. Ele funciona enviando pacotes ICMP de “requisição de eco” (isto é, pacotes *ping*) ao hospedeiro de destino e escutando as “respostas de eco” ICMP (isto é, pacotes *pong*). Ping mede o RTT, registra perda de pacote e calcula um resumo estatístico de diversas trocas *ping-pong* (o mínimo, média, máximo e desvio-padrão dos tempos de viagem de ida e volta).

Neste laboratório, você escreverá sua própria aplicação Ping em Python. Sua aplicação usará ICMP. Mas, para simplificar seu programa, você não seguirá exatamente a especificação oficial no RFC 1739. Observe que só precisará escrever o lado cliente do programa, pois a funcionalidade necessária no lado servidor já está embutida em todos os sistemas operacionais. Você poderá achar todos os detalhes desta tarefa, bem como trechos importantes do código em Python, no site de apoio do livro.