
Camada de Rede

Prof. Tiago Semprebom

tisemp@sj.cefetsc.edu.br
www.sj.cefetsc.edu.br/~tisemp

Parte IV: Camada de Rede

Metas do capítulo:

- ❑ entender os princípios em que se fundamentam os serviços de rede:
 - roteamento (seleção de caminhos)
 - escalabilidade
 - como funciona um roteador
- ❑ instanciação e implementação na Internet

Resumo:

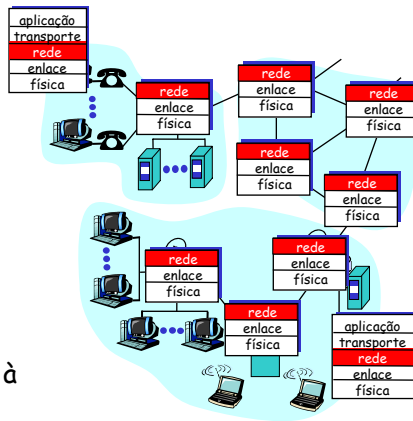
- ❑ serviços da camada de rede
- ❑ princípio de roteamento: seleção de caminhos
- ❑ roteamento hierárquico
- ❑ IP
- ❑ Protocolos de roteamento da Internet
 - dentro de um domínio
 - entre domínios
- ❑ como funciona um roteador?

Funções da camada de rede

- transporta pacote da estação remetente à receptora
- protocolos da camada de rede em *cada* estação, roteador

três funções importantes:

- *determinação do caminho*: rota seguida por pacotes da origem ao destino. *Algoritmos de roteamento*
- *comutação*: mover pacotes dentro do roteador da entrada à saída apropriada
- *estabelecimento da chamada*: algumas arquiteturas de rede requerem determinar o caminho antes de enviar os dados



4: Camada de Rede 3

Modelo de serviço de rede

A abstração mais importante provida pela camada de rede:

circuito virtual
ou
datagrama?

4: Camada de Rede 4

Circuitos virtuais

"caminho da-origem-ao-destino se comporta como um circuito telefônico"

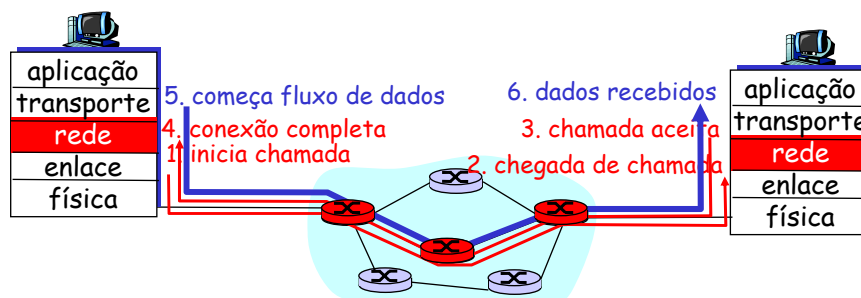
- em termos de desempenho
- em ações da rede ao longo do caminho da-origem-ao-destino

- estabelecimento de cada chamada *antes* do envio dos dados
- cada pacote tem ident. de CV (e não endereços origem/dest)
- cada roteador no caminho da-origem-ao-destino mantém "estado" para cada conexão que o atravessa
 - conexão da camada de transporte só envolve os 2 sistemas terminais
- recursos de enlace, roteador (banda, *buffers*) podem ser *alocados* ao CV
 - para permitir desempenho como de um circuito

4: Camada de Rede 5

Circuitos virtuais: protocolos de sinalização

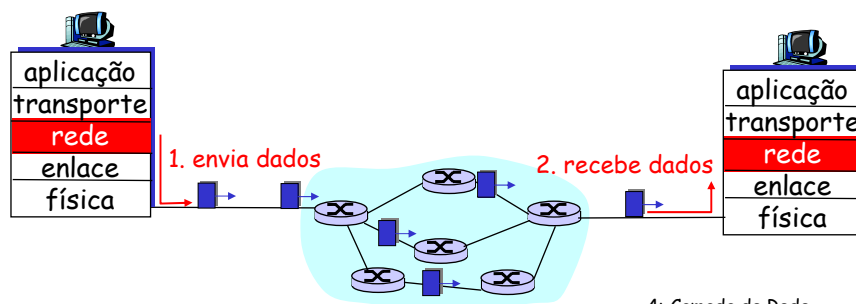
- usados para estabelecer, manter, destruir CV
- usados em ATM, frame-relay, X.25
- não usados na Internet de hoje



4: Camada de Rede 6

Rede de datagramas: o modelo da Internet

- ❑ não requer estabelecimento de chamada na camada de rede
- ❑ roteadores: não guardam estado sobre conexões fim a fim
 - não existe o conceito de "conexão" na camada de rede
- ❑ pacotes são roteados tipicamente usando endereços de destino
 - 2 pacotes entre o mesmo par origem-destino podem seguir caminhos diferentes



4: Camada de Rede 7

Modelos de serviço da camada de rede:

Arquitetura de Rede	Modelo de serviço	Garantias ?				Informa s/ congestion.?
		Banda	Perdas	Ordem	Tempo	
Internet	melhor esforço	nenhuma	não	não	não	não (inferido via perdas)
ATM	CBR	taxa constante	sim	sim	sim	sem congestion.
ATM	VBR	taxa garantida	sim	sim	sim	sem congestion.
ATM	ABR	mínima garantida	não	sim	não	sim
ATM	UBR	nenhuma	não	sim	não	não

- ❑ Modelo Internet está sendo estendido: Intserv, Diffserv

4: Camada de Rede 8

Rede de datagramas ou CVs: por quê?

Internet

- troca de dados entre computadores
 - serviço "elástico", sem reqs. temporais estritos
- sistemas terminais "inteligentes" (computadores)
 - podem se adaptar, exercer controle, recuperar de erros
 - núcleo da rede simples, complexidade na "borda"
- muitos tipos de enlaces
 - características diferentes
 - serviço uniforme difícil

ATM

- evoluiu da telefonia
- conversação humana:
 - temporização estrita, requisitos de confiabilidade
 - requer serviço garantido
- sistemas terminais "burros"
 - telefones
 - complexidade dentro da rede

4: Camada de Rede 9

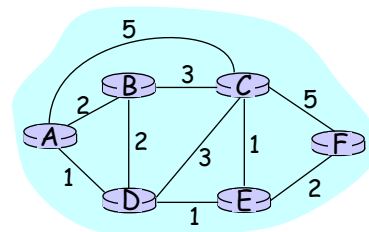
Roteamento

protocolo de roteamento

meta: determinar caminho (seqüência de roteadores) "bom" pela rede da origem ao destino

Abstração de grafo para algoritmos de roteamento:

- nós do grafo são roteadores
- arestas do grafo são os enlaces físicos
 - custo do enlace: retardo, financeiro, ou nível de congestionamento



- caminho "bom":
 - tipicamente significa caminho de menor custo
 - outras definições são possíveis

4: Camada de Rede 10

Classificação de Algoritmos de Roteamento

Informação global ou descentralizada?

Global:

- ❑ todos roteadores têm info. completa de topologia, custos dos enlaces
- ❑ algoritmos "estado de enlaces"

Descentralizada:

- ❑ roteador conhece vizinhos diretos e custos até eles
- ❑ processo iterativo de cálculo, troca de info. com vizinhos
- ❑ algoritmos "vetor de distâncias"

Estático ou dinâmico?

Estático:

- ❑ rotas mudam lentamente com o tempo

Dinâmico:

- ❑ rotas mudam mais rapidamente
 - atualização periódica
 - em resposta a mudanças nos custos dos enlaces

4: Camada de Rede 11

Um algoritmo de roteamento de "estado de enlaces" (EE)

Algoritmo de Dijkstra

- ❑ topologia da rede, custos dos enlaces conhecidos por todos os nós
 - realizado através de "difusão do estado dos enlaces"
 - todos os nós têm mesma info.
- ❑ calcula caminhos de menor custo de um nó ("origem") para todos os demais
 - gera **tabela de rotas** para aquele nó
- ❑ iterativo: depois de k iterações, sabemos menor custo p/k destinos

Notação:

- ❑ $c(i,j)$: custo do enlace do nó i ao nó j . custo é infinito se não forem vizinhos diretos
- ❑ $D(V)$: valor corrente do custo do caminho da origem ao destino V
- ❑ $p(V)$: nó antecessor no caminho da origem ao nó V , imediatamente antes de V
- ❑ N : conjunto de nós cujo caminho de menor custo já foi determinado

4: Camada de Rede 12

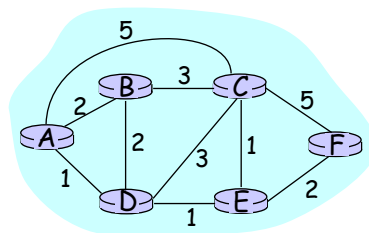
O algoritmo de Dijkstra

- 1 **Inicialização:**
- 2 $N = \{A\}$
- 3 para todos os nós V
- 4 se V for adjacente ao nó A
- 5 então $D(V) = c(A, V)$
- 6 senão $D(V) = \text{infinito}$
- 7
- 8 **Repete**
- 9 determina W não contido em N tal que $D(W)$ é o mínimo
- 10 adiciona W ao conjunto N
- 11 atualiza $D(V)$ para todo V adjacente ao nó W e ainda não em N :
- 12 $D(V) = \min(D(V), D(W) + c(W, V))$
- 13 /* novo custo ao nó V ou é o custo velho a V ou o custo do
- 14 menor caminho ao nó W , mais o custo de W a V */
- 15 **até que todos nós estejam em N**

4: Camada de Rede 13

Algoritmo de Dijkstra: exemplo

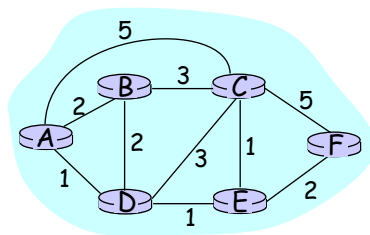
Passo	N inicial	$D(B), p(B)$	$D(C), p(C)$	$D(D), p(D)$	$D(E), p(E)$	$D(F), p(F)$
0	A	2, A	5, A	1, A	infinito	infinito



4: Camada de Rede 14

Algoritmo de Dijkstra: exemplo

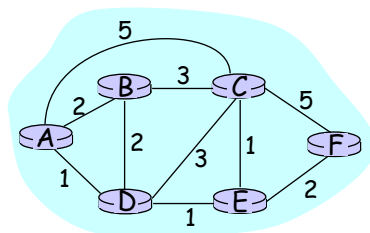
Passo	N inicial	D(B),p(B)	D(C),p(C)	D(D),p(D)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
0	A	2,A	5,A	1,A	infinito	infinito
1	AD	2,A	4,D		2,D	infinito



4: Camada de Rede 15

Algoritmo de Dijkstra: exemplo

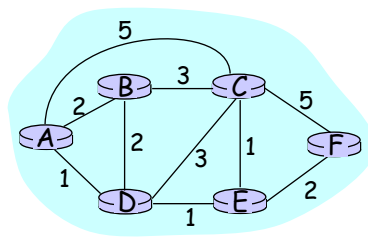
Passo	N inicial	D(B),p(B)	D(C),p(C)	D(D),p(D)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
0	A	2,A	5,A	1,A	infinito	infinito
1	AD	2,A	4,D		2,D	infinito
2	ADE	2,A	3,E			4,E



4: Camada de Rede 16

Algoritmo de Dijkstra: exemplo

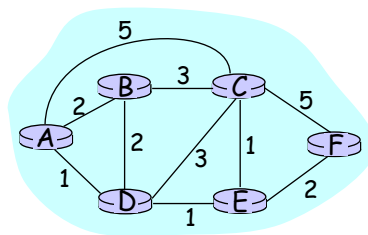
Passo	N inicial	D(B),p(B)	D(C),p(C)	D(D),p(D)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
0	A	2,A	5,A	1,A	infinito	infinito
1	AD	2,A	4,D		2,D	infinito
2	ADE	2,A	3,E			4,E
3	ADEB		3,E			4,E



4: Camada de Rede 17

Algoritmo de Dijkstra: exemplo

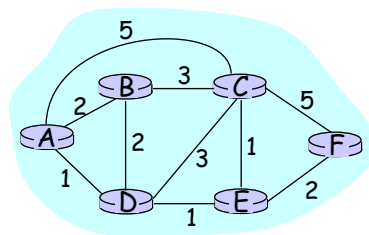
Passo	N inicial	D(B),p(B)	D(C),p(C)	D(D),p(D)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
0	A	2,A	5,A	1,A	infinito	infinito
1	AD	2,A	4,D		2,D	infinito
2	ADE	2,A	3,E			4,E
3	ADEB		3,E			4,E
4	ADEBC					4,E



4: Camada de Rede 18

Algoritmo de Dijkstra: exemplo

Passo	N inicial	D(B),p(B)	D(C),p(C)	D(D),p(D)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
0	A	2,A	5,A	1,A	infinito	infinito
1	AD	2,A	4,D		2,D	infinito
2	ADE	2,A	3,E			4,E
3	ADEB		3,E			4,E
4	ADEBC					4,E
5	ADEBCF					



4: Camada de Rede 19

Um algoritmo de roteamento de "vetor de distâncias" (VD)

iterativo:

- ❑ continua até que não haja mais troca de info. entre nós
- ❑ *se auto-termina*: não há "sinal" para parar

assíncrono:

- ❑ os nós *não* precisam trocar info./iterar de forma sincronizada!

distribuído:

- ❑ cada nó comunica *apenas* com seus vizinhos diretos

Estrutura de dados: Tabela de Distâncias

- ❑ cada nó possui sua própria TD
- ❑ 1 linha para cada destino possível
- ❑ 1 coluna para cada vizinho direto
- ❑ exemplo: no nó X, para destino Y através do vizinho Z:

4: Camada de Rede 20

Tabela de distâncias gera tabela de rotas

$D^E()$	custo ao destino via			destino		enlace de saída a usar, custo	
	A	B	D				
A	1	14	5		A	A,1	
B	7	8	5		B	D,5	
C	6	9	4		C	D,4	
D	4	11	2		D	D,4	

Tabela de distâncias → Tabela de rotas

Roteamento vetor de distâncias: sumário

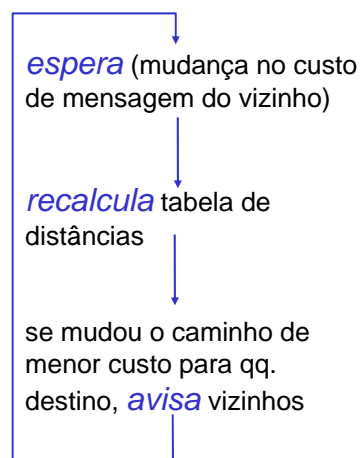
Iterativo, assíncrono: cada iteração local causada por:

- mudança do custo do enlace local
- mensagem do vizinho: mudança de caminho de menor custo para algum destino

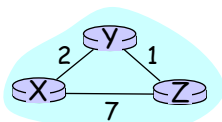
Distribuído:

- cada nó avisa a seus vizinhos *apenas* quando muda seu caminho de menor custo para qualquer destino
 - os vizinhos então avisam a seus vizinhos, se for necessário

Cada nó:



Algoritmo Vetor de Distâncias: exemplo



D ^X		cost via	
	Y	Z	
d	2	∞	
e	∞	7	
s			
t			

D ^Y		cost via	
	X	Z	
d	2	∞	
e	∞	1	
s			
t			

D ^Z		cost via	
	X	Y	
d	7	∞	
e	∞	1	
s			
t			

D ^X		cost via	
	Y	Z	
d	2	8	
e	∞	3	7
s			
t			

D ^Y		cost via	
	X	Z	
d	2	8	
e	∞	9	1
s			
t			

D ^Z		cost via	
	X	Y	
d	7	3	9
e	∞	1	
s			
t			

4: Camada de Rede 23

Roteamento Hierárquico

Neste estudo de roteamento fizemos uma idealização:

- todos os roteadores idênticos
- rede "não hierarquizada" ("flat")

... *não* é verdade, na prática

escala: com > 100 milhões de destinos:

- impossível guardar todos destinos na tabela de rotas!
- troca de tabelas de rotas afogaria os enlaces!

autonomia administrativa

- internet = rede de redes
- cada admin de rede pode querer controlar roteamento em sua própria rede

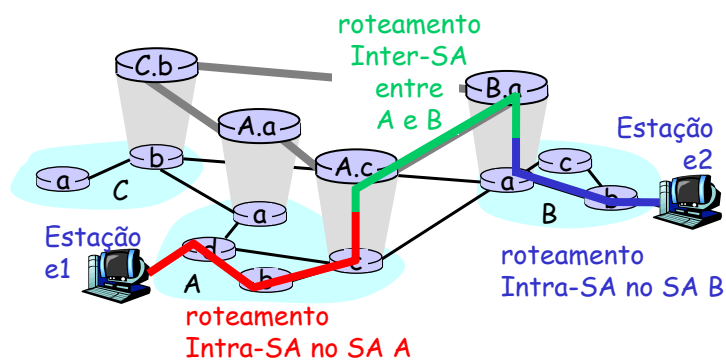
4: Camada de Rede 24

Roteamento Hierárquico

- agregar roteadores em regiões, "sistemas autônomos" (SAs)
- roteadores no mesmo SA usam o mesmo protocolo de roteamento
 - protocolo de roteamento "intra-SA"
 - roteadores em SAs diferentes podem usar diferentes protocolos de roteamento intra-SA
- roteadores gateway
 - roteadores especiais no SA
 - usam protocolo de roteamento intra-SA com todos os demais roteadores no SA
 - *também* responsáveis por rotear para destinos fora do SA
 - usam protocolo de roteamento "inter-SA" com outros roteadores gateways (de borda)

4: Camada de Rede 25

Roteamento Intra-SA e Inter-SA

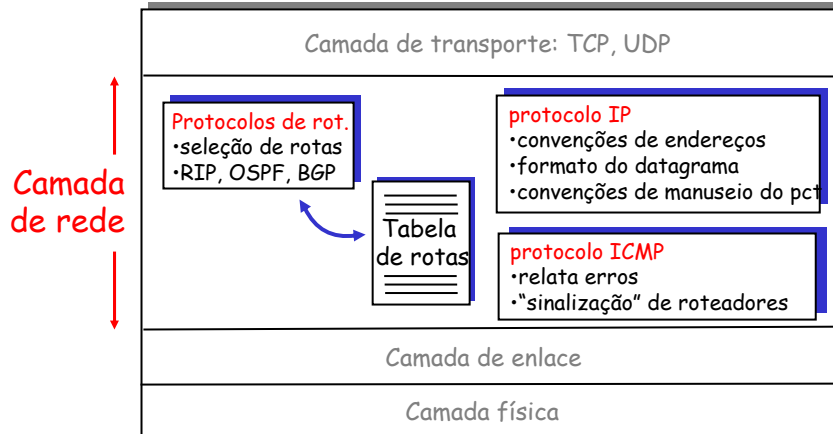


- Em breve veremos protocolos de roteamento inter-SA e intra-SA específicos da Internet

4: Camada de Rede 26

A Camada de Rede na Internet

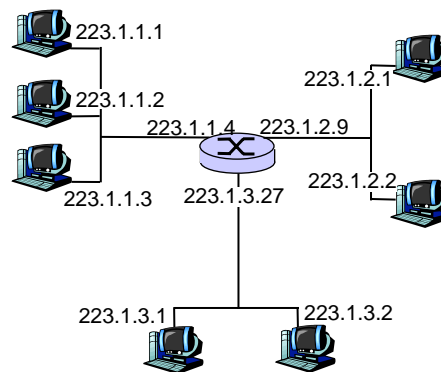
Funções da camada de rede em estações, roteadores:



4: Camada de Rede 27

Endereçamento IP: introdução

- **endereço IP:** ident. de 32-bits para interface de estação, roteador
- **interface:** conexão entre estação, roteador e enlace físico
 - roteador típico tem múltiplas interfaces
 - estação pode ter múltiplas interfaces
 - endereço IP associado à interface, não à estação ou roteador

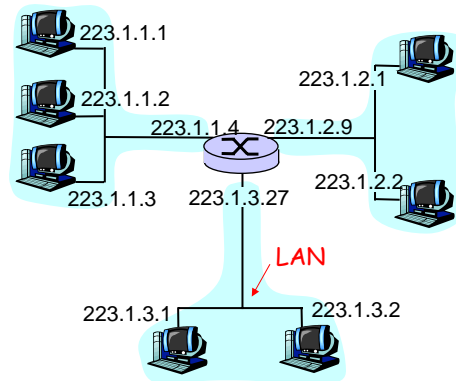


$$223.1.1.1 = \underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_{1} \underbrace{00000001}_{1} \underbrace{00000001}_{1}$$

4: Camada de Rede 28

Endereçamento IP

- endereço IP:
 - parte de rede (bits de mais alta ordem)
 - parte de estação (bits de mais baixa ordem)
- O que é uma rede IP? (da perspectiva do endereço IP)
 - interfaces de dispositivos com a mesma parte de rede nos seus endereços IP
 - podem alcançar um ao outro sem passar por um roteador



Esta rede consiste de 3 redes IP (para endereços IP começando com 223, os primeiros 24 bits são a parte de rede)

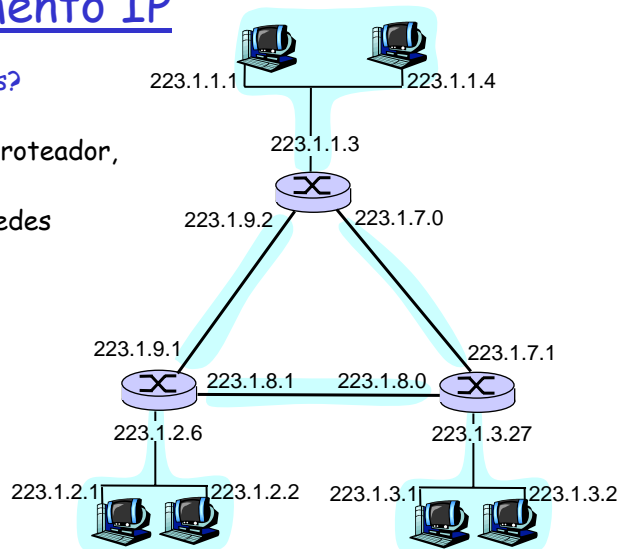
4: Camada de Rede 29

Endereçamento IP

Como achar as redes?

- desassociar cada interface do seu roteador, estação
- criar "ilhas" de redes isoladas
- 223.1.1.0/24, 223.1.2.0/24, 223.1.3.0/24, 223.1.7.0/24, 223.1.8.0/24 e 223.1.9.0/24

Sistema interligado consistindo de seis redes



4: Camada de Rede 30

Endereços IP

dada a noção de "rede", vamos reexaminar endereços IP:

endereçamento "baseado em classes cheias":

Sub-redes com 8, 16 ou 24 bits - classes A, B ou C.

classe

A	0	rede	estação	1.0.0.0 to 127.255.255.255
B	10	rede	estação	128.0.0.0 to 191.255.255.255
C	110	rede	estação	192.0.0.0 to 223.255.255.255
D	1110	endereço multiponto		224.0.0.0 to 239.255.255.255

← 32 bits →

4: Camada de Rede 31

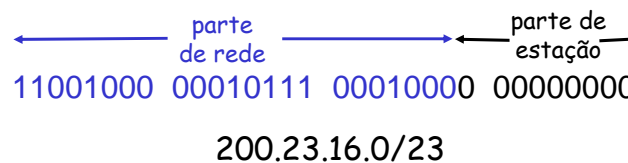
Endereçamento IP: CIDR (cider)

□ Endereçamento baseado em classes:

- uso ineficiente e esgotamento do espaço de endereços
- p.ex., rede da classe B aloca endereços para 65K estações, mesmo se houver apenas 2K estações nessa rede

□ CIDR: Classless InterDomain Routing

- parte de rede do endereço de comprimento arbitrário
- formato de endereço: **a.b.c.d/x**, onde x é no. de bits na parte de rede do endereço (*prefixo de rede*).



4: Camada de Rede 32

Endereços IP: como conseguir um?

Estações (parte de estação):

- ❑ codificado pelo administrador num arquivo
- ❑ **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol:**
obtém endereço dinamicamente: "plug-and-play"
 - estação difunde mensagem "DHCP discover"
 - servidor DHCP responde com "DHCP offer"
 - estação solicita endereço IP: "DHCP request"
 - servidor DHCP envia endereço: "DHCP ack"

4: Camada de Rede 33

Endereços IP: como conseguir um?

Rede (parte de rede):

- ❑ conseguir alocação a partir do espaço de endereços do seu provedor IP

Bloco do provedor	<u>11001000 00010111 00010000</u> 00000000	200.23.16.0/20
Organização 0	<u>11001000 00010111 00010000</u> 00000000	200.23.16.0/23
Organização 1	<u>11001000 00010111 00010010</u> 00000000	200.23.18.0/23
Organização 2	<u>11001000 00010111 00010100</u> 00000000	200.23.20.0/23
...
Organização 7	<u>11001000 00010111 00011110</u> 00000000	200.23.30.0/23

4: Camada de Rede 34

Endereçamento IP: a última palavra...

P: Como um provedor IP consegue um bloco de endereços?

A: **ICANN**: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

- aloca endereços
- gerencia DNS (servidores de nomes raiz)
- aloca nomes de domínio, resolve disputas

(no Brasil, estas funções foram delegadas ao Registro nacional, sediado na FAPESP (SP), e comandado pelo Comitê Gestor Internet BR)

4: Camada de Rede 35

Enviando um datagrama da origem ao destino

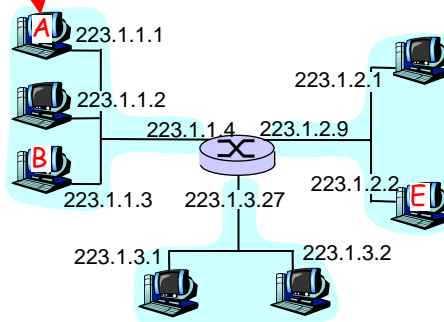
datagrama IP:

campos	end. IP	end. IP	dados
misc	origem	dest	

- ❑ datagrama permanece inalterado, enquanto passa da origem ao destino
- ❑ campos de endereços de interesse aqui

tabela de rotas em A

rede dest.	próx. rot.	Nenlaces
223.1.1		1
223.1.2	223.1.1.4	2
223.1.3	223.1.1.4	2



4: Camada de Rede 36

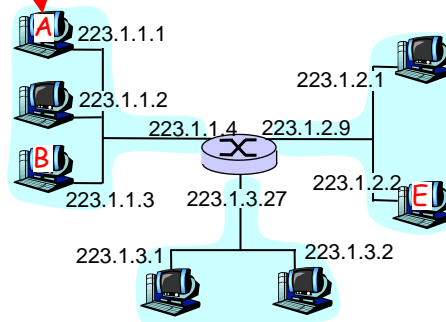
Enviando um datagrama da origem ao destino

campos	223.1.1.1	223.1.1.3	dados
div.			

Supomos um datagrama IP originando em A, e endereçado a B:

- ❑ procura endereço de rede de B
- ❑ descobre que B é da mesma rede que A
- ❑ camada de enlace remeterá datagrama diretamente para B num quadro da camada de enlace
 - B e A estão diretamente ligados

rede dest.	próx. rot.	Nenlaces
223.1.1		1
223.1.2	223.1.1.4	2
223.1.3	223.1.1.4	2



4: Camada de Rede 37

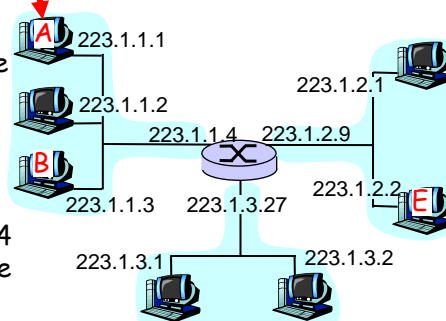
Enviando um datagrama da origem ao destino

campos	223.1.1.1	223.1.2.2	dados
div.			

Origem A, destino E:

- ❑ procura endereço de rede de E
- ❑ E numa rede *diferente*
 - A, E não ligados diretamente
- ❑ tabela de rotas: próximo roteador na rota para E é 223.1.1.4
- ❑ camada de enlace envia datagrama ao roteador 223.1.1.4 num quadro da camada de enlace
- ❑ datagrama chega a 223.1.1.4
- ❑ continua...

rede dest.	próx. rot.	Nenlaces
223.1.1		1
223.1.2	223.1.1.4	2
223.1.3	223.1.1.4	2



4: Camada de Rede 38

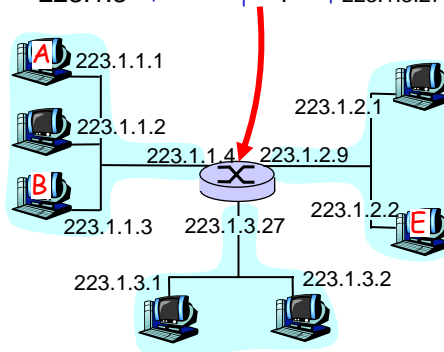
Enviando um datagrama da origem ao destino

campos	223.1.1.1	223.1.2.2	dados
div.			

Chegando a 223.1.1.4,
destinado a 223.1.2.2

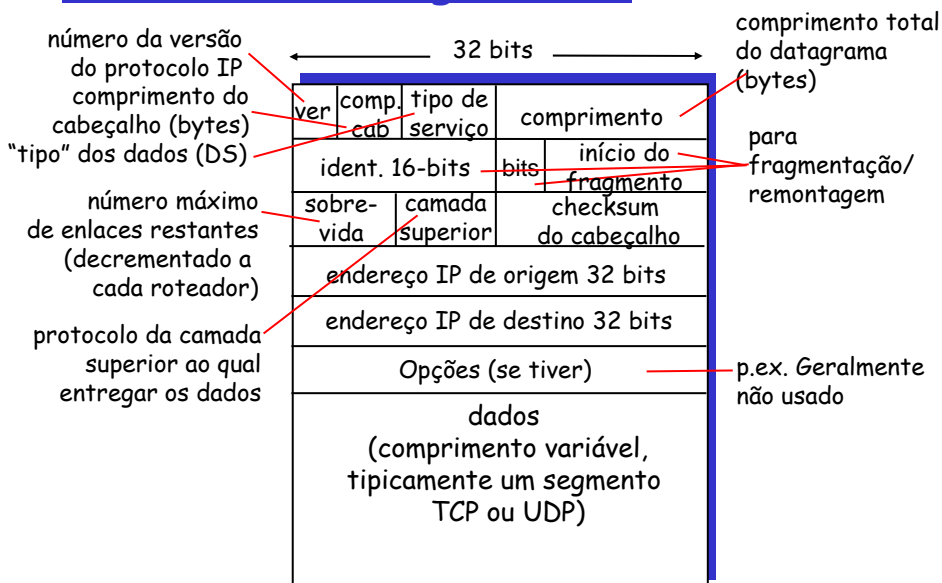
- ❑ procura endereço de rede de E
- ❑ E fica na mesma rede que a interface 223.1.2.9 do roteador
 - roteador, E estão diretamente ligados
- ❑ camada de enlace envia datagrama p/ 223.1.2.2 dentro de quadro de camada de enlace via interface 223.1.2.9
- ❑ datagrama chega a 223.1.2.2!!! (oba!)

rede dest.	próx. rot.	Nenl.	interface
223.1.1	-	1	223.1.1.4
223.1.2	-	1	223.1.2.9
223.1.3	-	1	223.1.3.27



4: Camada de Rede 39

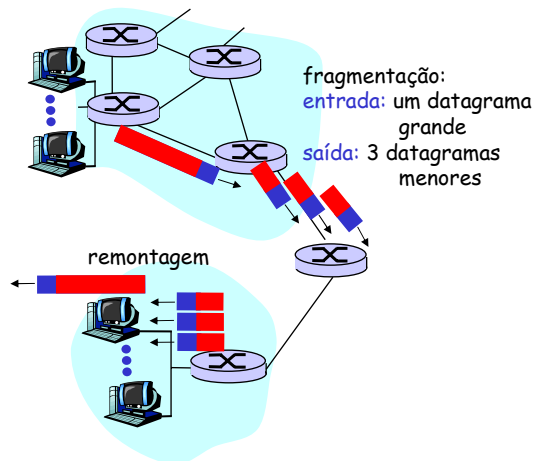
Formato do datagrama IP



4: Camada de Rede 40

IP: Fragmentação & Remontagem

- cada enlace de rede tem MTU (max.transmission unit) - maior tamanho possível de quadro neste enlace.
 - tipos diferentes de enlace têm MTUs diferentes
- datagrama IP muito grande dividido ("fragmentado") dentro da rede
 - um datagrama vira vários datagramas
 - "remontado" apenas no destino final
 - bits do cabeçalho IP usados para identificar, ordenar fragmentos relacionados



4: Camada de Rede 41

IP: Fragmentação & Remontagem

compr	ID	bit_frag	início
=4000	=x	=0	=0

um datagrama grande vira vários datagramas menores

compr	ID	bit_frag	início
=1500	=x	=1	=0
=1500	=x	=1	=1480
=1040	=x	=0	=2960

4: Camada de Rede 42

ICMP: Internet Control Message Protocol

- usado por estações, roteadores para comunicar informação sobre camada de rede

- relatar erros: estação, rede, porta, protocolo inalcançáveis
- pedido/resposta de eco (usado por ping)

- msgs ICMP transportadas em datagramas IP

<u>Tipo</u>	<u>Código</u>	<u>descrição</u>
0	0	resposta de eco (ping)
3	0	rede dest. inalcançável
3	1	estação dest inalcançável
3	2	protocolo dest inalcançável
3	3	porta dest inalcançável
3	6	rede dest desconhecida
3	7	estação dest desconhecida
4	0	abaixar fonte (controle de congestionamento - ã usado)
8	0	pedido eco (ping)
9	0	anúncio de rota
10	0	descobrir roteador
11	0	TTL (sobrevida) expirada
12	0	erro de cabeçalho IP

4: Camada de Rede 43

Roteamento na Internet

- A Internet Global consiste de **Sistemas Autônomo (SAs)** interligados entre si:

- **SA Folha:** empresa
- **SA de Trânsito:** provedor

- Roteamento em dois níveis:

- **Intra-SA:** administrador é responsável pela escolha
- **Inter-SA:** padrão único

4: Camada de Rede 44

Roteamento Intra-SA

- ❑ Também conhecido como **Interior Gateway Protocols (IGP)** (protocolos de roteamento interno)
- ❑ Os IGPs mais comuns são:
 - RIP: *Routing Information Protocol*
 - OSPF: *Open Shortest Path First*

4: Camada de Rede 45

RIP (Routing Information Protocol)

- ❑ Algoritmo vetor de distâncias (comunicação apenas com nós vizinhos)
- ❑ Incluído na distribuição do BSD-UNIX em 1982
- ❑ Métrica de distância: # de enlaces

- ❑ Vetores de distâncias: trocados a cada 30 seg via Mensagem de Resposta (tb chamada de **anúncio**)
- ❑ Cada anúncio: rotas para 25 redes destino
- ❑ Se não for recebido anúncio novo durante 180 seg --> vizinho/enlace declarados mortos
 - novos anúncios enviados aos vizinhos

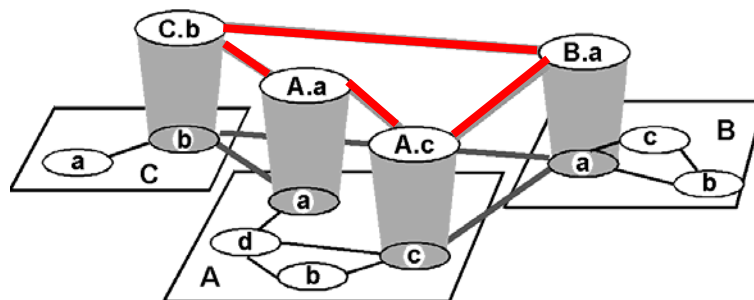
4: Camada de Rede 46

OSPF (Open Shortest Path First)

- "open" (aberto): publicamente disponível
- Usa algoritmo do Estado de Enlaces
 - disseminação de pacotes EE
 - Mapa da topologia a cada nó
 - Cálculo de rotas usando o algoritmo de Dijkstra
- Anúncios disseminados para SA **inteiro** (via inundação)
- Possui características não presentes no RIP:
 - **Segurança**: todas mensagens OSPF autenticadas
 - OSPF **hierárquico** em domínios grandes.
 - ...

4: Camada de Rede 47

Roteamento Inter-SA



4: Camada de Rede 48

Roteamento inter-SA na Internet: BGP

- **BGP (Border Gateway Protocol):** o padrão de fato
- Protocolo **Vetor de Caminhos** :
 - semelhante ao protocolo de Vetor de Distâncias
 - cada Border Gateway (roteador de fronteira) difunde aos vizinhos (pares) *caminho inteiro* (i.é., seqüência de SAs) ao destino
 - p.ex., roteador de fronteira X pode enviar seu caminho ao destino Z:

$$\text{Path (X,Z)} = X, Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Z$$

4: Camada de Rede 49

Roteamento inter-SA na Internet: BGP

Supomos: roteador X envia seu caminho para roteador para W

- W pode ou não selecionar o caminho oferecido por X
 - razões de custo, políticas (não roteia via o SA de um concorrente), evitar ciclos.
- Se W seleciona caminho anunciado por X, então:
$$\text{Caminho (W,Z)} = W, \text{Caminho (X,Z)}$$
- Note: X pode controlar tráfego de chegada através do controle dos seus anúncios de rotas aos seus pares:
 - p.ex., se não quero receber tráfego para Z -> não anuncia rotas para Z

4: Camada de Rede 50

Por quê há diferenças entre roteamento Intra- e Inter-SA?

Políticas:

- ❑ Inter-SA: administração quer controle sobre tráfego roteado (quem transita através da sua rede)
- ❑ Intra-AS: administração única -> desnecessárias decisões políticas

Desempenho:

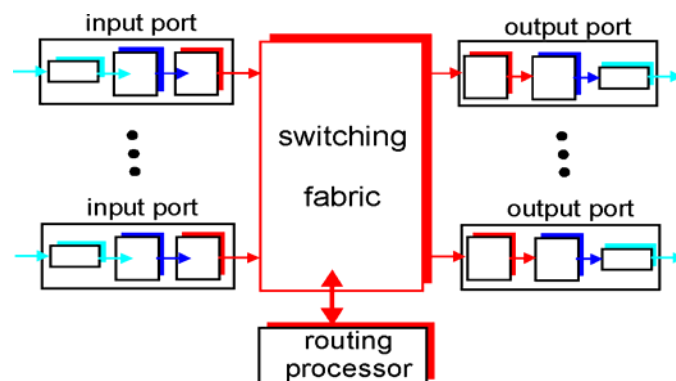
- ❑ Intra-AS: pode focar em desempenho
- ❑ Inter-AS: políticas podem ser mais importantes

4: Camada de Rede 51

Sumário de Arquitetura de Roteadores

Duas funções chave de roteadores:

- ❑ usam algoritmos/protocolos de roteamento (RIP, OSPF, BGP)
- ❑ *comutam* datagramas do enlace de entrada para a saída



: Rede 52

IPv6

- ❑ **Motivação inicial:** espaço de endereços de 32-bits completamente alocado até 2008.
- ❑ **Motivação adicional :**
 - formato do cabeçalho facilita acelerar processamento/re-encaminhamento
 - mudanças no cabeçalho para facilitar QoS
- ❑ **formato do datagrama IPv6:**
 - cabeçalho de tamanho fixo de 40 bytes
 - não admite fragmentação
- ❑ **checksum:** removido para reduzir tempo de processamento em roteador
- ❑ **ICMPv6:** versão nova de ICMP
 - tipos adicionais de mensagens, p.ex. "Pacote Muito Grande"

4: Camada de Rede 53

Transição de IPv4 para IPv6

- ❑ **Nem todos roteadores podem ser atualizados simultaneamente**
 - "dias de mudança geral" inviáveis
 - Como a rede pode funcionar com uma mistura de roteadores IPv4 e IPv6?
- ❑ **Duas abordagens propostas:**
 - *Pilhas Duais:* alguns roteadores com duas pilhas (v6, v4) podem "traduzir" entre formatos
 - *Tunelamento:* datagramas IPv6 carregados em datagramas IPv4 entre roteadores IPv4

4: Camada de Rede 54