

Redes de Computadores

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

<http://www.gta.ufrj.br/~miguel>

Roteiro Resumido

- Princípios básicos da Internet
- Princípios básicos de comunicação em redes
- Descrição das diferentes camadas de protocolos
 - Camada de aplicação e os seus protocolos
 - Camada de transporte e os seus protocolos
 - Camada de rede
 - Camada de enlace

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

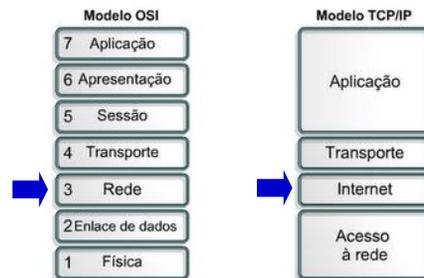
Parte III

Camada de Rede e seus Protocolos

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Rede



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Rede

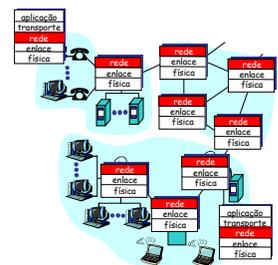
- Responsável por:
 - Determinar o melhor caminho para o envio dos pacotes
 - É função dos **protocolos de roteamento**
 - Encaminhar os pacotes até o destino
 - É função do **protocolo IP**
 - Interconectar redes de diferentes tecnologias
 - É função do **protocolo IP**

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Rede

- Protocolos da camada de rede
 - Executados nos sistemas finais e nos roteadores

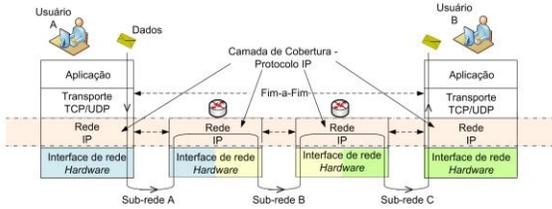


COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

Camada de Rede

- Protocolos da camada de rede
 - Executados nos sistemas finais e nos roteadores

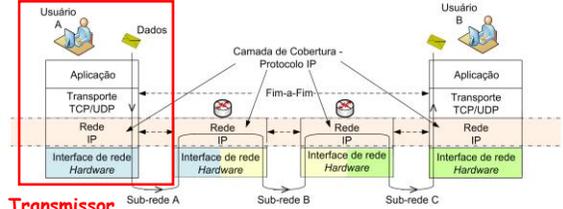


Transporta segmentos da estação remetente à receptora

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Camada de Rede

- Protocolos da camada de rede
 - Executados nos sistemas finais e nos roteadores



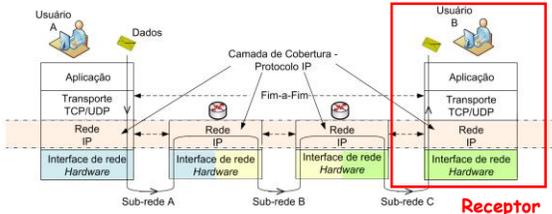
Transmissor

Transmissor encapsula segmentos dentro de datagramas

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Camada de Rede

- Protocolos da camada de rede
 - Executados nos sistemas finais e nos roteadores



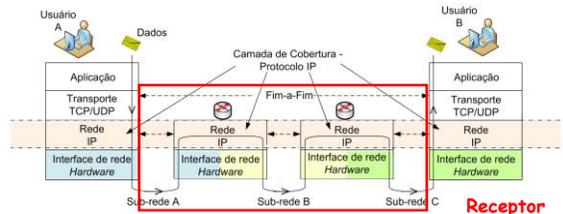
Receptor

Receptor entrega os segmentos para a camada de transporte

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Camada de Rede

- Protocolos da camada de rede
 - Executados nos sistemas finais e nos roteadores



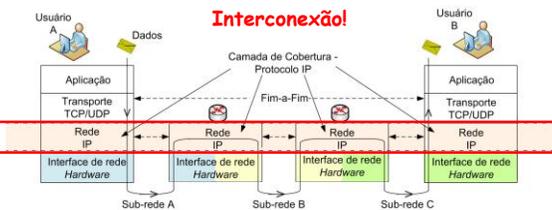
Receptor

Roteadores examinam campos de cabeçalho de todos os datagramas IP que passam por eles

Camada de Rede

- Protocolos da camada de rede
 - Executados nos sistemas finais e nos roteadores

Interconexão!



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Transparência

- Transparência sintática
 - Pacotes são transferido da origem ao destino sem que a rede modifique os dados
 - Apenas erros de transmissão modificam os dados



Dados da Aplic. + Cab. Aplic. + Cab. Transp.

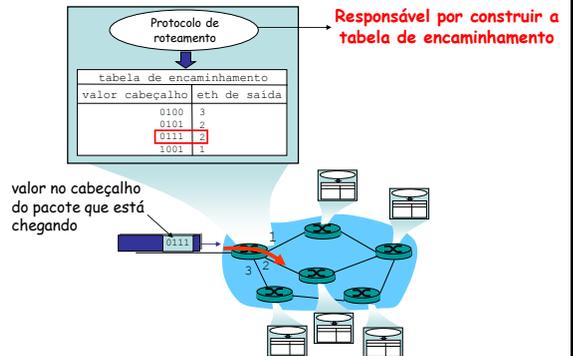
Cab. Rede

Encaminhamento X Roteamento

- Encaminhamento (repassé)
 - "Mover" pacotes de uma entrada do roteador para a saída apropriada
 - É função do protocolo IP
- Roteamento
 - Determinar a rota a ser seguida pelos pacotes da fonte até o destino
 - É função dos protocolos de roteamento

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Encaminhamento X Roteamento



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Modelos de Serviço

- Tipos de serviços que **poderiam** ser oferecidos pela camada de rede
 - Definem as características do transporte de pacotes fim-a-fim entre transmissor e receptor
- Para pacotes individuais
 - Entrega garantida
 - Pacote irá chegar ao destino "mais cedo ou mais tarde"
 - Entrega garantida com atraso limitado
 - Pacote irá chegar com atraso menor que 100 ms

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Modelos de Serviço

- Para fluxos de pacotes
 - Entrega ordenada de pacotes
 - Largura de banda mínima garantida
 - Jitter máximo garantido
 - Serviços de segurança
 - Usando uma chave secreta de sessão o transmissor poderia cifrar o conteúdo de todos os pacotes enviados para o destinatário
- Na Internet
 - Apenas um protocolo: o IP
 - Apenas um serviço oferecido → Melhor esforço

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Melhor Esforço

- Roteadores se esforçam ao máximo para entregar os pacotes
 - Da melhor maneira possível e sem distinção
- Nós simples e de baixo custo - sem estados na rede
 - Encaminhamento de pacote independente um dos outros
 - Sem reserva de recursos, recuperação de erros, garantia de acesso
 - Atraso dependente do tamanho da fila
 - Sem garantia de entrega do pacote ao destino
 - Pacote é descartado no roteador se a fila estiver cheia

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Serviços da Camada de Rede

- Orientado à conexão
 - Redes de circuitos virtuais
- Não-orientado à conexão
 - Redes de datagramas
- Análogos aos serviços da camada de transporte, porém...
 - É um serviço estação-a-estação
 - E não processo-a-processo...
 - É orientado à conexão ou não orientado à conexão
 - E não com escolha (p.ex. a camada de transporte que oferece escolha: TCP ou UDP)
 - É implementado no núcleo da rede
 - E não somente nas bordas

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Circuitos Virtuais

- Emular uma rede de comutação de circuitos utilizando comutação de pacotes
 - Caminho da origem ao destino "se comporta" como um circuito telefônico
 - Em termos de desempenho
 - Em ações da rede ao longo do caminho

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Circuitos Virtuais

- Funcionamento
 - Estabelecimento de uma chamada antes do envio dos dados
 - Cada pacote carrega a identificação do circuito virtual (CV)
 - Ao invés de endereços de origem e destino
 - Cada roteador no caminho origem-destino mantém estado para cada conexão que o atravessa
 - Cada conexão está associada a um CV
 - Recursos de enlace, roteador (banda, buffers) podem ser alocados ao CV

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Circuitos Virtuais

- Um CV consiste de:
 - Caminho da origem para o destino
 - Números (identificadores) de CV
 - Um número para cada enlace ao longo do caminho
 - Entradas nas tabelas de encaminhamento dos roteadores ao longo do caminho
- Pacotes de um dado CV carregam o número desse CV
 - Número do CV deve ser trocado a cada enlace
 - Novo número do CV vem da tabela de encaminhamento

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Circuitos Virtuais: Encaminhamento

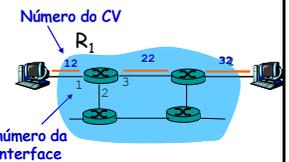


Tabela de encaminhamento no roteador R₁

Interf. de entrada	#CV de entrada	Interf. de saída	#CV de saída
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Circuitos Virtuais: Encaminhamento



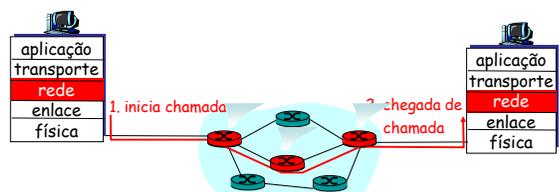
Tabela de encaminhamento no roteador R₁

Interf. de entrada	#CV de entrada	Interf. de saída	#CV de saída
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87
...

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Circuitos Virtuais: Protocolos de Sinalização

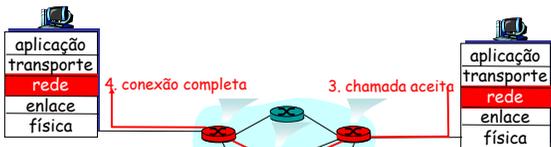
- Responsáveis por estabelecer, manter e destruir um CV
 - Usados em ATM, frame-relay, X.25
 - Não usados na Internet convencional



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Circuitos Virtuais: Protocolos de Sinalização

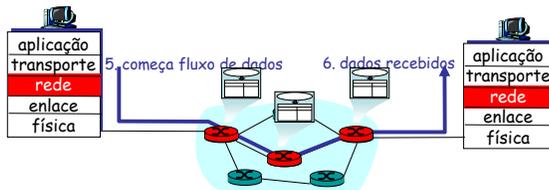
- Responsáveis por estabelecer, manter e destruir um CV
 - Usados em ATM, frame-relay, X.25
 - Não usados na Internet convencional



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Circuitos Virtuais: Protocolos de Sinalização

- Responsáveis por estabelecer, manter e destruir um CV
 - Usados em ATM, frame-relay, X.25
 - Não usados na Internet convencional



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Rede de Datagramas

- Serviço não confiável
- Sem estabelecimento prévio de conexão
- Roteadores não guardam estado sobre conexões
- Pacotes são encaminhados
 - Com base no endereço de destino
 - De acordo com o modelo de melhor esforço
- Dois pacotes entre o mesmo par origem-destino podem seguir caminhos diferentes

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Rede de Datagramas



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Datagramas: Encaminhamento

- Endereço IP: 32 bits
 - 4 bilhões de endereços → 4 bilhões de entradas!
 - Agregação de endereços



Como resumir a tabela?

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Maior Prefixo

Faixa de endereços de destino	Interface de saída
11001000.00010111.00010000.00000000 a	0
11001000.00010111.00010111.11111111 a	1
11001000.00010111.00011000.00000000 a	2
11001000.00010111.00011001.00000000 a	3
Caso contrário	

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Maior Prefixo

Faixa de endereços de destino	Interface de saída
11001000.00010111 a 00010000.00000000 a 11001000.00010111 00010111.11111111	0
11001000.00010111 a 00011000.00000000 a 11001000.00010111 00011000.11111111	1
11001000.00010111 a 00011001.00000000 a 11001000.00010111 00011111.11111111	2
Caso contrário	3

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Maior Prefixo

Faixa de endereços de destino	Interface de saída
11001000.00010111 00010 000.00000000 a 11001000.00010111 00010 111.11111111	0
11001000.00010111 00011000 00000000 a 11001000.00010111 00011000 11111111	1
11001000.00010111 00011 001.00000000 a 11001000.00010111 00011 111.11111111	2
Caso contrário	3

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Maior Prefixo

Faixa de endereços de destino	Interface de saída
11001000.00010111.00010	0
11001000.00010111.00011000	1
11001000.00010111.00011	2
Caso contrário	3

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Maior Prefixo

Faixa de endereços de destino	Interface de saída
11001000.00010111.00010	0
11001000.00010111.00011000	1
11001000.00010111.00011	2
Caso contrário	3

Exemplos

ED: 11001000 00010111 00010110 10100001 Qual interface?

ED: 11001000 00010111 00011000 10101010 Qual interface?

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Maior Prefixo

Faixa de endereços de destino	Interface de saída
11001000.00010111.00010	0
11001000.00010111.00011000	1
11001000.00010111.00011	2
Caso contrário	3

Exemplos

ED: 11001000 00010111 00010110 10100001 Interface 0

ED: 11001000 00010111 00011000 10101010 Interface 1

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Circuitos Virtuais X Datagramas

Características	Circuito Virtual	Datagrama
Estabelecimento de conexão	É necessário	Não é necessário
Endereçamento	Identificador do CV	Endereços da fonte e do destino
Estados	Por conexão	Sem estado
Roteamento	Rota escolhida na conexão e seguida posteriormente	Cada pacote é "independente"
Falha de roteadores	Todos os circuitos fechados	Perda de pacotes durante a falha
Qualidade de serviço	Mais fácil	Difícil
Controle de congestionamento	Mais fácil	Difícil

Arquitetura de Roteadores

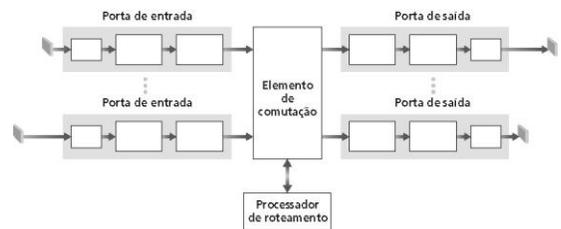
Roteador

- Elemento responsável por...
 - Determinar o caminho entre um par origem-destino
 - Ação distribuída
 - Encaminhar pacotes
 - Interconectar redes distintas

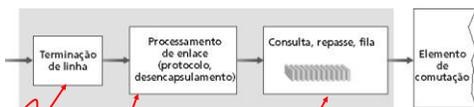
Roteador

- Cada pacote ao chegar a um roteador...
 - Tem seu endereço de destino analisado (*best-prefix match*)
 - Se o endereço for igual ao de uma das interfaces do roteador
 - Pacote é enviado para camada de transporte
 - Caso contrário
 - Pacote é encaminhado a outro roteador pela interface mais indicada

Roteador



Funções das Portas de Entrada

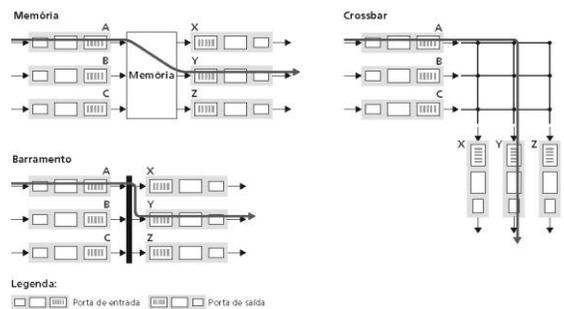


Camada física: recepção de bits

Camada de enlace: p.ex., Ethernet

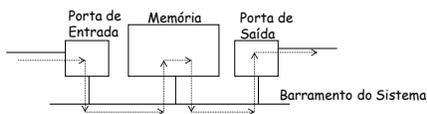
- Comutação descentralizada (realizada em cada porta de entrada):**
- dado o dest. do datagrama, procura porta de saída usando tab. de rotas na memória da porta de entrada
 - meta: completar processamento da porta de entrada na "velocidade da linha"
 - filas: se datagramas chegam mais rápido que taxa de reenvio para matriz de comutação

Três Técnicas de Comutação



Comutação por Memória

- Roteadores da primeira geração
- Pacote copiado pelo processador (único) do sistema para a memória compartilhada
 - Velocidade limitada pela largura de banda da memória
 - **Duas travessias do barramento por datagrama**



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Comutação por Barramento

- Datagrama da memória da porta de entrada é transferido para a memória da porta de saída via um barramento compartilhado
 - Não há intervenção do processador de roteamento
- Disputa (contenção) pelo barramento
 - Taxa de comutação limitada pela largura de banda do barramento
- Caso o barramento esteja ocupado
 - Pacotes são enfileirados na porta de entrada

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

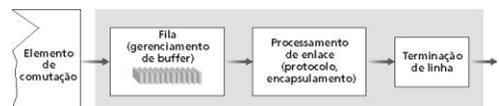
Comutação por Rede de Interconexão (Crossbar)

- Reduz a disputa pelo acesso ao barramento
 - Disputa passa a ser "por porta de saída"
- Define uma rede de interconexões com $2N$ barramentos
 - Interconecta N portas de entrada a N portas de saída
- Caso um barramento esteja ocupado
 - Pacotes são enfileirados na porta de entrada

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Funções das Portas de Saída

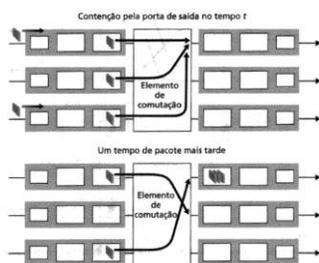
- Filas
 - Necessárias quando datagramas chegam do elemento de comutação mais rapidamente do que a taxa de transmissão
- Escalonador de pacotes escolhe um dos datagramas enfileirados para transmissão



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Como Ocorrem as Filas?

- Portas de saída
 - Usam buffers quando taxa de chegada através do comutador excede taxa de transmissão de saída
 - enfileiramento (retardo) e perdas devido ao transbordo do buffer da porta de saída!



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

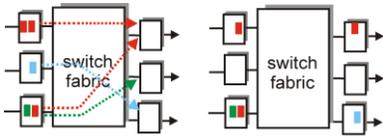
Como Ocorrem as Filas?

- Portas de entrada
 - Se o elemento de comutação for mais lento do que a soma das portas de entrada juntas
 - **Pode haver filas nas portas de entrada**
 - Se um datagrama na cabeça da fila impede outros na mesma fila de avançarem
 - **Há bloqueio de cabeça de fila**

Como consequência, pode haver retardo de enfileiramento e perdas devido ao transbordo do buffer de entrada!

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

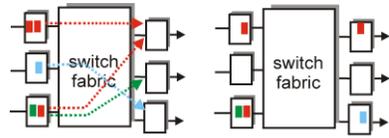
Como Ocorrem as Filas?



Contenção na porta de saída no instante t : somente um pacote vermelho pode ser transferido...

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Como Ocorrem as Filas?



Pacote verde fica bloqueado na cabeceira da fila...

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Internet Protocol (IP)

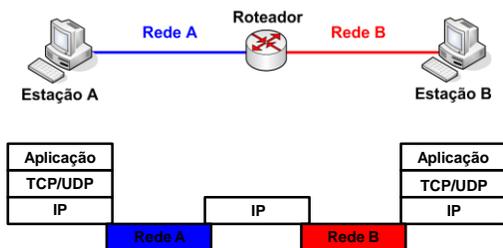
COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Internet Protocol

- Definido pela RFC 791
- É o responsável pelo:
 - Encaminhamento de pacotes
 - Não pelo roteamento!
 - Endereçamento e identificação de estações e roteadores
 - Semântica sobrecarregada

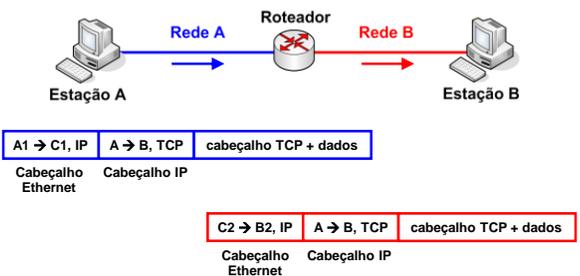
COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Operação do IP



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Transmissão de um Pacote IP



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

IPv4

O Cabeçalho IP

0				1				2				3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Version	IHL	Type of service				Total Length															
Identification				Flags	Fragment Offset																
Time to Live		Protocol		Header Checksum																	
Source Address																					
Destination Address																					
Options				Padding																	

O Cabeçalho IP

0				1				2				3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Version	IHL	Type of service				Total Length															
Identification				Flags	Fragment Offset																
Time to Live		Protocol		Header Checksum																	
Source Address																					
Destination Address																					
Options				Padding																	

Todos os campos possuem tamanho fixo, exceto o campo de opções

Campos do Cabeçalho IP

0				1				2				3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Version	IHL	Type of service				Total Length															
Identification				Flags	Fragment Offset																
Time to Live		Protocol		Header Checksum																	
Source Address																					
Destination Address																					
Options				Padding																	

- Versão (4bits)
 - Versão atual = 4
 - Versão 5 = Protocolo ST-2 (Internet Stream Protocol)
 - Versão do IP orientado à conexão para tráfego de voz
 - Versão 6 = "A próxima geração"
 - Versões 7 e 8

Campos do Cabeçalho IP

0				1				2				3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Version	IHL	Type of service				Total Length															
Identification				Flags	Fragment Offset																
Time to Live		Protocol		Header Checksum																	
Source Address																					
Destination Address																					
Options				Padding																	

- IHL (*Internet header's length*) (4 bits)
 - Comprimento do cabeçalho, em palavras de 32 bits
 - Varia de 5 palavras (quando não há opções) a 15 palavras
 - Ou seja, podem haver 40 bytes de opções, no máximo

Campos do Cabeçalho IP

0				1				2				3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Version	IHL	Type of service				Total Length															
Identification				Flags	Fragment Offset																
Time to Live		Protocol		Header Checksum																	
Source Address																					
Destination Address																					
Options				Padding																	

- Tipo de serviço (*Type of Service*) (8 bits)
 - Define a precedência e o tipo de roteamento desejado para o pacote
 - Utilizado para qualidade de serviço (QoS)

Campos do Cabeçalho IP

Version	IHL	Type of service	Total Length
Identification		Flags	Fragment Offset
Time to Live	Protocol	Header Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Options		Padding	

- Comprimento total (*Total Length*) (16 bits)
 - Comprimento total do pacote, incluindo o cabeçalho
 - Limita o tamanho do pacote a 65,535 bytes
 - Entretanto, os pacotes raramente são maiores que 1.500 bytes

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Campos do Cabeçalho IP

Version	IHL	Type of service	Total Length
Identification		Flags	Fragment Offset
Time to Live	Protocol	Header Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Options		Padding	

- Identification, Flags e Fragment Offset
 - Utilizados no processo de fragmentação e remontagem
 - Identification: identificação do pacote
 - Flag: Indica se o segmento é o último da série
 - Offset: Indica a posição do fragmento no datagrama

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Campos do Cabeçalho IP

Version	IHL	Type of service	Total Length
Identification		Flags	Fragment Offset
Time to Live	Protocol	Header Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Options		Padding	

- Tempo de Vida (*Time to Live -TTL*) (8 bits)
 - Tempo de vida máximo do pacote na rede em segundos
 - Um dos objetivos era saber que depois do TTL máximo, nenhum outro pacote daquela comunicação estaria em trânsito
 - Evita-se misturar pacotes de fluxos de dados diferentes

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Campos do Cabeçalho IP

Version	IHL	Type of service	Total Length
Identification		Flags	Fragment Offset
Time to Live	Protocol	Header Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Options		Padding	

- Tempo de Vida (*Time to Live -TTL*) (8 bits)
 - RFC-791: Um roteador deve sempre decrementar o TTL antes de retransmitir um pacote
 - O TTL deve ser decrementado de 1, se o tempo gasto nas filas e na transmissão ao próximo nó for menor que 1 segundo
 - Ou do número de segundos estimado

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Campos do Cabeçalho IP

Version	IHL	Type of service	Total Length
Identification		Flags	Fragment Offset
Time to Live	Protocol	Header Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Options		Padding	

- Tempo de Vida (*Time to Live -TTL*) (8 bits)
 - Na prática, estimar este tempo é difícil e o tempo de transmissão nos enlaces dificilmente ultrapassa 1s
 - Maioria dos roteadores decremena o TTL de 1
 - Se o TTL atinge o valor 0, o pacote deve ser descartado
 - Sinal que o pacote já trafegou por mais tempo que devia...

Valor padrão: TTL = 64

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Campos do Cabeçalho IP

Version	IHL	Type of service	Total Length
Identification		Flags	Fragment Offset
Time to Live	Protocol	Header Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Options		Padding	

- Source Address e Destination Address (32 bits cada)
 - Identificam a fonte e o destino do pacote, respectivamente

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Campos do Cabeçalho IP

0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3				
Version	IHL	Type of service	Total Length	Identification	Flags	Fragment Offset		Time to Live	Protocol	Header Checksum		Source Address							
								Destination Address				Options				Padding			

- Protocol (8 bits)
 - Determina o programa para o qual o pacote é passado, no destino

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Campos do Cabeçalho IP

- Diferentes protocolos

Decimal	Sigla	Protocolo	Decimal	Sigla	Protocolo
0		Reservado	17	UDP	User Datagram
1	ICMP	Internet Control Message	29	ISO-TP4	ISO Transport Prot Class 4
2	IGMP	Internet Group Management	80	ISO-IP	ISO Internet Protocol (CLNP)
4	IP	IP em IP (encapsulação)	89	OSPF	Open Shortest Path First
6	TCP	Transmission Control	255		Reservado

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Campos do Cabeçalho IP

0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3				
Version	IHL	Type of service	Total Length	Identification	Flags	Fragment Offset		Time to Live	Protocol	Header Checksum		Source Address							
								Destination Address				Options				Padding			

- Header Checksum (16 bits)
 - Proteção do cabeçalho contra erros
 - Muda a cada salto já que o TTL é decrementado e campo de opções pode ser alterado

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

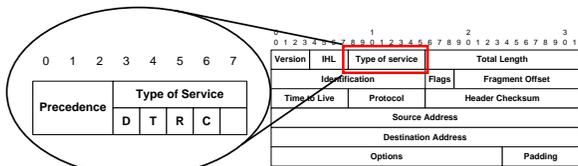
Campos do Cabeçalho IP

- Header Checksum
 - Calculado como:
 - Complemento a 1 da soma de todas as palavras de 16 bits do cabeçalho
 - Considera os bits do checksum em 0
 - Considera o campo de opção
 - Compromisso
 - Não protege contra inserção de palavras em zero (16 bits iguais a zero) ou inversão de palavras...
 - Mas é de simples implementação
 - Calculado a cada salto
 - Caso a verificação falhe, a mensagem é descartada
 - Se não falhar, o checksum é recalculado
 - Campo TTL é decrementado a cada salto

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Precedência e Tipo de Serviço

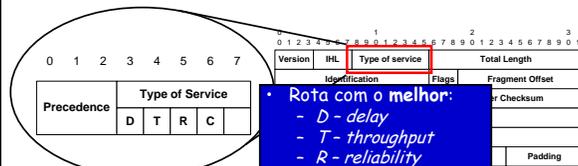
- Precedence (3 bits)
 - Indica a prioridade de transmissão do pacote em fila
 - Valores maiores, maior prioridade
 - RFC791 diz que a precedência é válida apenas dentro de uma rede
 - Evita usuários mal-intencionados



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Precedência e Tipo de Serviço

- Type of Service (5 bits)
 - Útil quando existem múltiplas rotas
 - Indicação para o roteamento
 - Nunca são utilizados mais de um campo
 - Combinação ilegal



- Rota com o melhor:
 - D - delay
 - T - throughput
 - R - reliability
 - C - cost

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

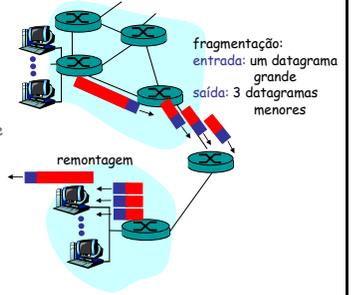
- A fragmentação é necessária
 - Roteador conecta duas tecnologias de rede diferentes
 - Cada uma possui um tamanho máximo de pacote
 - Ex.: Rede com alta perda → pacotes devem ser pequenos
 - Rede com baixa perda → pacotes podem ser grandes
 - Menor MTU do caminho não é conhecida
 - Comumente se utiliza a MTU da rede da fonte

0	1	2	3	0	1	2	3																										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
Version				IHL				Type of service								Total Length																	
Identification																Flags				Fragment Offset													
Time to Live								Protocol								Header Checksum																	
Source Address																																	
Destination Address																																	
Options																Padding																	

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

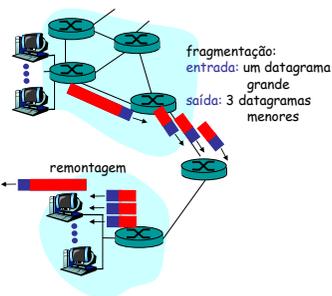
- Cada enlace de rede tem MTU (max. transmission unit) - maior tamanho possível de quadro neste enlace
 - Tipos diferentes de enlace têm MTUs diferentes



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

- 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



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

- Identification (16 bits)
 - Junto ao campo endereço de origem, identifica a qual pacote pertence o fragmento
- Fragment Offset (13 bits)
 - Identifica a posição do fragmento no pacote
 - Palavras de 8 bits

0	1	2	3	0	1	2	3																										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
Version				IHL				Type of service								Total Length																	
Identification																Flags				Fragment Offset													
Time to Live								Protocol								Header Checksum																	
Source Address																																	
Destination Address																																	
Options																Padding																	

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

- Flags (3 bits)
 - Informa se o pacote pode ser fragmentado (DF) e se ainda existem mais fragmentos a serem recebidos (MF)
 - Bit 0 - reservado
 - Bit 1 - don't fragment (DF)
 - Bit 2 - more fragments (MF)

0	1	2	0	1	2	3
0	D	M	0	1	2	3
	F	F				

0	1	2	3	0	1	2	3																										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
Version				IHL				Type of service								Total Length																	
Identification																Flags				Fragment Offset													
Time to Live								Protocol								Header Checksum																	
Source Address																																	
Destination Address																																	
Options																Padding																	

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

- Cada fragmento possui um cabeçalho completo
 - Igual ao do pacote original, exceto pelos campos de comprimento, offset e o bit MF

	Campos do Cabeçalho				Campos de Dados
Pacote Original	Id = X	L = 4000	DF=0, MF=0	Offset = 0	
Fragmento 1	Id = X	L = 1500	DF=0, MF=1	Offset = 0	
Fragmento 2	Id = X	L = 1500	DF=0, MF=1	Offset = 185	
Fragmento 3	Id = X	L = 1040	DF=0, MF=0	Offset = 370	

Datagrama de 4000 bytes e MTU = 1500 bytes

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

- Cada fragmento possui um cabeçalho completo
 - Igual ao do pacote original, exceto pelos campos de comprimento, *offset* e o bit MF



Datagrama de 4000 bytes e MTU = 1500 bytes

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

- Cada fragmento possui um cabeçalho completo
 - Igual ao do pacote original, exceto pelos campos de comprimento, *offset* e o bit MF

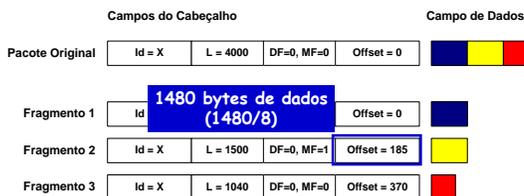


Datagrama de 4000 bytes e MTU = 1500 bytes

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

- Cada fragmento possui um cabeçalho completo
 - Igual ao do pacote original, exceto pelos campos de comprimento, *offset* e o bit MF

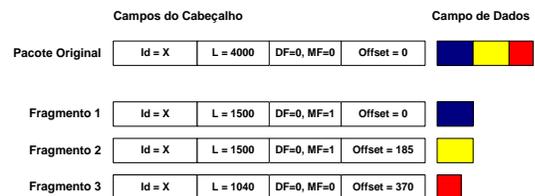


Datagrama de 4000 bytes e MTU = 1500 bytes

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

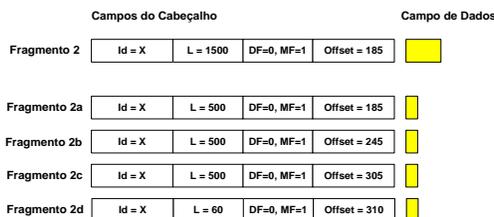
- Cada fragmento possui um cabeçalho completo
 - Igual ao do pacote original, exceto pelos campos de comprimento, *offset* e o bit MF



O bit MF é sempre 1, exceto no último fragmento

Fragmentação e Remontagem

- Em caso de nova fragmentação
 - MF e *offset* são calculados com relação ao pacote original



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

- O campo identificação (16 bits) associado ao endereço de origem identifica a qual pacote pertence o fragmento
- Pacotes são remontados no destino
 - O receptor deve "expirar" pacotes **parcialmente** remontados, após um certo período de espera
 - Ex.: decrementando o campo TTL a cada segundo
 - O emissor só pode reutilizar um identificador após o período igual ao TTL utilizado

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Fragmentação e Remontagem

- A fragmentação é ineficiente combinada com o TCP
 - Perda de um fragmento implica retransmissão do pacote inteiro
- A memória dos roteadores pode ser desperdiçada
 - Os fragmentos de um determinado pacote ficam armazenados em buffers antes de serem encaminhados

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

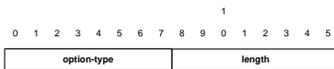
Como Evitar a Fragmentação?

- O TCP implementa um mecanismo de descoberta da MTU (*Maximum Transmission Unit*) do caminho
 - Tentativas com diferentes tamanhos de pacote e com o campo DF (Don't Fragment) em 1
 - O TCP utiliza como MTU o maior tamanho entregue

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

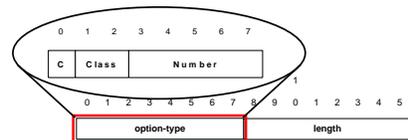
Opções do IP

- Definido para criação de funcionalidades especiais, através do roteamento específico de alguns pacotes
- *Options*
 - Pode transportar vários parâmetros
 - Cada opção começa por um byte de "tipo de opção"
 - O segundo byte normalmente indica o comprimento da opção



Opções do IP

- Flag *C* (*Copied*)
 - Indica que a opção deve ser copiada em todos os fragmentos ou apenas no primeiro
- *Class*
 - 0: opções de controle e 2: opções de debug e medidas
- *Number*
 - Identifica uma opção dentro de cada classe



Opções do IP

Classe	Número	Compr.	Significado
0	0	-	End of Option list. Indica o fim da lista de opções, possui apenas 1 byte. Não há byte de comprimento.
0	1	-	No Operation. Possui apenas 1 byte. Não há byte de comprimento.
0	2	11	Security. Utilizada para carregar parâmetros de segurança definidos pelo dep. de defesa americano.
0	3	var.	Loose Source Routing. Utilizada para rotear o pacote IP de acordo com a informação fornecida pela fonte.
0	7	var.	Record Route. Utilizada para registrar a rota atravessada pelo pacote IP.
0	8	4	Stream ID. Utilizada para carregar o identificador do stream.
0	9	var.	Strict Source Routing. Utilizada para rotear o pacote IP de acordo com a informação fornecida pela fonte.
2	4	var.	Internet Timestamp.

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Opções do IP

Classe	Número	Compr.	Significado
0	0	-	End of Option list. Indica o fim da lista de opções, possui apenas 1 byte. Não há byte de comprimento.
0	1	-	No Operation. Possui apenas 1 byte. Não há byte de comprimento.
0	2	11	Security. Utilizada para carregar parâmetros de segurança definidos pelo dep. de defesa americano.
0	3	var.	Loose Source Routing. Utilizada para rotear o pacote IP de acordo com a informação fornecida pela fonte.
0	7	var.	Record Route. Utilizada para registrar a rota atravessada pelo pacote IP.
0	8	4	Stream ID. Utilizada para carregar o identificador do stream.
0	9	var.	Strict Source Routing. Utilizada para rotear o pacote IP de acordo com a informação fornecida pela fonte.
2	4	var.	Internet Timestamp.

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Opções do IP

- *No operation*
 - Utilizada para enchimento entre opções, de forma que o início da opção esteja alinhado em 32 bits
- *End of option*
 - Indica o ponto onde a opção termina, mesmo se o campo IHL indicar mais espaço alocado para opções
- **A maioria das opções não é usada**
 - Stream ID foi usada apenas no experimento Satnet
 - Security codifica necessidades militares dos anos 70
 - *Timestamp e route record* visavam serviços que o programa `traceroute` implementa

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Roteamento pela Fonte

- Caminho do pacote é definido no nó de origem
- Duas possibilidades
 - *Strict Routing*
 - Define o caminho completo
 - *Loose Routing*
 - Define alguns nós do caminho

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Roteamento pela Fonte



- *Route data*
 - Contém a lista de endereços pelos quais o pacote deve passar
- *Pointer*
 - Aponta para o próximo endereço da lista a ser utilizado

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

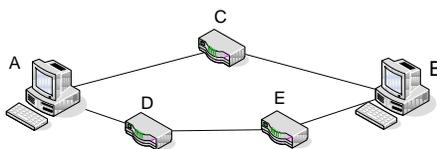
Roteamento pela Fonte

- Funcionamento
 - O campo *Destination Address* do cabeçalho possui o endereço IP do próximo nó pelo qual o pacote deve passar
 - Quando este destino é atingido, a opção é examinada
 - O campo *pointer* indica um número de octetos a partir do início da opção, de onde deve ser lido o próximo endereço
 - Se *pointer* maior que o comprimento da opção
 - O destino final foi atingido

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Como Evitar o Source Routing?

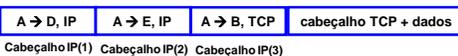
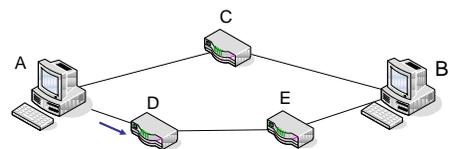
- Como enviar um pacote de A para B, passando pelos roteadores D e E
 - Encapsulamento IP sobre IP → tunelamento



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Como Evitar o Source Routing?

- Como enviar um pacote de A para B, passando pelos roteadores D e E
 - Encapsulamento IP sobre IP → tunelamento

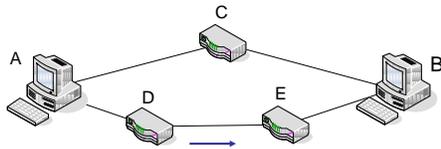


Cabeçalho IP(1) Cabeçalho IP(2) Cabeçalho IP(3)

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Como Evitar o Source Routing?

- Como enviar um pacote de A para B, passando pelos roteadores D e E
 - Encapsulamento IP sobre IP → tunelamento



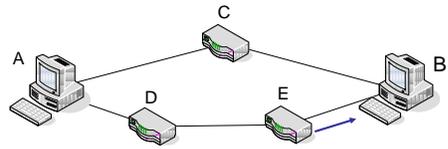
A → E, IP A → B, TCP cabeçalho TCP + dados

Cabeçalho IP(1) Cabeçalho IP(2)

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Como Evitar o Source Routing?

- Como enviar um pacote de A para B, passando pelos roteadores D e E
 - Encapsulamento IP sobre IP → tunelamento



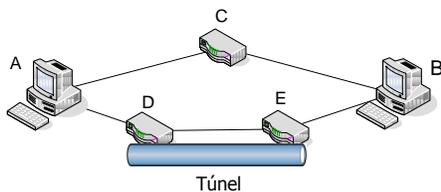
A → B, TCP cabeçalho TCP + dados

Cabeçalho IP

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Como Evitar o Source Routing?

- Como enviar um pacote de A para B, passando pelos roteadores D e E
 - Encapsulamento IP sobre IP → tunelamento



Túnel

Tunelamento é usado para realizar encapsulamento de dados de "mesma camada"

Processamento do Cabeçalho IP

- Operações para encaminhar um pacote
 1. Verificação da versão, do *checksum*, tamanho do pacote, e leitura das opções (se houver)
 2. Consultar a tabela de roteamento para o destino e tipo de serviço do pacote
 3. Obter a interface e endereço no meio físico

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Processamento do Cabeçalho IP

- Operações para encaminhar um pacote
 1. Verificação da versão, do *checksum*, tamanho do pacote, e leitura das opções (se houver)
 2. Consultar a tabela de roteamento para o destino e tipo de serviço do pacote
 3. Obter a interface e endereço no meio físico



Número grande de operações!

Como encaminhar pacotes a taxas da ordem de Gb/s?

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Processamento do Cabeçalho IP

- Roteadores otimizam as operações mais comuns (*fast-path*)
 - Ex.: *caches* com rotas mais utilizadas, processamento em paralelo de múltiplos campos
- Pacotes **sem opções**
 - Possuem cabeçalho de tamanho fixo
 - Passam pelo *fast-path*
- Pacotes **com opções**
 - Seguem o caminho "normal"
 - Além disso, em alguns roteadores, pacotes com opções possuem menos prioridade para aumentar o desempenho global

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Problema das Classes de Endereço

- Número fixo de redes e estações por rede
 - Classe A
 - Número pequeno de redes
 - Número excessivo de estações por rede
 - Classe C
 - Número pequeno de estações por rede
 - Número excessivo de redes
- Resultado



Esgotamento da classe B!

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Classless Inter-Domain Routing architecture (CIDR)

- Acaba com as classes
 - Introduz o conceito de máscara de rede
- Permite
 - Agregação de rotas
 - Aumenta a escalabilidade
 - Reduz o tamanho das tabelas de roteamento
 - Distribuição mais adequada dos endereços IP
 - Resolve o esgotamento dos endereços da classe B
 - Permite melhor planejamento de endereços
 - Número de máquinas vs. número de endereços IP

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Estrutura de Endereçamento CIDR

- Número de rede de comprimento variável
- a.b.c.d/x**
- Os **x** bits mais significativos do endereço são o número de rede → **prefixo**
 - Os 32-**x** bits são o número de estação



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Máscaras de Sub-rede

- Uma máscara de sub-rede pode ser representada através da notação:
 - Endereço da rede+sub-rede/<número de bits em 1 da máscara>
- Ex1.: 192.168.0.0/16
- Notação equivalente a dizer que a máscara é 255.255.0.0
- Ex2.: 192.168.3.0/26
- Notação equivalente a dizer que a máscara é 255.255.255.192

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Estrutura de Endereçamento CIDR

- Como obter o número de rede/prefixo a partir do endereço IP?

Prefixo = (Endereço IP) AND (Máscara)

200.23.16.1/255.255.254.0

endereço	11001000	00010111	00010000	00000001
máscara	11111111	11111111	11111110	00000000
rede	11001000	00010111	00010000	00000000

(200.23.16.0)

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Estrutura de Endereçamento CIDR

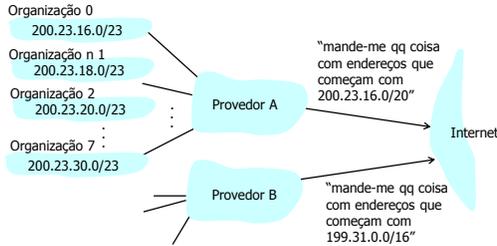
- P:** Como uma sub-rede obtém a parte de rede do endereço IP?
- R:** Recebe uma porção do espaço de endereços do seu ISP (provedor)

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

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereçamento Hierárquico

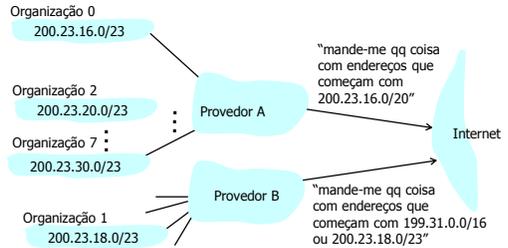
Endereçamento hierárquico permite anunciar eficientemente informação sobre rotas **agregação**



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereçamento Hierárquico

Provedor B tem uma rota mais específica para a Organização 1



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

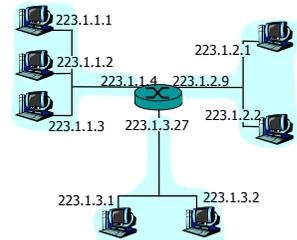
Endereços e Interfaces

- Endereços IP identificam **interfaces de rede**
 - **NÃO** identificam estações
 - Uma única estação pode ter várias interfaces de rede
- Uma estação com várias interfaces de rede possui vários endereços IP
 - Estação *multihomed*
 - Exs. roteadores, estações que balanceiam o tráfego entre diversas redes
- Cada endereço pertence a uma sub-rede, que geralmente corresponde a uma "rede física"

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Sub-redes

- O que é uma sub-rede IP?
 - Interfaces de dispositivos com a mesma parte de rede nos seus endereços IP
 - Podem alcançar um ao outro sem passar por um roteador

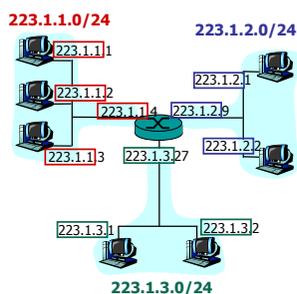


Esta rede consiste de 3 sub-redes IP

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Sub-redes

- O que é uma sub-rede 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 sub-redes IP

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereços e Interfaces

- Entradas na tabela de roteamento dos roteadores
 - Normalmente apontam para sub-redes
 - Entretanto, podem eventualmente apontar para endereços de máquinas

```
[user@exemplo ~]$ route -n
Tabela de Roteamento IP do Kernel
Destino      Roteador      MáscaraGen.  Opções Métrica Ref  Uso  Iface
200.20.10.64 0.0.0.0       255.255.255.224 U      0      0    0    eth0
169.254.0.0  0.0.0.0       255.255.0.0   U      0      0    0    eth0
0.0.0.0      200.20.10.65 0.0.0.0       UG     0      0    0    eth0
```

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereços e Interfaces

- Por que não um endereço por estação?
 - Um endereço por interface permite *escolher o caminho* utilizado para chegar a uma estação
 - Busca do melhor caminho e balanceamento de carga
 - Endereços por interface permitem a *agregação de endereços* nas tabelas de roteamento
 - Se os endereços não fossem ligados à topologia, seria necessária uma entrada na tabela de roteamento para cada estação
 - Cada interface pertence a uma sub-rede
 - Um endereço por interface permite *manter conectividade* em caso de falha de uma interface
 - Tolerância a falhas

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereços e Interfaces

- Desvantagens
 - Todos os endereços de uma estação devem ser incluídos no servidor de nomes
 - Para se comunicar com um determinado nó, deve-se saber todos os possíveis endereços desse nó
 - O "melhor endereço" deve ser escolhido para uma conexão
 - Melhor depende de diversos fatores como caminho, requisitos da aplicação etc.
 - O endereço fonte deve ser cuidadosamente escolhido pela aplicação
 - Determina o caminho seguido pelos pacotes de resposta

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereços Especiais

- Endereço de rede
 - Usado para identificar uma rede
 - Geralmente, o primeiro endereço IP da faixa de endereços
 - Ex.: 146.164.0.0
- O "0" pode ser utilizado como **endereço fonte**, quando o número de rede é desconhecido, portanto:
 - 0.0.0.0 significa "esta estação nesta rede"
 - 0.X.Y.Z significa "a estação X.Y.Z nesta rede"
 - Utilizado por ex. quando uma estação está iniciando

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereços Especiais

- Difusão limitada (*limited broadcast*)
 - Formado por todos os bits em "1" – 255.255.255.255
 - Só pode ser utilizado como **endereço destino**
 - Pacote é enviado a todas as estações da sub-rede
 - Não é retransmitido por um roteador

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereços Especiais

- Difusão direcionada (*directed broadcast*)
 - Todos os bits da "parte estação" do endereço são colocados em "1"
 - Ex. "A.255.255.255", "C.C.C.255"
 - Com sub-redes a mesma regra é válida
 - todos os bits do complemento da máscara são colocados em "1"

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereços Especiais

- Consequências
 - Não existe sub-rede identificada apenas por 0's
 - Assim como não existe sub-rede identificada apenas por 1's
 - O tamanho da sub-rede é maior ou igual a 2 bits
 - Sub-rede com apenas um bit:
 - O "1" seria usado para broadcast
 - O "0" para a própria rede
 - E não sobriariam bits para estações...

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Endereços Especiais

- Endereço de *loopback*
 - Na verdade, existe um número de rede de *loopback*
 - Rede Classe A: "127.0.0.0\8"
- Qualquer endereço da forma "127.x.y.z" é:
 - Local e não é transmitido para fora da estação

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Alocação de Endereços IP

- Atualmente
 - ICANN (*The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*)
 - Organização sem fins lucrativos responsável pela
 - Alocação do espaço de endereçamento IP
 - Atribuição de parâmetros de protocolos
 - Gerenciamento do sistema de nomes de domínios
 - Gerenciamento dos servidores raiz
- Anteriormente
 - IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*) e outras entidades através de contratos com o governo americano

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Alocação de Endereços IP

- Os endereços IP são alocados através de delegações de acordo com uma estrutura hierárquica
 1. Usuários recebem endereços IP de um provedor de serviço (ISP - *Internet Service Provider*)
 2. ISPs obtêm faixas de endereços IP de uma autoridade de registro local (LIR - *Local Internet Registry*), nacional (NIR - *National Internet Registry*), ou regional (RIR - *Regional Internet Registry*)
- O papel do ICANN é alocar faixas de endereços aos RIRs, de acordo com suas necessidades e a partir das faixas de endereços livres

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Alocação de Endereços IP

- RIR - *Regional Internet Registry*
 - APNIC (*Asia Pacific Network Information Centre*)
 - Região Ásia/Pacífico
 - ARIN (*American Registry for Internet Numbers*)
 - América do Norte e África ao Sul do Saara
 - LACNIC (*Regional Latin-American and Caribbean IP Address Registry*)
 - América Latina e algumas Ilhas Caribenhas
 - RIPE NCC (*Réseaux IP Européens*)
 - Europa, Oriente Médio, Ásia Central e África do Norte

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

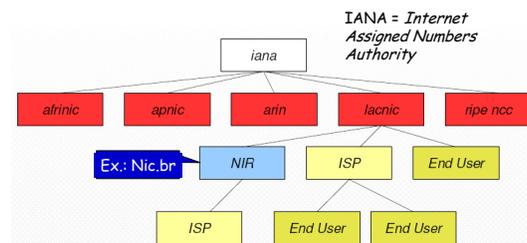
Alocação de Endereços IP



LACNIC é a instituição responsável para a América Latina e o Caribe

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Alocação de Endereços IP



No Brasil, estas funções foram delegadas ao NIC.br pelo Comitê Gestor da Internet BR (CGI.br)

Regras disponíveis em:
<http://registro.br/provedor/numeracao/regras.html>

Internet Control Message Protocol (ICMP)

- **Objetivo**
 - Diagnóstico de condições de erro da rede
 - **Simplicidade do IP dificulta diagnóstico de falhas**
- **Executado em cima do IP**
 - **Protocol type = 1**
- **Todo sistema que roda IP deve rodar o ICMP**
- **Não provê confiabilidade**
 - Apenas informação sobre problemas na rede

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

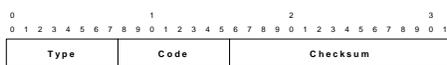
Internet Control Message Protocol (ICMP)

- Erros de transmissão de pacotes IP geram mensagens ICMP
 - Exceto erros nas próprias mensagens ICMP
 - Se as mensagens ICMP também gerassem mensagens de erro
 - **Poderia haver recursividade e avalanche de mensagens de controle**
 - **Ex.: Problemas ligados a congestionamentos na rede**

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Mensagens ICMP

- **Cabeçalho**
 - Toda mensagem ICMP possui uma parte do cabeçalho em comum



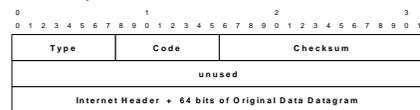
Tipo	Significado	Code	Significado
0	Echo Reply	10	Router Solicitation
3	Destination Unreachable	11	Time Exceeded
4	Source Quench	12	Parameter Problem
5	Redirect	13	Timestamp
8	Echo	14	Timestamp Reply
9	Router Advertisement	15	Information Request
		16	Information Reply

O checksum do cabeçalho é calculado como no IP

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Diagnóstico com o ICMP

- **Problemas operacionais → Mais comuns**
 - *Destination Unreachable*
 - *Time Exceeded*
 - *Source Quench*



- **Formato comum**
 - Cabeçalho básico do ICMP + 32 bits de enchimento + Primeiros bytes do pacote que causou o envio do ICMP

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Diagnóstico com ICMP

- **ICMP envia**
 - Cabeçalho IP completo e os 8 primeiros bytes do datagrama
 - **Esses dados representam informação suficiente para o nó de origem do pacote IP entender o motivo do erro**

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Diagnóstico com o ICMP

- **Destination Unreachable**
 - Roteador não consegue encaminhar um pacote
 - Código:
 - 0 = *net unreachable*
 - 1 = *host unreachable*
 - 2 = *protocol unreachable*
 - 4 = *fragmentation needed but DF set*
 - 5 = *source route failed*

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Diagnóstico com ICMP

- *Time Exceeded*
 - TTL expirado
 - Código
 - 0 = em trânsito
 - 1 = durante remontagem
- *Source Quench*
 - Enviado pelo roteador para sinalizar congestionamento
 - Não utiliza código (code = 0)

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/DeI-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Ping

- Testa se uma estação está "viva"
 - Ou se a conectividade da rede está funcionando
- Utiliza a função *echo* do ICMP
 - Tipo:
 - 8 = Echo
 - 0 = Echo Reply

0										1										2										3									
Type = 8 (0)					Code = 0					Checksum																													
Identifier										Sequence Number																													
Data																																						

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/DeI-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Ping

- Resposta (*Echo Reply*)
 - Endereços fonte e destino são trocados
 - Troca do valor do tipo da mensagem
 - Checksums IP e ICMP recalculados
 - Dados inalterados

0										1										2										3									
Type = 8 (0)					Code = 0					Checksum																													
Identifier										Sequence Number																													
Data																																						

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/DeI-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Ping

- Campos identificação e número de sequência possibilitam estatísticas
- Outras mensagens ICMP com funcionalidade semelhante
 - Type = 15 - Information Request
 - Type = 16 - Information Reply

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/DeI-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Exemplo de Ping

```
PING angra (146.164.69.1) from 146.164.69.2 : 56(84) bytes of data.
recreio::user [ 31 ] ping angra
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=1 ttl=64 time=0.471 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=2 ttl=64 time=0.404 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=3 ttl=64 time=0.544 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=4 ttl=64 time=0.388 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=5 ttl=64 time=0.398 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=6 ttl=64 time=0.398 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=7 ttl=64 time=0.495 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=8 ttl=64 time=0.436 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=9 ttl=64 time=0.413 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=10 ttl=64 time=0.407 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=11 ttl=64 time=0.393 ms
64 bytes from angra (146.164.69.1): icmp_seq=12 ttl=64 time=0.391 ms

--- angra ping statistics ---
12 packets transmitted, 12 received, 0% loss, time 11109ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.388/0.428/0.544/0.049 ms
```

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/DeI-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Traceroute

- Identifica os roteadores entre uma fonte e um destino
- Funcionamento:
 - Envio sucessivo de pacotes para o destino, variando o TTL
 - UDP em uma porta não utilizada
 - TTL inicial igual a 1
 - Primeiro roteador decrementa o TTL, descarta o pacote, e envia uma mensagem ICMP TTL Exceeded
 - Roteador identificado através do Source Address da mensagem

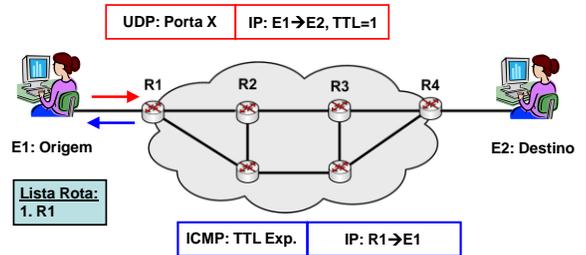
COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/DeI-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Traceroute

- Identifica os roteadores entre uma fonte e um destino
- Funcionamento:
 - A fonte continua o processo incrementando o TTL de 1 até chegar ao destino ou alcançar um enlace com problema
 - O destino é identificado, pois ele envia uma mensagem ICMP Port unreachable

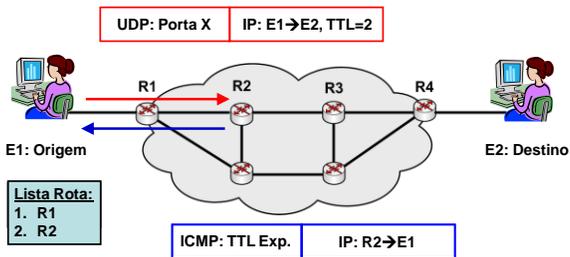
COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Traceroute



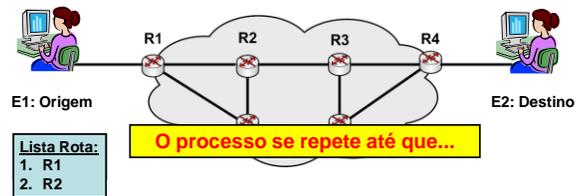
COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Traceroute



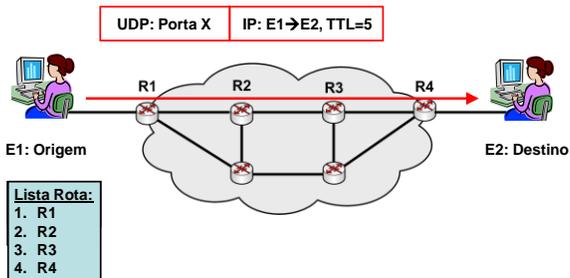
COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Traceroute



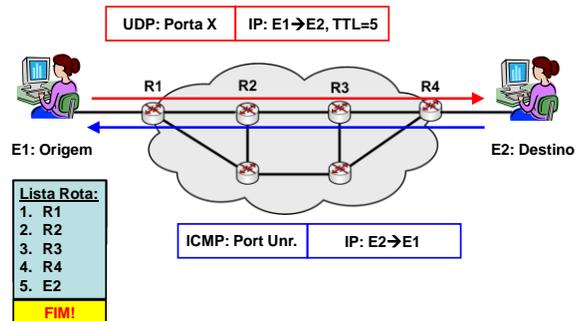
COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Traceroute



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Traceroute



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Exemplo de Traceroute

```

recreio:~# traceroute sphinx.lip6.fr
traceroute to sphinx.lip6.fr (132.227.74.253), 30 hops max, 38 byte packets
 1 angra (146.164.69.1)  0.596 ms  0.349 ms  0.341 ms
 2 rt-ct-bloco-H.ufrj.br (146.164.5.193)  175.723 ms  203.553 ms  30.226 ms
 3 rt-nce2.ufrj.br (146.164.1.5)  51.432 ms  3.994 ms  4.137 ms
 4 rederio2-atm-cbpf.rederio.br (200.20.94.58)  3.495 ms  4.421 ms  4.664 ms
 5 200.143.254.66 (200.143.254.66)  4.184 ms  12.224 ms  200.143.254.78
 6 rj7507-fast6_1.bb3.rnp.br (200.143.254.93)  4.473 ms  4.135 ms  4.550 ms
 7 ds3-rnp.ampath.net (198.32.252.237)  110.658 ms  106.239 ms  107.241 ms
 8 abilene.ampath.net (198.32.252.254)  125.393 ms  135.971 ms  127.111 ms
 9 washng-atla.abilene.ucaid.edu (198.32.8.66)  143.388 ms  154.348 ms  144.619 ms
10 abilene.de2.de.geant.net (62.40.103.253)  234.914 ms  235.300 ms  239.316 ms
11 de2-1.del.de.geant.net (62.40.96.129)  234.644 ms  238.821 ms  236.147 ms
12 de.frl.fr.geant.net (62.40.96.50)  231.422 ms  232.743 ms  232.437 ms
13 renater-gw.frl.fr.geant.net (62.40.103.54)  234.984 ms  234.233 ms  231.723 ms
14 jussieu-al-1-580.cssi.renater.fr (193.51.179.154)  230.906 ms  231.090 ms
 233.714 ms
15 rap-jussieu.cssi.renater.fr (193.51.182.201)  232.602 ms  232.125 ms  238.066 ms
16 cr-jussieu.rap.prd.fr (195.221.126.77)  235.182 ms  239.903 ms  276.221 ms
17 jussieu-rap.rap.prd.fr (195.221.127.182)  234.955 ms  237.264 ms  234.210 ms
18 r-scott.reseau.jussieu.fr (134.157.254.10)  233.992 ms  238.306 ms  239.047 ms
19 olympe-gw.lip6.fr (132.227.109.1)  236.396 ms !N 235.261 ms !N 234.322 ms !N
    
```

Exemplo de Ping -R

```

recreio:~# ping -R sphinx.lip6.fr
PING sphinx.lip6.fr (132.227.74.253) from 146.164.69.2 : 56(124) bytes of data.
64 bytes from sphinx.lip6.fr (132.227.74.253): icmp_seq=1 ttl=237 time=252 ms
RR:   recreio (146.164.69.2)
      gtagw (146.164.5.210)
      rt-ct2.ufrj.br (146.164.1.3)
      ufrj-atm.rederio.br (200.20.94.9)
      200.143.254.65
      rj-fast4_1.bb3.rnp.br (200.143.254.94)
      rnp.ampath.net (198.32.252.238)
      abilene-oc3.ampath.net (198.32.252.253)
      atla-washng.abilene.ucaid.edu (198.32.8.65)
64 bytes from sphinx.lip6.fr (132.227.74.253): icmp_seq=2 ttl=237 time=289 ms
RR:   recreio (146.164.69.2)
      ...
64 bytes from sphinx.lip6.fr (132.227.74.253): icmp_seq=3 ttl=237 time=247 ms
RR:   recreio (146.164.69.2)
      ...
--- sphinx.lip6.fr ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% loss, time 2021ms
rtt min/avg/max/mdev = 247.821/263.167/289.150/18.477 ms
    
```

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Exemplo de Ping -R

```

recreio:~# ping -R sphinx.lip6.fr
PING sphinx.lip6.fr (132.227.74.253) from 146.164.69.2 : 56(124) bytes of data.
64 bytes from sphinx.lip6.fr (132.227.74.253): icmp_seq=1 ttl=237 time=252 ms
RR:   recreio (146.164.69.2)
      gtagw (146.164.5.210)
      rt-ct2.ufrj.br (146.164.1.3)
      ufrj-atm.rederio.br (200.20.94.9)
      200.143.254.65
      rj-fast4_1.bb3.rnp.br (200.143.254.94)
      rnp.ampath.net (198.32.252.238)
      abilene-oc3.ampath.net (198.32.252.253)
      atla-washng.abilene.ucaid.edu (198.32.8.65)
64 bytes from sphinx.lip6.fr (132.227.74.253): icmp_seq=2 ttl=237 time=289 ms
RR:   recreio (146.164.69.2)
      ...
64 bytes from sphinx.lip6.fr (132.227.74.253): icmp_seq=3 ttl=237 time=247 ms
RR:   recreio (146.164.69.2)
      ...
--- sphinx.lip6.fr ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% loss, time 2021ms
rtt min/avg/max/mdev = 247.821/263.167/289.150/18.477 ms
    
```

Use a opção Record Route do IP!
Limitado ao tamanho do campo "opções"

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Gerenciamento de Tempo

Mensagens

- Type = 13 - Timestamp
- Type = 14 - Timestamp reply

0										1										2										3									
Type = 8 (0)		Code = 0		Checksum		Identifier		Sequence Number		Originate Timestamp		Receive Timestamp		Transmit Timestamp																									

Tempos expressos em ms desde 0:00 h GMT

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

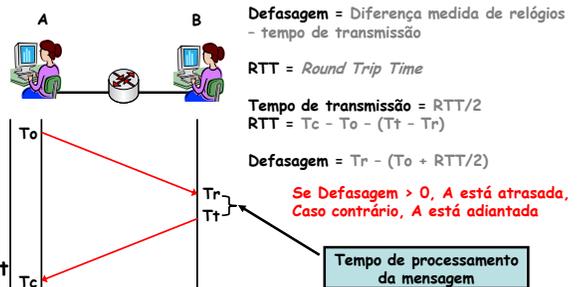
Cálculo da Defasagem entre Duas Estações

Funcionamento

- Estação A preenche o tempo de origem (T_o) pouco antes de enviar a mensagem
- Na recepção, a estação B preenche o tempo de recepção (T_r)
 - Assim que a mensagem chega
 - Em seguida, a estação B prepara a resposta
- Antes do envio da resposta, B preenche o tempo de transmissão (T_t)
- Ao receber a resposta, A armazena o tempo de chegada (T_c)
 - Assim que a mensagem chega

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Cálculo da Defasagem entre Duas Estações



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Envio de Pacotes IP

- Roteadores
 - Executam um protocolo de roteamento
- Estações
 - Não, necessariamente, executam um protocolo de roteamento
- Porque...
 - Complexidade e variedade dos protocolos de roteamento modernos
 - Poderia-se apenas "ouvir" as mensagens de roteamento
 - Algumas vezes este processo pode não ser fácil
 - Ex. mecanismos de segurança (autenticação, criptografia)

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Envio de Pacotes IP

- Roteadores
 - Executam um protocolo de roteamento
- Estações
 - Não, necessariamente, executam um protocolo de roteamento
- Porque...
 - Complexidade e variedade dos protocolos de roteamento modernos
 - Poderia-se apenas "ouvir" as mensagens de roteamento
 - Algumas vezes este processo pode não ser fácil
 - Ex. mecanismos de segurança (autenticação, criptografia)

O que é necessário para uma estação enviar um pacote?

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Envio de Pacotes IP

- Roteadores
 - Executam um protocolo de roteamento
- Estações
 - Não, necessariamente, executam um protocolo de roteamento
- Porque...
 - Complexidade e variedade dos protocolos de roteamento modernos
 - Poderia-se apenas "ouvir" as mensagens de roteamento
 - Algumas vezes este processo pode não ser fácil
 - Ex. mecanismos de segurança (autenticação, criptografia)

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Descoberta do Próximo Salto

- Dado um pacote IP a transmitir, a quem enviar?
 - Estação destino na rede
 - Envio direto
 - Estação destino distante
 - Envio a um roteador que encaminhará o pacote
- Para descobrir se a estação de destino está na sub-rede
 - Testa-se a máscara de rede do endereço IP do destino

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Descoberta do Próximo Salto

- Dado um pacote IP a transmitir, a quem enviar?
 - Estação destino na rede
 - Envio direto
 - Estação destino distante
 - Envio a um roteador, que encaminhará o pacote
- Para descobrir se a estação de destino está na sub-rede...
 - Testa-se a máscara de rede do endereço IP do destino

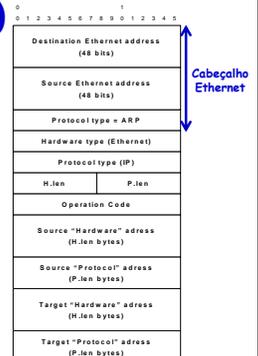


Independente se está na sub-rede, o próximo passo é descobrir o endereço físico (MAC) do próximo salto

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Address Resolution Protocol (ARP)

- Envio de ARP request
 - Realizado em *broadcast*
 - op. code 1
- Máquina que reconhece seu IP no ARP request
 - Envia um ARP response
 - op. code 2
- Uso de cache
 - Utilizada para evitar o envio frequente de requisições ARPs



COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Descoberta do Roteador

- Por configuração
ou
- Usando o ICMP
 - Roteadores enviam mensagens **ICMP router advertisement** (type = 10) **periodicamente**
 - Estações podem enviar mensagens **ICMP router solicitation** (type = 9) para requisitar anúncios de rotas
 - O objetivo do procedimento é descobrir **um** roteador de saída, não necessariamente **o melhor** roteador de saída...
 - Mensagens **ICMP redirect** podem ser utilizadas para informar as estações de rotas melhores

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Anúncios (Router Advertisements)

- Podem conter diversos endereços para o mesmo roteador
 - Várias interfaces conectadas à mesma rede
 - Uma interface de rede com dois endereços IP
 - Sub-redes IP na mesma rede física (ex. segmento Ethernet)
 - Preference - prioridade de escolha entre vários roteadores
 - Configurado pelo administrador da rede

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1		1		2		3	
Type = 9	Code = 0	Checksum					
Num. Adrs	Addr. Entry Size	Lifetime					
Router Address[1]							
Preference Level[1]							
Router Address[2]							
Preference Level[2]							
...							

↓
Addr. Entry Size =
2 (Router Address +
Preference)

Anúncios (Router Advertisements)

- São enviados ao endereço **224.0.0.1** (todas as máquinas) ou a **255.255.255.255**
- Informação sobre o roteador de saída
 - Deve ser volátil para evitar uso de rotas em desuso
 - Tempo de vida (*Lifetime*)
 - 30 min.
- Anúncios (*router advertisements*) enviados a cada 7 min.
 - Evitar congestionamento da rede
 - Como o período é longo, estações podem enviar solicitações

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1		1		2		3	
Type = 10	Code = 0	Checksum					
Reserved							

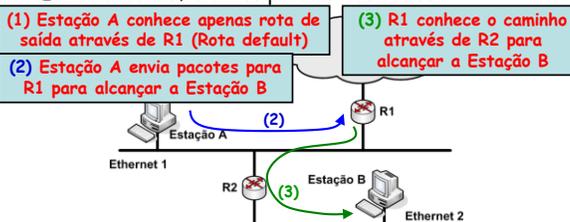
Escolha do Roteador

- *Router solicitation*
 - Enviadas a **224.0.0.2** ("todos os roteadores") ou **255.255.255.255**
- O roteador envia a resposta
 - À estação, ou
 - A todas as estações, se o momento do anúncio estiver próximo
- Estações podem receber várias respostas
 - Devem considerar apenas os roteadores na sua sub-rede
 - Devem selecionar o de maior valor de preferência
 - Devem enviar todo o tráfego para este roteador

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Redirecionamento ICMP

- Evita rotas ineficientes para outras redes

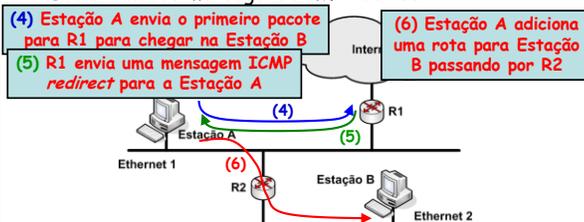


➔ Como evitar que o tráfego destinado a Estação B passe por R1? (duas vezes no segmento Ethernet 1)

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Redirecionamento ICMP

- São utilizadas mensagens **ICMP redirect**



ICMP: Redir., Prox. Salto = R2, Dest. = B IP: R1→A

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ Professor Miguel Campista

Redirecionamento ICMP

- Ao receber o ICMP redirect, a estação A deve mudar sua tabela de roteamento
 - Para o endereço contido no campo Internet Header, o próximo salto é dado por Internet Address
- O redirecionamento pode ser para uma rede
 - Indicado no campo código
 - Mas não existe espaço para uma máscara, portanto não é possível redirecionar o tráfego para uma sub-rede

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
Type = 5	Code	Checksum	
Internet Address			
Internet Header + 64 bits of Original Data Datagram			

Code:
 0: redirecionar pacotes para a Rede
 1: redirecionar pacotes para a Estação
 2: Rede e ToS
 3: Estação e ToS

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

- A premissa até o momento é que cada estação conhece o seu próprio endereço IP
 - Endereço pré-configurado
- Entretanto, isso pode nem sempre ser verdade...
 - Nesses casos, é necessário obter um endereço IP
- Alguns protocolos com essa finalidade são
 - RARP: *Reverse Address Resolution Protocol*
 - BOOTP: *Bootstrap Protocol*
 - DHCP
 - Mais utilizado atualmente

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ

Professor Miguel Campista

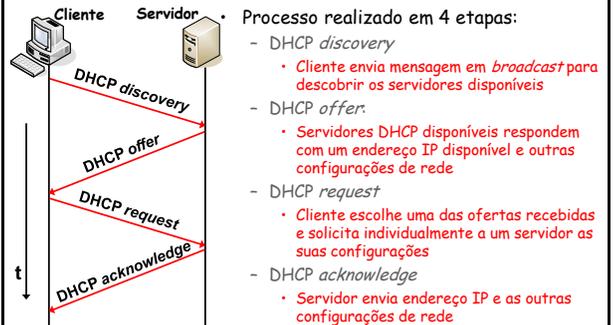
Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

- Aloca automaticamente endereços IP para estações em uma sub-rede
 - Os endereços podem ser reusados
- Passa outras informações adicionais
 - Ex. Rota *default*, máscara de sub-rede, servidor DNS
- Utiliza uma arquitetura cliente-servidor
 - Cliente DHCP
 - Estação que solicita parâmetros de configuração de rede
 - Servidor DHCP
 - Estação que responde as solicitações por parâmetros de configuração das estações clientes

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ

Professor Miguel Campista

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)



Network Address Translation (NAT)

- Recurso utilizado inicialmente para contornar a possível escassez de endereços IP
 - Usado por mais da metade dos usuários domésticos nos EUA
- Endereço IP público X Endereço IP privado
 - Endereço IP público
 - Definido em escopo global → Internet
 - Endereço roteável
 - Endereço IP privado
 - Definido em escopo local → rede local
 - Endereço não roteável
 - » Blocos de endereços definidos pelo IANA: Rede 10.0.0.0/8, 192.168.0.0/16 e 172.16.0.0/12

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ

Professor Miguel Campista

Network Address Translation (NAT)

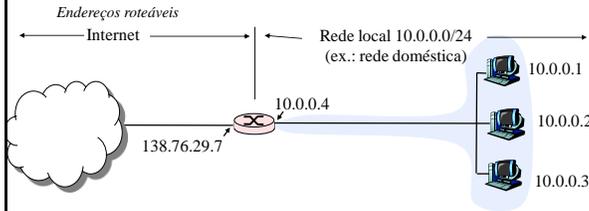
- IP *masquerading*
 - Processo de tradução dos endereços de uma rede local com endereços privados para endereços públicos
 - Consiste em "mascarar" um espaço de endereços privados para Internet
 - Roteador mantém estado dos fluxos que possuem pacotes traduzidos
 - Necessário para encaminhar respostas para a origem
 - Roteador é responsável pela tradução pode converter...
 - Endereço IP da origem para endereço IP próprio
 - Porta de origem para uma porta conhecida

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Pol/UFRJ

Professor Miguel Campista

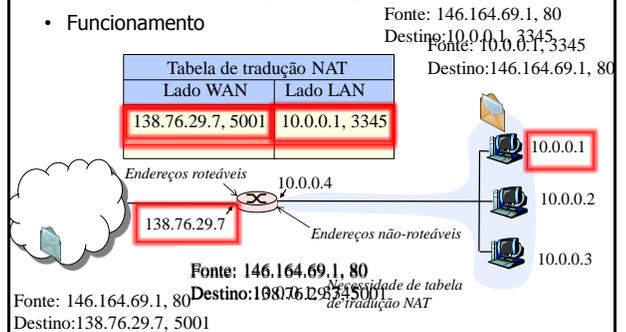
Network Address Translation (NAT)

- Estrutura



Network Address Translation (NAT)

- Funcionamento



Network Address Translation (NAT)

- Quebra do requisito fim-a-fim da Internet
 - Nós na Internet não conseguem se comunicar com nós "atrás" de dispositivos NAT
 - Prejudicam as aplicações par-a-par
- Soluções
 - Mapeamento de portas
 - NAT estático
 - UPnP (*Universal Plug-and-Play*)
 - Padrão que utiliza protocolos para realizar mapeamento automático de portas

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Material Utilizado

- Notas de aula do Prof. Igor Monteiro Moraes, disponíveis em <http://www2.ic.uff.br/~igor/cursos/redespg>

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista

Leitura Recomendada

- Capítulo 4 do Livro "*Computer Networking: A Top Down Approach*", 5a. Ed., Jim Kurose and Keith Ross, Pearson, 2010
- Capítulo 5 do Livro "*Computer Networks*", Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, 5a. Ed., Pearson, 2011
- Capítulo 3 do Livro do "*Routing in the Internet*", Christian Huitema, 2ª. Ed., Prentice-Hall, 1999

COE728: Redes de Computadores – PEE-COPPE/Del-Poli/UFRJ Professor Miguel Campista