

Protocolos em Redes de Dados

Aula 02 Os protocolos IP

©Luís Rodrigues

FCUL

2005-2006

O protocolo IP

- ▶ Corresponde ao nível rede do modelo OSI.
- ▶ Executa-se sobre os mais diversos protocolos do nível de comunicação de dados.
- ▶ Em cada passo, é necessário fazer uma tradução entre o endereço IP e o endereço "físico" de destino.

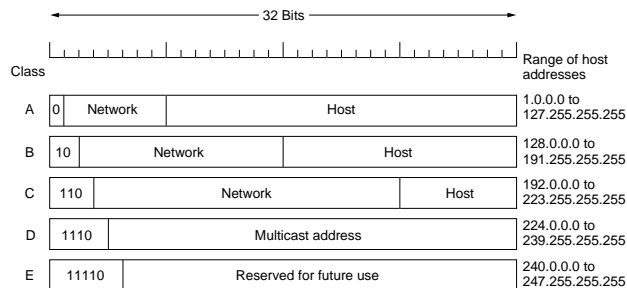
Endereço rede e endereço "físico"

- ▶ Cada interface é identificada por um endereço do nível rede.
- ▶ O endereço, tal como normalizado em 1981, possui dois campos lógicos:
 - ▶ Identificador de rede.
 - ▶ Identificador de nó.
- ▶ O tamanho de cada um destes campos depende da "classe" do endereço.

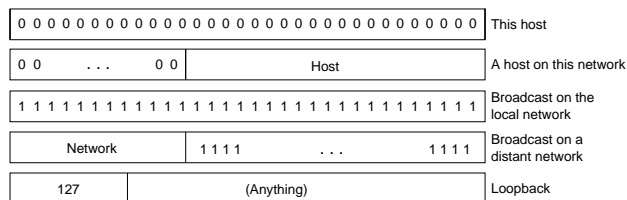
Classes de endereços

- ▶ Foram definidas três classes de endereços
 - ▶ Classe A: "0" + (7 dígitos rede) + (24 dígitos nó)
 - ▶ Classe B: "10" + (14 dígitos rede) + (16 dígitos nó)
 - ▶ Classe C: "110" + (21 dígitos rede) + (8 dígitos nó)
- ▶ Posteriormente foi introduzido o endereço de difusão.
 - ▶ Difusão: "1110" + 28 dígitos endereço difusão.

Formato do endereço IP



Endereços IP reservados



Endereços reservados

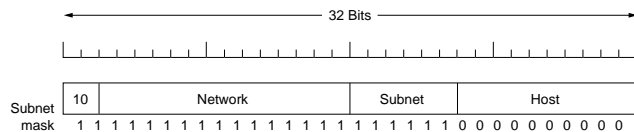
- ▶ 0.X.Y.Z
 - ▶ Nó X.Y.Z nesta rede
- ▶ C.C.C.255
 - ▶ Endereço para difusão na rede
- ▶ 127.X.Y.Z
 - ▶ Loopback (endereço local à máquina)
- ▶ 224.0.0.2
 - ▶ Todos os encaminhadores na sub-rede

Sub-redes

- ▶ Dada a pouca flexibilidade do esquema anterior, em 1984 foi introduzida a noção de sub-rede.
 - ▶ Divisão do campo correspondente ao endereço de rede.
 - ▶ Máscara de dígitos identifica o comprimento do campo sub-rede.

Máscara	Endereço	Rede	Sub-rede	Nó
0xFFFF0000	10.27.32.100	10	27	32.100
0xFFFFFE00	136.27.33.100	136.27	16	1.100
0xFFFFFC0	193.27.32.197	193.27.32	3	5

Sub-redes em IP



Encaminhamento sem classes

- ▶ Crescimento das tabelas de encaminhamento:
 - ▶ De 350 entradas em 1988 para 42.000 em 1996.
- ▶ Agrupar entradas consecutivas com caminhos semelhantes.
- ▶ Agregação e encaminhamento:
 - ▶ O endereço mais específico prevalece.
 - ▶ Nunca seguir rotas menos específicas para um endereço sobre o qual se faz agregação.
 - ▶ Caso contrário podem gerar-se ciclos.

Endereços sem "classes"

- ▶ Os endereços de classe B são em número reduzido.
- ▶ As instituições obtêm endereços de classe C.
 - ▶ Explosão do tamanho das tabelas de encaminhamento.
 - ▶ Solução: endereços consecutivos identificados por um prefixo comum.
 - ▶ Esvaziamento da noção de "classe" de endereço.

Limites à agregação

- ▶ Quando um fornecedor possui um cliente com endereços fora da agregação, deve disseminar rotas específicas.
- ▶ Não se pode agregar um conjunto de endereços não consecutivo:
 - ▶ Caso contrário pode gerar-se um "buraco negro".

- ▶ Certas gamas de endereços foram reservadas para uso privado.
- ▶ Não podem ser propagadas rotas para estas redes.
- ▶ Permitem criar redes sem adquirir endereços válidos.
- ▶ Necesita de encaminhadores que realizem tradução de endereços.
- ▶ Network Address Translation.
- ▶ Encaminhamento com conversão de endereços.
- ▶ Traduz endereços privados num conjunto de endereços válido.

NAT: conversão de pacotes

- ▶ Ao trocar o endereço, o encaminhador necessita de recalculer a soma de controlo.
- ▶ Se for um pacote TCP:
 - ▶ É necessário modificar o cabeçalho TCP.
- ▶ O comando FTP usa o endereço IP:
 - ▶ NAT necessita de analisar conteúdos.
- ▶ O mesmo se aplica a outros protocolos:
 - ▶ ICMP, etc.

- ▶ Funcionalidade básica: tradução um-para-um.
- ▶ Um endereço privado é traduzido num endereço público.
 - ▶ No caminho de volta o encaminhador utiliza a tabela para saber qual o endereço privado.

NAT: conversão de endereços

- ▶ A tradução pode ser dinâmica:
 - ▶ Os endereços válidos vão sendo usados à medida que são necessários.
- ▶ Ou estática:
 - ▶ Um endereço privado tem sempre a mesma tradução.

PAT

- ▶ Tradução de vários endereços internos para externos utilizando o campo "porto" dos protocolos TCP e UDP.
- ▶ Máquinas distintas são traduzidas para portos distintos.

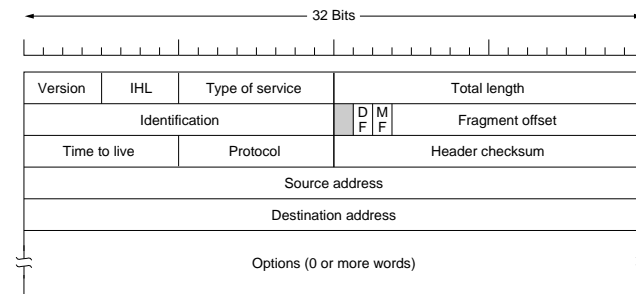
O pacote IP

- ▶ Tamanho máximo do pacote: 65, 535 octetos.
- ▶ Cabeçalho normalizado de 20 octetos.
- ▶ O cabeçalho prevê a utilização de opções que podem levar a incluir mais informação de controlo no cabeçalho.

Endereços e interfaces

- ▶ Cada endereço IP está associado a uma interface.
- ▶ Um nó pode ter vários endereços:
 - ▶ Em particular se tiver várias interfaces.
- ▶ As tabelas de encaminhamento não guardam endereços de nós.
 - ▶ Apenas de redes.

Cabeçalho IP



Campos do cabeçalho IP

- ▶ **Versão**
 - ▶ A mais implantada na actualidade: 4
- ▶ **IHL:**
 - ▶ Entre 5 (sem opções) e 15 (em palavras de 32 dígitos)
- ▶ **TTL:**
 - ▶ Originalmente em segundos, geralmente indentifica simplesmente o número de "saltos" (hops).
- ▶ **Protocolo:**
 - ▶ ICMP, IGMP, GGP, IP, ST, TCP, EGP, UDP, IGRP, OSPF.

Fragmentação

- ▶ O pacote pode ser fragmentado no seu percurso.
 - ▶ Um campo "deslocamento" indica qual o octeto inicial do fragmento.
 - ▶ Um dígito MF (more fragments) indica qual o último fragmento.
 - ▶ A fragmentação pode ser inibida pela activação de um dígito DF (don't fragment).

Campos do cabeçalho IP

- ▶ **Soma de controlo**
 - ▶ Do cabeçalho, soma simples, eficiente, mas pouco segura.
- ▶ **Tipo de serviço:**
 - ▶ D(istance), T(hroughput), R(eliable), C(heapest)
 - ▶ Precedência (8 níveis)

Opções IP

- ▶ Pouco usadas actualmente devido à sua utilidade, segurança e penalização no desempenho nos encaminhadores.
 - ▶ Loose source routing (Substituída pelo encapsulamento IP sobre IP).
 - ▶ Strict source routing.
 - ▶ Record route.

- ▶ Internet Control Message Protocol
 - ▶ Usado para controlo, gestão e informações de erro.
 - ▶ Echo reply, Destination Unreachable, Source Quench, Redirect, Echo, Router Advertisement, Time Exceeded, Parameter Problem, Timestamp, Timestamp Reply, Information Request, Information Reply.
- ▶ Ping (Echo + Echo Reply).
- ▶ Traceroute (TTL).

- ▶ Rede de destino igual à rede de origem
 - ▶ Próximo passo é o destino final
- ▶ Caso contrário:
 - ▶ Próximo passo é um encaminhador:
 - ▶ Encaminhador por omissão (cliente).
 - ▶ Tabela de encaminhamento (encaminhador).
- ▶ Traduzir o endereço do próximo passo num endereço "físico".

- ▶ Address Resolution Protocol.
 - ▶ Difunde-se o endereço IP de destino.
 - ▶ O nó com esse endereço responde.
 - ▶ Extrai-se o endereço físico desse nó.
 - ▶ A tradução é mantida em cache temporariamente.
 - ▶ Nota: em redes que não suportam difusão (como o ATM) pode ser necessário introduzir um servidor de tradução.

- ▶ Configurado estáticamente.
- ▶ Através de anúncios ICMP.
 - ▶ (router advertisements e redirects)

Obtendo um endereço IP

- ▶ Configuração estática.
- ▶ RARP.
 - ▶ Reverse Address Resolution Protocol.
- ▶ BOOTP.
 - ▶ BOOTstrap Protocol
- ▶ DHCP:
 - ▶ Dynamic Host Configuration Protocol.

Protocolos relacionados

- ▶ TCP
 - ▶ Transport Control Protocol.
- ▶ UDP
 - ▶ User Datagram Protocol.
- ▶ DNS
 - ▶ Domain Name Server.
- ▶ SNMP
 - ▶ Simple Network Management Protocol.

Do IPv4 para o IPv6

- ▶ Motivação original
 - ▶ Esgotamento dos endereços IPv4.
- ▶ Uma das mudanças fundamentais:
 - ▶ Aumento do tamanho dos endereços de 32 para 128 dígitos.
- ▶ Tipos de endereços:
 - ▶ Unicast (ponto-a-ponto).
 - ▶ Multicast (para todos de um grupo).
 - ▶ Anycast (para um de um grupo).

Representação dos endereços

- ▶ Campos de 16 dígitos separados por ':'
 - ▶ FEDC:BA98:7654:FEDC:BA98:7654:3210
- ▶ Campos consecutivos com zeros podem ser omitidos e substituídos por '::'
 - ▶ 1080:0000:0000:0000:0008:0008:200C:417A
 - ▶ 1080::8:800:200C:417A

Formato do endereço

- ▶ A possibilidade de inserir o endereço da interface (que é suposto ser único) no endereço IPv6 permite fazer *autoconfiguração*.
 - ▶ Não é necessário recorrer a um servidor de DHCP para obter o endereço.
 - ▶ Esta solução pode colocar problemas de privacidade.
 - ▶ É também possível usar números aleatórios para gerar endereços IP temporários.

Endereços especiais

- ▶ Unspecified
 - ▶ Usado como endereço de origem de um nó ainda não configurado.
- ▶ Loopback
- ▶ IPv4
- ▶ Site local
 - ▶ Endereços inválidos (usados dentro de uma organização)
- ▶ Link local
 - ▶ Idêntico para um elo da rede (por exemplo, numa rede *ad hoc*)

Formato do endereço

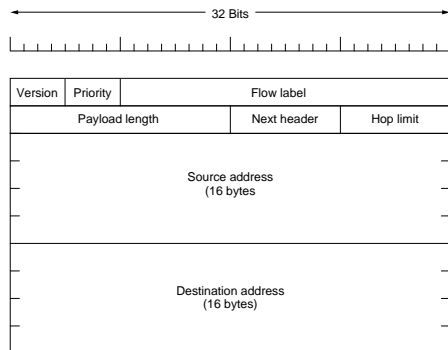
- ▶ Endereços agregáveis:
 - ▶ TLA (Top Level Aggregator)
 - ▶ A maioria atribuídos a entidades coordenadoras (IANA, APNIC, ARIN, RIPE).
 - ▶ NLA (Next Level Aggregator)
 - ▶ Usados para distinguir fornecedores de serviço.
 - ▶ SLA (Site Level Aggregator)
 - ▶ Usado por instituições.

Comp. Endereço	3 001	13 TLA	8 Reserved	24 NLA	16 SLA	64 Interface
----------------	-------	--------	------------	--------	--------	--------------

Endereços difusão

- ▶ Incluem a noção de âmbito:
 - ▶ No IPv4 base, só configurável através de uma cuidadosa escolha do TTL.
- ▶ Categorias de âmbito:
 - ▶ Node-local
 - ▶ Link-local
 - ▶ Site-local
 - ▶ Organization-local

Formato do pacote IPv6



Tipos de "Next Header"

- ▶ "Hop-by-Hop Header"
 - ▶ O único cabeçalho que é processado pelos encaminhadores intermédios (para os restantes cabeçalhos, apenas o nó de destino processa esse cabeçalho).
 - ▶ Deve ser o primeiro cabeçalho após o cabeçalho IPv6.
 - ▶ Usado, por exemplo, para fazer reserva de recursos.

Sumário das diferenças

- ▶ Formato fixo.
- ▶ Ausência da soma de controlo.
- ▶ Ausência de opções.
 - ▶ Embutidas no Next Header (sequência de cabeçalhos).
- ▶ Ausência de segmentação.
 - ▶ Descoberta do tamanho de transmissão máximo.

Tipos de "Next Header" (cont.)

- ▶ "Routing Header"
 - ▶ Lista de endereços
- ▶ Fragment header:
 - ▶ A fragmentação é feita por um protocolo na origem (por exemplo o UDP).
 - ▶ O cabeçalho identifica os fragmentos.
- ▶ Security headers.
- ▶ Destination options.

- ▶ Tipos de erros
 - ▶ Destination Unreachable, Packet too big, Time Exceeded, Parameter problem, Echo request, Echo reply.

Anúncios dos encaminhadores

- ▶ Os encaminhadores enviam periodicamente anúncios.
 - ▶ Possuem um prazo de validade.
 - ▶ Para além de se anunciarem, divulgam parâmetros de configuração (tal como o MTU para redes que possuem MTU variável).

Resolução de endereços

- ▶ Cada nó mantém quatro "caches".
 - ▶ Destinos recentes (IP de "next-hops").
 - ▶ Vizinho adjacente (endereços "físicos").
 - ▶ Lista de prefixos anunciados por encaminhadores.
 - ▶ Lista de encaminhadores (que enviaram anúncios).

Enviando um pacote

- ▶ O endereço de destino está na cache de destinos.
 - ▶ Usa-se o "next hop" da cache.
- ▶ O endereço de destino emparelha com um dos prefixos anunciados.
 - ▶ Destino está numa rede local.
- ▶ Caso contrário:
 - ▶ Usa-se o encaminhador por omissão

Endereço físico

- ▶ Pode já estar na cache de vizinhos.
- ▶ Mensagem de "solicitação"
 - ▶ Mensagem ICMP enviada em difusão, pedindo uma resolução de um endereço IP.
- ▶ Estes pacotes são respondidos com uma mensagem ICMP do tipo "Anúncio de vizinho".
- ▶ Redirects:
 - ▶ Contêm o endereço IP de destino e o endereço IP de um encaminhador melhor.

Configuração automática (1/2)

- ▶ Numa primeira fase gera-se um endereço válido localmente:
 - ▶ Com base no endereço físico do dispositivo.
 - ▶ Antes de ser usado, é feita uma solicitação para detectar eventuais endereços duplicados (este procedimento é designado por Duplicate Address Detection ou simplesmente DAD) .
 - ▶ Esta solicitação usa um endereço de difusão associado ao endereço gerado (faz o papel do ARP).

Casos particulares

- ▶ Se não existem anúncios de encaminhadores
 - ▶ Todos os endereços são considerados locais (para redes de pequena dimensão, sem encaminhadores).
- ▶ Caso o tráfego seja unidireccional, as entradas da cache devem ser revalidadas periodicamente.
- ▶ Os temporizadores usam alarmes aleatórios.
- ▶ Os anúncios são feitos usando um "hop-count" de 255.
 - ▶ Estes anúncios não devem ser propagados na rede.
 - ▶ Protecção contra anúncios remotos (se o hop-count for menor que 255 é um sinal de que foi enviado do exterior).

Configuração automática (2/2)

- ▶ Numa segunda fase obtêm-se as redes válidas a partir da informação anunciada pelos encaminhadores:
 - ▶ "Router solicitation" and "router advertisement" permitem obter o identificador da rede.
 - ▶ Um endereço único é criado usando o prefixo da rede e o endereço físico (é criado um endereço para cada prefixo anunciado).
 - ▶ A unicidade de todos os endereços deve ser validada (se a unicidade do endereço físico já foi validada no primeiro passo, é possível omitir esta validação).
- ▶ Autoconfiguração com estado.
 - ▶ DHCP

Autoconfiguração com estado

- ▶ Usa-se implemente uma versão do DHCP

Sumário

- ▶ O protocolo IP.
- ▶ O formato dos endereços.
- ▶ A tradução endereços IP para endereços físicos.
- ▶ O IPv6.

Tempo de vida dos endereços

- ▶ Os prefixos anunciados possuem um tempo de vida.
- ▶ Os endereços fornecidos por DHCP também possuem um tempo de vida.
 - ▶ Validade e preferência.
 - ▶ Não devem ser iniciadas ligações depois da preferência para evitar que um endereço fique inválido durante uma ligação.