

Redes de Computadores

Internet Protocol version 6 (IPv6)

Aula 21

Introdução

- Com crescimento da Internet IPv4 apresenta alguns problemas
 - Esgotamento de endereços IPv4
 - No máximo 2^{32} combinações possíveis (4.294.967.296 endereços IP)
 - Necessário, ainda, considerar os endereços reservados
 - Esquema de classes é penalizante
 - Desperdício de endereços IP (grande vilã rede classe B)
 - Escalabilidade em tabelas de roteamento
 - Política inicial era distribuir endereços de redes por demanda sem preocupação geográfica
 - ex. 143.53.0.0/16 (Inglaterra), 143.54.0.0/16 (Brasil), 143.55.0.0/16 (USA)
 - Sucessivas previsões para esgotamento de endereços IPv4
 - Em 1996 (ARIN): 100% dos endereços classe A, 62% dos endereços classe B, 37% dos endereços classe C alocados

Algo precisava ser feito!!

Soluções possíveis para os problemas do IPv4

- Implementação de um novo protocolo (IPng ou IPv6)
 - Dificuldade de mudança
- Soluções paliativas
 - CIDR: *Classless InterDomain Routing*
 - NAT: *Network Address Translator*
- Benefícios das soluções paliativas
 - Sobrevida da capacidade de endereçamento IP (NAT e CIDR)
 - Redução de tabelas de roteamento (CIDR)
- Efeito colateral (desvantagem)
 - CIDR e NAT tiraram a "pressão" para a adoção do IPv6
- Entretanto, Internet continua vítima de seu sucesso
 - Novas previsões para esgotamento de endereçamento: 2012!!

Não há como escapar: IPv6 é inevitável!

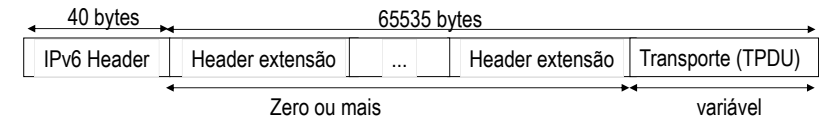
Internet Protocol version 6 (IPv6)

- Solução para "suprir" a demanda de endereços IPs e de novos serviços
- Novo protocolo definido em uma série de RFCs
 - RFC1752: recomendações para próxima geração IP
 - RFC2460: especificação completa
 - RFC2373: formato de endereços
 - etc...

Objetivos do IPv6

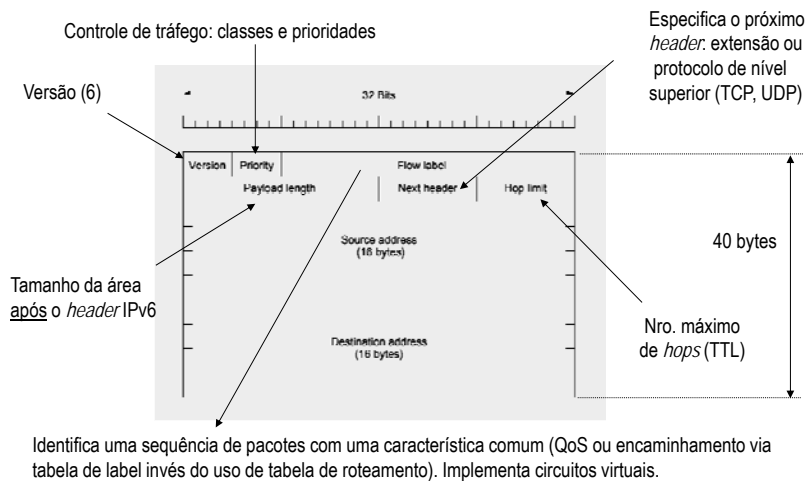
- Suportar bilhões de nós (mesmo com desperdício)
- Reduzir tamanho de tabelas de roteamento
- Simplificar o protocolo (melhorar desempenho de roteadores)
- Oferecer autenticação e privacidade
- Suporte a qualidade de serviços
- Melhorar capacidade de multidifusão (*multicast*)
- Permitir evolução do protocolo
- Possibilitar a convivência de protocolos novos com antigos

Estrutura do pacote *Internet Protocol version 6*



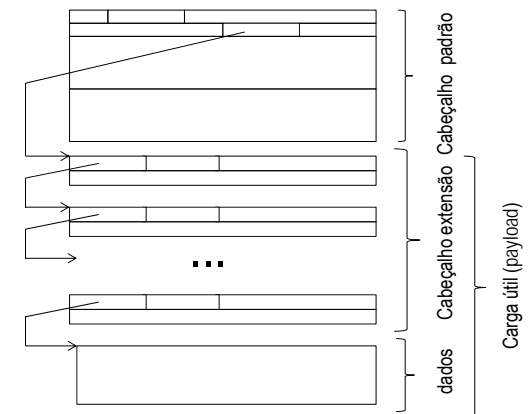
- Cabeçalho (*header*) de tamanho fixo de 40 bytes
 - Simplificado em relação ao IPv4 (menos campos)
- Seguido por *headers* de extensão (opcionais)
 - *Hop-by-hop, routing, fragment, authentication, encapsulating security, destination options*
 - Não é necessário a presença de todos, porém os que existirem deverão respeitar essa ordem

Cabeçalho IPv6



Cabeçalhos de extensão

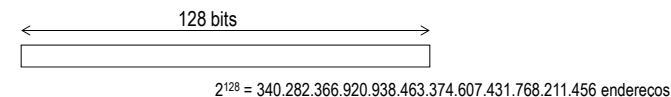
- Carga útil
 - Zero ou mais cabeçalhos de extensão
 - Dados de protocolos (TCP, UDP, etc)
- Cabeçalho de extensão
 - Próximo cabeçalho
 - Comprimento
 - Informações da opção em particular



Conceito de fluxo

- O rótulo de fluxo permite criar circuito virtual usando o IPv6
- Fluxo
 - Sequência de pacotes que compartilham características em comum (mesmo caminho, mesmas restrições de segurança, QoS, etc)
- Roteador IPv6
 - Possui uma tabela de fluxo
 - Consultada antes da tabela de roteamento
 - O fluxo é definido com o auxílio dos protocolos RTP e RSVP

Endereço IPv6



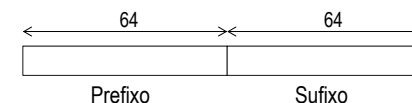
- Notação
 - Hexadecimal: oito seções de quatro dígitos hexadecimais
 - Ex.: 2001:0DB1:AB11:521E:1213:0FAC:6531:0AB1
 - Possível omitir zeros a esquerda em qualquer grupo (ex: 00FA → FA)
 - Seções com zeros consecutivos podem ser representados pela sequência "::" (uma única vez)
 - Ex.: ::1 (loopback), 2001::DB8:1511, 2001::, 2011:DB8:1214::
- Mista: empregada para endereços IPv4 em IPv6
 - Ex.: ::143.54.13.13
- CIDR para identificar a parte do prefixo
 - (Ex.: 2801:80:40::/48 = bloco IPv6 destinado à UFRGS)

Tipos de endereços IPv6

- Unicast
 - Identifica uma única interface de rede (comunicação um-para-um)
 - Seis tipos diferentes: *global unicast*, *link local*, *unique local*, IPv4 mapeado em IPv6, *loopback* e não especificado
- Multicast
 - Identifica um conjunto de interfaces (comunicação um-para-muitos)
 - Suporte obrigatório em IPv6
- Anycast
 - Identifica um conjunto de interfaces (comunicação um-para-um-de-muitos)
 - Entrega apenas UM pacote para a interface mais próxima a origem
 - Destinado para serviços de descoberta, balanceamento de carga, suporte a mobilidade e serviços de localização.

Endereços IPv6: formação

- IPv6 não tem conceito de classes, apenas de prefixo (blocos)



- Prefixo
 - Permite a existência de 2^{64} redes distintas (18.446.744.073.709.551.616)
 - Dividido em: *provider id*, *subscriber id* e *subnet id*
- O sufixo é sempre de 64 bits
 - Serve para identificar uma interface IPv6 em um enlace
 - Pode ser configurado a partir de:
 - Endereço MAC da placa de rede OU endereço atribuído (1 a $2^{64}-1$) OU endereço IPv4

Espaço de endereçamento do IPv6

- Dividido em vários blocos de tamanhos diferentes
 - Cada bloco tem um objetivo especial
 - Maioria dos blocos ainda estão não atribuídos (uso futuro)

Prefixo IPv6	Alocação	Porção
0000::/8	Endereços especiais	1/256
0100::/8	Reserved by IETF	1/256
0200::/7	Reserved by IETF	1/128
0400::/6	Reserved by IETF	1/64
0800::/5	Reserved by IETF	1/32
1000::/4	Reserved by IETF	1/16
2000::/3	Global Unicast	1/8
4000::/3	Reserved by IETF	1/8
6000::/3	Reserved by IETF	1/8
8000::/3	Reserved by IETF	1/8

Prefixo IPv6	Alocação	Porção
A000::/3	Reserved by IETF	1/8
C000::/3	Reserved by IETF	1/8
E000::/4	Reserved by IETF	1/16
F000::/5	Reserved by IETF	1/32
F800::/6	Reserved by IETF	1/64
FC00::/7	Unique Local Unicast	1/128
FE00::/9	Reserved by IETF	1/512
FE80::/10	Link Local Unicast	1/1024
FEC0::/10	Reserved by IETF	1/1024
FF00::/8	Multicast	1/256

Endereços especiais

- Não especificado
 - Usado na inicialização, quando a máquina ainda não tem seu IPv6
 - Sub-bloco com um único endereço (0000::/128)
- Loopback
 - Sub-bloco com um único endereço (0000::1/128 ou ::1)
- Compatível
 - Permite comunicação entre interfaces IPv6 usando os endereços IPv4
 - Sub-bloco 0000::/96 (ex.: 0000::143.54.13.13/96 ou ::143.54.13.13/96)
- Mapeado
 - Permite comunicação IPv6 com IPv4
 - Sub-bloco 0000::FFFF/96 (ex.: 0000:FFFF:143.54.13.13/96)

Endereços especiais: mapeado, loopback e não especificado

- Derivados do bloco reservado 0000::/8
- Endereços mapeados: usados na transição IPv4 para IPv6
 - Endereço compatível (bloco 0000::/96)
 - 96 bits em zero seguido do endereço IPv4 (32 bits)
 - Empregado para comunicar nós em IPv4 em estrutura IPv6
 - Endereço mapeado (bloco 0000::FFFF/96)
 - 80 bits em zero, 16 bits em 1, seguido do endereço IPv4 (32 bits)
 - Empregado quando um nó IPv6 deseja enviar algo a um nó IPv4
- Endereço de loopback
 - É um único endereço (::1 ou 0000:1/128)
- Endereço não especificado
 - Indica a ausência de endereço atribuído (::0)

Endereços *Unicast*

- Global unicast
 - Equivalente aos endereços públicos IPv4
 - Endereço roteável e acessível na Internet IPv6
- Link local
 - Similar a endereços privativos IPv4
 - Devem ser usados no interior de um domínio de *broadcast* (mesmo enlace)
- Unique local
 - Possui um prefixo global único, mas não se espera que seja roteado na Internet IPv6

Mas antes deles... tem o Identificador de Interface

- É o sufixo do endereço (64 bits)
- Interface Identifier (IID)
 - Deve ser único dentro do mesmo prefixo de sub-rede
 - Pode ser usado em múltiplas interfaces de um mesmo nó, desde que estejam em sub-redes diferentes
- Tipicamente é um número obtido:
 - Manualmente
 - Automaticamente e de forma randômica
 - Com o auxílio de chave de cifragem pública
 - A partir do endereço MAC no formato EUI-64

Global Unicast Address

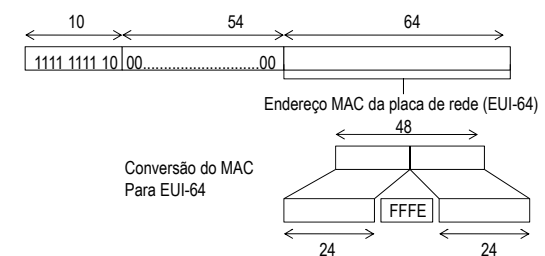
- Bloco de endereços para identificação *unicast*
 - Equivalente aos endereços públicos IPv4
 - Endereço roteável e público na Internet IPv6
- Prefixo 2000::/3, ou seja, 2^{125} endereços
 - Dividido em três partes
 - Prefixo global (n=48 bits), sendo que os três primeiros são fixos (001)
 - Empregado para roteamento na Internet IPv6
 - Sub-rede (m=16 bits)
 - Identifica uma sub-rede dentro de uma organização (até 2^{16} sub-redes)
 - Identificador de interface (q=64 bits)
 - Derivado do endereço MAC (48bits) ou EUI-64

Endereços Privativos

- Emprega dois blocos para endereços privados
- Prefixo FE80::/10 (link local)
 - Destinado a uso interno dentro de uma organização (dentro de um enlace)
 - É um endereço privativo
 - Formato:
 - Prefixo bloco (10 bits) + 38 bits zerados + 16 bits zerados + 64 bits (sufixo)
- Prefixo FC00::/7 (unique local)
 - Destinado a uso interno dentro de uma organização (vários enlaces)
 - Não se espera que seja roteado na Internet global IPv6
 - Formato:
 - Prefixo do bloco (7 bits), escopo (1 bit), randômica (40 bits), sub-rede (16 bits) e identificador (64 bits)

Mais sobre o Link Local Address

- Prefixo FE80::/64
- Não é globalmente único
- Configuração automática (*stateless*)
 - Uma máquina gera seu próprio IPv6 a partir do endereço EUI-64
 - Uso interno dentro de um domínio de *broadcast* (não é roteado)



Mais sobre Unique local Address (ULA)

- Composto por quatro partes
 - Prefixo (7 bits): FC00::/7
 - Flag Local (1 bit): 1 = alocado localmente, 0 = alocado globalmente
 - Identificador global (40 bits): gerado aleatoriamente
 - Identificador interface (EUI-64)
- Características
 - Enlace possui um prefixo /48 com grande possibilidade de ser único
 - Não se espera que seja roteável dentro da Internet IPv6
 - Permite a conexão de redes distintas para formar uma maior sem necessitar renomear interfaces (não há conflitos, pois os prefixos são diferentes)
 - É independente de provedor

Endereço multicast

- Endereço de *multicast* é dividido em quatro partes
 - Prefixo (8 bits): F000::/8
 - Flag (4 bits): grupo permanente (0000) ou temporário (1111)
 - Escopo (4 bits): local a nó, enlace, site, organização ou global
 - Identificador do grupo (112 bits)
- Suporte obrigatório em nós IPv6

Endereços anycast

- Identifica um grupo de interfaces
 - Entrega o pacote apenas para a interface mais próxima da origem
- São definidos a partir do bloco de endereços *unicast*
 - Basta atribuir um endereço *unicast* a mais de uma interface
 - Nós devem ser configurados explicitamente e as rotas devem ser /128
- Usos do *anycast*
 - Descoberta de serviços na rede (DNS, proxy HTTP, etc)
 - Localização de recursos na rede
 - Balanceamento de carga
 - Mobilidade IPv6
- Roteadores devem ter suporte a *anycast* (*anycast subnet-router*)
 - Prefixo da sub-rede e identificador da interface zerado

ICMPv6

- Engloba as funcionalidades do ICMP, ARP e IGMP do IPv4
 - Mensagens são divididas em quatro grupos
 - Relatórios de erro
 - Informativas
 - Descoberta de vizinhos
 - Participação em grupo
- } similar ao IPv4
- } novidades do IPv6

Descoberta de vizinhos

- Permite encontrar roteadores, IPv6 e endereços de enlace dos vizinhos
- Dividida em quatro subgrupos:
 - Solicitação de roteador e anúncio de roteador
 - Descoberta do roteador padrão (default gateway)
 - Solicitação de vizinho e anúncio de vizinho
 - Similar ao ARP (dado um IPv6, qual é o MAC associado)
 - Solicitação reversa de vizinho e anúncio reverso de vizinho
 - Dado um endereço MAC do vizinho, qual é o IPv6 associado
 - Redirecionamento
 - Funcionamento idêntico ao do IPv4

Participação em grupo

- Similar ao IGMP do IPv4
 - Consulta a participação em grupo
 - Relatório de participação em grupo
- Usado em conjunto com os protocolos de *multicast*

Autoconfiguração

- O IPv6 oferece suporte a auto-configuração
 - Mecanismo que permite a atribuição de endereços *unicast* aos nós IPv6 com uma interferência mínima
- Dois tipos:
 - Autoconfiguração *stateless*
 - Autoconfiguração *statefull*

Autoconfiguração *stateless*

- Empregada nas seguintes situações
 - Sem configuração manual dos nós (estações)
 - Sem servidores adicionais (ex. DHCP)
- Procedimento
 - Gera um *unique link local address* a partir do identificador da interface
 - Prefixo FE80::/64 + identificador da interface
 - Envia mensagem ICMPv6 (*router solicitation*) para o roteador do enlace local
 - Mensagem para o grupo de *multicast all-routers*
 - Roteador responde com mensagem ICMPv6 (*router advertisement*)
 - Contém o prefixo da sub-rede
 - Gera um *global unicast address* concatenando o prefixo com o identificador da interface

Autoconfiguração *statefull*

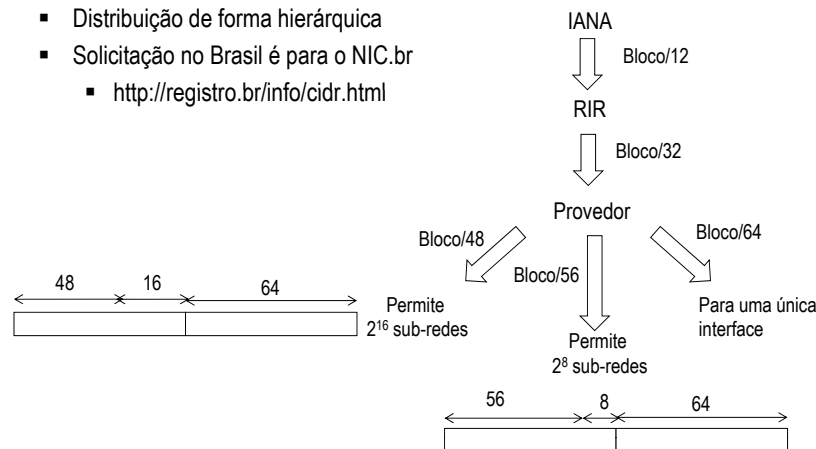
- Controle mais rígido dos endereços IPv6 atribuídos
 - Fornecer opções de configuração da rede
 - Definir endereços que não são baseados em MAC
 - Definir políticas de atribuição de endereços
- Empregada quando
 - Não é encontrado nenhum roteador para fornecer prefixo
 - Mensagens router *advertisement* indicam esse método
- Baseado na existência de um servidor DHCPv6
 - Cliente se comunica com servidor usando um endereço *link-local*
 - Servidor DHCP pertence ao grupo multicast FF02::1:2 ou FF05::1:3
 - Existência de *relay* DHCP, se servidor estiver fora do enlace
 - Serviço diferente do DHCPv4

Mecanismos de transição IPv4 para IPv6

- Pilha dupla
 - Máquinas possuem duas pilhas de protocolo: IPv4 e IPv6
 - “Falam” os dois protocolos dependendo do interlocutor (IPv4 ou IPv6)
- Tunelamento
 - Encapsula um datagrama IPv4 em um pacote IPv6 ou vice-versa
 - Várias técnicas: 6to4 (RFC 3056), Teredo (RFC 4380), ISATAP (RFC 5214)
- Tradução de protocolo
 - Transforma datagramas IPv4 em pacotes IPv6 ou vice-versa
 - Várias técnicas: SIIT (RFC 2765), NAT-PT (RFC 2766, 4966), BIS (RFC 2767) e BIA (RFC 3338) mais extensões no DNS (RFC 3596)

Alocação de endereços IPv6

- Distribuição de forma hierárquica
- Solicitação no Brasil é para o NIC.br
 - <http://registro.br/info/cidr.html>



Políticas de alocação de endereços IPv6

- Já vem sendo atribuídos no mundo inteiro
- Cada RIR possui um bloco /12
 - LACNIC recebeu o bloco 2800::/12 e o NIC.br é um /16 deste bloco
- Utilização e demanda é medida em número de blocos e não por quantidade de endereços como no IPv4
 - Todas as redes acabam por ter um prefixo de 64 bits
- Abordagens
 - One size fits all*: baseada na atribuição de blocos /48 para todos usuários
 - RFC 3177 dá uma série de recomendações
 - Conservadora: blocos de /56 para usuários domésticos e PMEs

Leituras complementares

- Tanenbaum, A. Redes de Computadores (4ª ed.), bookman, 2003.
 - Capítulo 5, seção 5.6.8
- Carissimi, A.; Rochol, J; Granville, L.Z; Redes de Computadores. Série Livros Didáticos. Bookman 2009.
 - Capítulo 5, seção 5.5.3
- Muito material da Internet, mas a referência de base é:
 - <http://www.ipv6.br>
 - <http://curso.ipv6.br>

Endereço IPv6

- Composto por 128 bits
- Alguns números impressionantes
 - $2^{128} = 340.282.366.920.938.463.374.607.431.768.211.456$ endereços
 - ≈ 56 octilhões ($5,6 \times 10^{28}$) end. IP por ser humano (16 bilhões habitantes $\approx 2^{34}$)
 - ≈ 79 octilhões ($7,9 \times 10^{28}$) de vezes a quantidade de endereços IPv4
- Representado por oito grupos de 16 bits separados por dois pontos
 - Representado em hexadecimal (0-F)
 - Ex.: 2001:0DB1:AB11:521E:1213:0FAC:6531:0AB1
 - Possível omitir zeros a esquerda em qualquer grupo (ex: 00FA \rightarrow FA)
 - Seções com zeros consecutivos podem ser representados pela sequência "::" (uma única vez)
 - Ex.: ::1 (loopback), 2001::DB8:1511, 2001::, 2011:DB8:1214::