

Redes de Computadores 2

EEL 879

Parte VI

IPv6

Luís Henrique M. K. Costa

luish@gta.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEE/COPPE
PO. Box 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ
Brasil - <http://www.gta.ufrj.br>

Porque do IPv6?

- **Esgotamento dos endereços IPv4**
 - IPv4: apenas 4,3 bilhões de endereços
- **Cabeçalho simplificado**
 - Processamento mais eficiente nos roteadores
- **Melhor suporte a opções**
- **Segurança**

Requisitos do IPv6 (RFC 1752)

- Serviço de datagrama não confiável (~IPv4)
- Suporte unicast e multicast
- Endereçamento adequado para além de um futuro imediato
- Compatibilidade com o IPv4 (não renumerar redes)
- Suporte para autenticação e criptografia
- Não fazer suposições sobre a topologia física
- Não fazer nada que afete o desempenho dos roteadores
- Protocolo extensível e capaz de evoluir
- Suporte para estações móveis, redes e interconexão de redes
- Permitir interconexões de redes privadas em cima da infra da Internet

GTA/UFRJ

Esgotamento dos Endereços IPv4

- **Fatores de pressão**
 - Número de redes
 - Dispositivos móveis
 - Internet das coisas
- **Fatores de alívio**
 - CIDR, melhor gerenciamento de endereços Classe A
 - *Network Address Translation* (NAT)
- **Outro aspecto: tamanho das tabelas**
 - IPv6 em si, não reduz
 - Alocação mais cuidadosa >> maior agregação

GTA/UFRJ

IPv4 x IPv6: Endereços

○ IPv4 (1981)

- Tamanho: 32 bits
- Notação: 192.168.27.134
(4 decimais separados por .)
- Baseado em classes

○ IPv6 (1999)

- Tamanho: 128 bits
- Notação: 3FFE:F200:234:AB00:123:4567:8901:FEFE
(8 grupos de 4 hexadecimais, separados por :)
- Sem classes

GTA/UFRJ

Quantidade de Endereços

○ IPv4

- 2^{32} endereços = 4.294.967.296 (~4,2 bilhões)

○ IPv6

- 2^{128} endereços = 3.40282×10^{38}
- = 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456

GTA/UFRJ

Tipos de Comunicação no IPv6

- IPv4
 - Unicast
 - Multicast
 - Broadcast

- IPv6
 - Unicast
 - Multicast
 - Anycast

GTA/UFRJ

Tamanho da Unidade de Transmissão

- MTU – Maximum Transfer Unit
 - Máxima quantidade de dados transportados em um quadro da camada 2
 - Exemplos
 - Ethernet (IEEE 802.3): MTU = 1500 Bytes (tamanho da carga útil)

- No IPv6, há uma MTU mínima que deve ser suportada pela camada 2
 - 1280 Bytes

GTA/UFRJ

Tempo de Vida do Endereço IPv6

- Endereços IPv6 não são “dados, mas emprestados”
- Tempo de vida associado a cada endereço
 - Quando termina, o endereço torna-se inválido e pode ser reutilizado por outra interface
 - Tempo de vida padrão: 30 dias
 - Endereços local-ao-enlace possuem tempo de vida ilimitado
- Permite a renumeração dos endereços
 - Desejável que se faça de forma suave, para não quebrar conexões em andamento

GTA/UFRJ

Tempo de Vida do Endereço IPv6

- Mecanismo de obsolescência
 - Vários endereços IPv6 podem ser associados a uma interface...
 - Escolha do endereço a utilizar: baseada no **estado** do endereço
- **Estados** do endereço com respeito ao tempo de vida
 - Preferível
 - Endereço pode ser utilizado sem restrições
 - Depreciado
 - Não deve ser usado como endereço fonte para novas comunicações
 - Mas pode ser endereço fonte em comunicações em andamento
 - Inválido
- Na atribuição de um endereço, são definidos o tempo de vida (validade) e o tempo de duração preferencial

GTA/UFRJ

Endereços IPv6: Representação

2033:0000:0123:00FD:000A:0000:0000:0C67



Retirada de zeros no início de palavras



2033:0:123:FD:A:0:0:C67



Retirada de blocos "todos-zeros" (compressão)



2033:0:123:FD:A::C67

- Compressão pela omissão de zeros
 - Uma única vez: seria impossível saber quantas palavras em zero, senão

GTA/UFRJ

Estrutura do Endereço IPv6

8145:010C:0000:0000	1100:1A06:8800:0001
parte de rede	parte de estação

- Parte de Rede
 - 64 bits MSB
 - Configurável (sub-campos)
- Parte de Estação
 - 64 bits LSB
 - Fixa
 - Calculada pela própria estação

GTA/UFRJ

Estrutura do Endereço IPv6

8 MSB do endereço IPv6:
Format Prefix (FP)

- Definem o tipo de endereço

Bits FP	Uso	Número de endereços	Faixa
0000 0000	Reservados	2^{120}	0000::<8
0000 0001	Não atribuídos	2^{120}	0100::<8
0000 001	NSAPs	2^{121}	0200::<7
0000 01	Não atribuídos	2^{122}	0400::<6
0000 1	Não atribuídos	2^{123}	0800::<5
0001	Não atribuídos	2^{124}	1000::<4
001	Endereços Unicast Globais	2^{125}	2000::<3
01	Não atribuídos	2^{126}	4000::<2
10	Não atribuídos	2^{126}	8000::<2
110	Não atribuídos	2^{125}	C000::<3
1110	Não atribuídos	2^{124}	E000::<4
1111 0	Não atribuídos	2^{123}	F000::<5
1111 10	Não atribuídos	2^{122}	F800::<6
1111 110	Não atribuídos	2^{121}	FC00::<7
1111 1110 0	Não atribuídos	2^{119}	FE00::<9
1111 1110 10	Endereços unicast locais ao enlace	2^{118}	FE80::<10
1111 1110 11	Endereços unicast locais ao site	2^{118}	FEC0::<10
1111 1111	Endereços multicast	2^{120}	FF00::<8

Tipos de Endereços IPv6

- Unicast Global
- Unicast Local ao Enlace
- Unicast Local ao Site
- Multicast
- NSAP (Network Service Access Point) (ISO)
 - (em desuso)
- IPX (Novell)
 - (em desuso)

Endereço IPv6 Unicast Global

0													1													2													3												
FP=001													Top Level Aggregation ID													Reserved													Next Level Aggregation ID												
Next Level Aggregation ID (cont.)													Site Level Aggregation ID																																						
Interface ID																																																			
Interface ID (cont.)																																																			

- Top Level Aggregation ID (13 bits)
- Reserved (8bits)
- Next Level Aggregation ID (24 bits)
- Site Level Aggregation ID (16 bits)
- Interface ID (64 LSB)

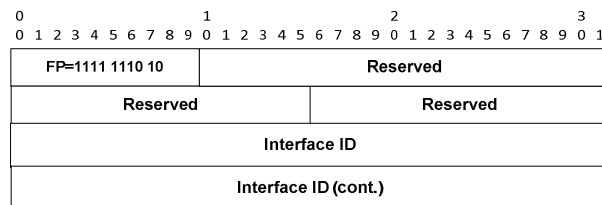
GTA/UFRJ

Endereço IPv6 Unicast Global (cont.)

- Topologia Pública
 - Top Level Aggregation ID (13 bits)
 - Identificadores para grandes operadores de rede, tipicamente, provedores da DFZ (*default-free zone*)
 - Reserved (8bits)
 - Reserva, permite aumentar o número de TLAs ou de NLAs
 - Next Level Aggregation ID (24 bits)
 - Identificador do site (ou domínio)
- Topologia do Site
 - Site Level Aggregation ID (16 bits)
 - Endereço de sub-rede
 - Permite a hierarquização do site
 - Interface ID (64 bits)
 - Endereço da Interface

GTA/UFRJ

Endereço IPv6 Unicast Local ao Enlace



- Não-roteável
 - Comunicação entre máquinas no mesmo enlace apenas
- Faixa
 - FE80::/10
- Equivalente IPv4
 - 169.254.0.0/16

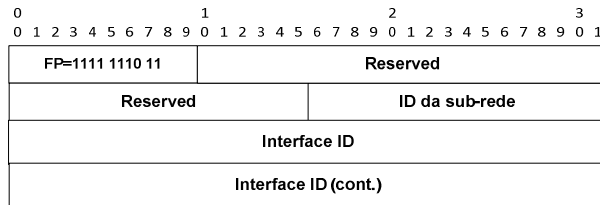
GTA/UFRJ

Endereço IPv6 Unicast Local ao Enlace (cont.)

- Utilização do endereço *local-ao-enlace*
 - Protocolo de configuração de endereço global (subst. do ARP)
 - Protocolo de descoberta de vizinhos (*neighbor discovery*)
 - Protocolo de descoberta de roteadores (*router discovery*)
- Devem ser únicos no enlace
 - Garantia: Protocolo de detecção de endereço duplicado
- Podem repetir em enlace ou redes diferentes
- Normalmente não são usados em aplicações clássicas
 - Alcance limitado ao enlace

GTA/UFRJ

Endereço IPv6 Unicast Local ao Site



- Escopo
 - Rede de um site, roteadores de borda devem filtrá-los
- Faixa
 - FEC0::/10
- Equivalente IPv4
 - 10.0.0.0/8

GTA/UFRJ

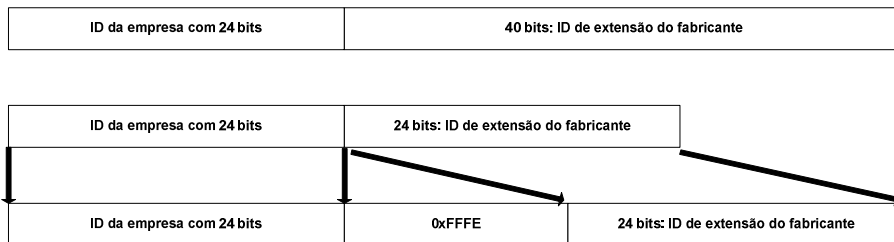
Endereço IPv6 Unicast Local ao Site (cont.)

- Utilização
 - Rede de um site que ainda não está conectada à Internet
- Dificuldades de utilização
 - Definição exata de um site
 - Plano de endereçamento SLA ID é o mesmo para os endereços globais?
 - Como definir se um parceiro está no mesmo site
 - Que endereço o servidor DNS deve informar
- Vantagem
 - Não há a necessidade de renumeração quando se troca o provedor de acesso à Internet

GTA/UFRJ

Endereços IPv6 Unicast: Interface ID

- Endereços MAC
 - 48 bits (IEEE 802) ou 64 bits (IEEE EUI-64)
- Interface ID no IPv6: 64 bits



GTA/UFRJ

Endereços Unicast IPv6 Especiais

- Endereço indeterminado
 - 0:0:0:0:0:0:0:0 (ou ::)
 - Utilizado unicamente durante inicialização da máquina
- Endereço de loopback
 - 0:0:0:0:0:0:0:1 (ou ::1)

GTA/UFRJ

Endereços Unicast IPv6 Especiais

○ Endereços “IPv4-mapped IPv6”

➤ 80 '0's + FF + endereço IPv4 (32 bits)

▪ Exemplos

- ::FFFF:129.144.52.38 (forma IPv6-IPv4 decimal)
- ::FFFF:8190:3426 (forma IPv6-comprimida)

○ Utilização

➤ Dupla pilha:

- Máquina IPv6 pode conversar com máquinas IPv6 ou IPv4

▪ Na transmissão:

- Se endereço de destino IPv4 mapeado em IPv6, pacote emitido na pilha IPv4

▪ Na recepção:

- Um pacote IPv4 recebido na pilha IPv4 é apresentado à aplicação na forma de um pacote IPv6 com endereço de destino IPv4 mapeado em IPv6

GTA/UFRJ

Endereços Unicast IPv6 Especiais

○ Endereços “Compatíveis IPv4”

➤ 96 '0's + endereço IPv4 (32 bits)

▪ Exemplos

- ::129.144.52.38 (forma IPv6-IPv4 decimal)
- ::8190:3426 (forma IPv6-comprimida)

○ Utilização

➤ Túnel IPv6/IPv4 automático

- Pacote transmitido a ::a.b.c.d é encapsulado em um pacote IPv4
- No destino, o pacote IPv6 é desencapsulado e entregue à aplicação

➤ Uso generalizado é desaconselhável

- Equivale a gerenciar uma rede IPv4, com endereços acrescidos de 96 '0's...

➤ Melhor opção: tunelamento na Entrada/Saída do Site

GTA/UFRJ

Endereço IPv6 Multicast

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
FP=1111 1111	Res. T	Escopo	ID do Grupo
ID do Grupo (cont.)			
ID do Grupo (cont.)			
ID do Grupo (cont.)			

- **Flags: Reserved (3 bits) + T (1 bit)**
 - T = 0: endereço permanente
 - T = 1: endereço temporário
- **Escopo (4 bits)**
 - Alcance do tráfego
- **ID do Grupo (112 bits)**

GTA/UFRJ

Endereço IPv6 Multicast

- **Faixa**
 - FF00::/8
- **Exemplos**
 - FF02::1
 - “All-nodes”: equivalente ao broadcast IPv4
 - FF02::2
 - “All-routers”: equivalente ao grupo IPv4 224.0.0.2

GTA/UFRJ

Endereço IPv6 Multicast: Escopo

- Interface-local (0x1)
- Link-local (0x2)
- Subnet-local (0x3)
- Admin-local (0x4)
- Site-local (0x5)
- Organization-local (0x8)
- Global (0xE)
- Reservado (0xF)

- Substitui a limitação do escopo através do campo TTL no IPv4

GTA/UFRJ

Endereço IPv6 Multicast: Escopo Observações

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">○ Configuração física/não relacionada com multicast<ul style="list-style-type: none">➢ Interface-local (0x1)<ul style="list-style-type: none">▪ (local ao nó)➢ Link-local (0x2)<ul style="list-style-type: none">▪ (local a um enlace)➢ Subnet-local (0x3)<ul style="list-style-type: none">▪ (local a uma sub-rede) | <ul style="list-style-type: none">○ Configuração administrativa<ul style="list-style-type: none">➢ Admin-local (0x4)<ul style="list-style-type: none">▪ (menor conf. admin.)➢ Site-local (0x5)<ul style="list-style-type: none">▪ (local a um site, conf. admin.)➢ Organization-local (0x8)<ul style="list-style-type: none">▪ (~múltiplos sites da mesma organização)➢ Global (0xE)<ul style="list-style-type: none">▪ (não tem limites)➢ Reservado (0xF) |
|--|--|

GTA/UFRJ

Endereço IPv6 Multicast: Escopo

○ Exemplos

- FF02::101 : todos os servidores NTP (*Network Time Protocol*) no mesmo enlace que o emissor
- FF05::101 : todos os servidores NTP no mesmo site que o emissor
- FF0E::101 : todos os servidores NTP na Internet

GTA/UFRJ

Endereços Multicast Especiais IPv6

○ All-nodes multicast groups

- Interface-local all-nodes group (FF01::1)
- Link-local all-nodes group (FF02::1)

○ All-routers multicast groups

- Interface-local all-routers group (FF01::2)
- Link-local all-routers group (FF02::2)
- Site-local all-routers group (FF05::2)

○ Solicited-node multicast group

GTA/UFRJ

Endereços Multicast Nó-Solicitado

- Formação
 - Prefixo FF02::1:FF00/104 + 24 LSB do endereço unicast ou anycast do nó
- Utilização
 - A máquina constrói endereços multicast nó solicitado a partir de seus endereços unicast e/ou anycast
 - Outra máquina que conheça o endereço IPv6 da máquina, mas não seu endereço MAC, pode utilizar o endereço nó solicitado para se comunicar (~ARP do IPv4)
- Utilidade
 - Protocolo de detecção de endereços duplicados e de descoberta de vizinhos
 - Mais eficiente que 255.255.255.255 no IPv4

GTA/UFRJ

Exemplo de Formação do Endereço Multicast Nó-Solicitado

Endereço alvo (notação comprimida):

fe80::3ab:ff:fe54:5a9f

Endereço alvo (últimos 24 bits)

fe80:0000:0000:0000:03ab:00ff:fe**54:5a9f**

Prefixo Solicited-node Multicast Address (notação comprimida)

ff02::1:ff00:0/104

Prefixo Solicited-node Multicast Address (primeiros 104 bits)

ff02:0000:0000:0000:0001:ff00:0000/104

Resultado:

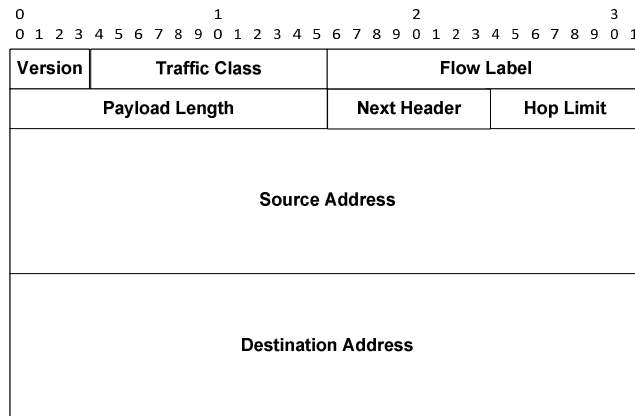
ff02:0000:0000:0000:0001:ff54:5a9f

Resultado (notação comprimida):

ff02::1:ff54:5a9f

GTA/UFRJ

IPv6 - O Cabeçalho



- Todos os campos são fixos

GTA/UFRJ

Cabeçalho IPv4 x IPv6

- Campos **eliminados** em relação ao IPv4
 - IHL (4bits)
 - Cabeçalho IPv6 tem tamanho fixo
 - Identification, Flags e Fragment Offset (16, 8 e 8 bits)
 - No IPv6, o roteador não faz fragmentação
 - Header Checksum (4bits)
 - O IPv6 não faz controle de erros, deixado para outras camadas
- Campos **acrescidos** em relação ao IPv4
 - Flow Label (16 bits)
 - Identificação de fluxo

GTA/UFRJ

Cabeçalho IPv4 x IPv6

- Campos **modificados** em relação ao IPv4
 - ToS >> Traffic Class

 - Total Length >> Payload Length
 - Tamanho da carga útil, sem o cabeçalho do IPv6 (40 bytes)

 - TTL >> Hop Limit

 - Protocol >> Next Header
 - Indica o tipo de protocolo transportado, **ou**
 - Campo opcional (substitui as Opções do IP)

GTA/UFRJ

Campos do Cabeçalho IP

- Versão (4bits)
 - Versão atual = 6

- Traffic Class (8 bits)
 - Differentiated Services, como no IPv4 (RFC 2474)

GTA/UFRJ

Campos do Cabeçalho IP

- Flow Label (16 bits)
 - Número único escolhido pela fonte
 - Utilidade
 - Qualidade de Serviço (QoS): uso pelo RSVP (*ReSource reserVation Protocol*)
 - Tratamento específico do fluxo: escolha de uma rota
- Identificação de fluxo no IPv4
 - Fluxo geralmente identificado por uma tupla
 - (@-orig; @-dest; #porta orig; #porta dest; protocolo)
- No IPv6: maior eficiência
 - Um campo específico
 - Se utilizada confidencialidade, até o número de porta de pode estar escondido

GTA/UFRJ

Campos do Cabeçalho IP

- Payload Length (16 bits)
 - Tamanho da carga útil, sem considerar o tamanho do cabeçalho
 - Se houver cabeçalhos de extensão, são contados no Payload Length
 - Para pacotes de tamanho maior que 65.535 bytes
 - Payload Length = 0
 - Opção "jumbograma" é utilizada
- Next Header (8 bits)
 - Protocolo de nível superior (ICMP, UDP, TCP, ...)
 - **Ou** identificação do próximo cabeçalho de extensão

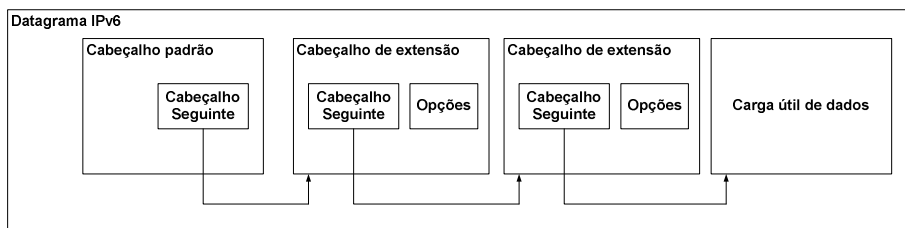
GTA/UFRJ

Campos do Cabeçalho IP

- Hop Limit (8 bits)
 - Número de saltos
 - Deixa de significar tempo em segundos, como inicialmente proposto no IPv4
- Source Address e Destination Address (128 bits cada)
 - Endereços IP de Origem e de Destino do pacote

GTA/UFRJ

Cabeçalhos de Extensão



- Tratamento de opções no IPv6
 - Apenas as extensões “hop-by-hop” são tratadas por todos os roteadores
 - Todas as outras são tratadas apenas no destino em questão
 - Maior eficiência que no IPv4, onde pacotes com opções sempre seguem pelo *slow-path* dos roteadores

GTA/UFRJ

Cabeçalho de Extensão: Considerações

- Comprimento: múltiplo de 8 bytes
- Início: campo Next Header (1 byte)
 - (“Cabeçalho Seguinte”)
- Se extensão de tamanho variável
 - Próximo byte: comprimento da extensão, em palavras de 8 bytes, sem contar a primeira palavra
 - (Uma extensão de 16 bytes possui comprimento “1”)

GTA/UFRJ

Cabeçalho de Extensão: Considerações

- Ordem recomendada (RFC 2460)
 - Salto-a-salto (sempre deve ser a primeira extensão)
 - Destino (será também tratada pelos roteadores impostos pelo roteamento pela fonte)
 - Roteamento pela fonte
 - Fragmentação
 - Autenticação
 - Destino (será tratada apenas pelo equipamento destino final)

GTA/UFRJ

Valores de “Cabeçalho Seguinte”

Valor	Extensão	Valor	Protocolo
0	Opções salto-a-salto	6	TCP
43	Roteamento pela fonte	17	UDP
44	Fragmentação	41	IPv6
50	Encapsulamento seguro de payload	58	ICMPv6
51	Autenticação		
59	Fim de cabeçalho sem payload		
60	Opções de destino		

GTA/UFRJ

Opções no Cabeçalho de Extensão



- Cabeçalho seguinte: indica o próximo cabeçalho de extensão
- Tamanho da extensão: inteiro em unidades de 8 bytes
- Opções TLV
 - Extensão salto-a-salto (Tipo 0)
 - Opções que são aplicadas a cada salto do caminho
 - Extensão de destino (Tipo 60)
 - Opções que são aplicadas apenas no destino, ou no próximo salto, no caso de roteamento pela origem

GTA/UFRJ

Opções Salto-a-salto: Considerações

- São Opções TLV
- Codificação do Tipo da Opção
 - 2 MSB: tratamento de uma opção desconhecida pelo roteador
 - 00: o roteador ignora a opção
 - 01: o roteador descarta o pacote
 - 10: o roteador descarta o pacote e retorna uma mensagem ICMPv6 de “inalcançabilidade”
 - 11: o roteador descarta o pacote e retorna uma mensagem ICMPv6 de “inalcançabilidade” se o destino não for multicast
 - Próximo bit
 - =1: o roteador pode modificar o conteúdo do campo de opções
 - =0: o roteador não pode modificar o conteúdo do campo de opções

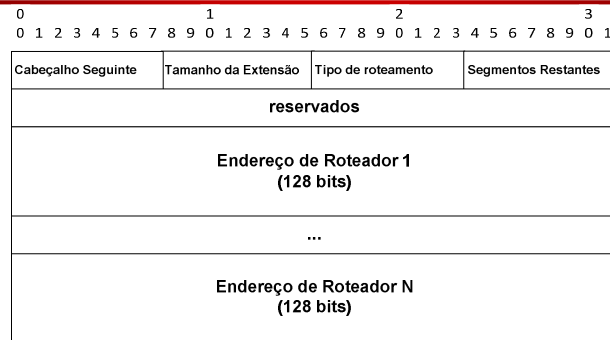
GTA/UFRJ

Tipos de Opções Salto-a-salto

- Pad1 (tipo 0): introduz um byte de enchimento
- PadN (tipo 1): introduz dois ou mais bytes de enchimento (de acordo com campo tamanho da extensão)
- Jumbograma (tipo 194 ou 0xC2):
 - Permite pacotes maiores que 65535 bytes
 - Usada geralmente em conexões de alta velocidade entre duas máquinas
 - Neste caso, o tamanho da carga útil no cabeçalho principal vale zero
 - Obs: inicia com “11”: o roteador informa à fonte se não suportar o jumbograma
- Router Alert (tipo 5)
 - Solicitação ao roteador de examinar o pacote
 - Normalmente, a tarefa do roteador é encaminhar o pacote o mais rápido possível
 - Utilização
 - Protocolo de reserva de recursos RSVP
 - Protocolo de gerenciamento de grupo MLD

GTA/UFRJ

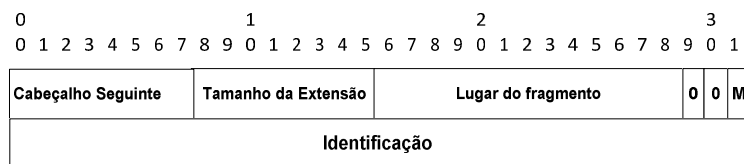
Extensão de Roteamento pela Fonte



- Cabeçalho de Extensão tipo 43
 - Tipo = 0: roteamento pela fonte, semelhante ao *loose source routing* do IPv4
 - (A utilização do *strict source routing* tornou-se rara)
 - Conteúdo
 - Número de segmentos (saltos) restantes até o destino
 - Lista dos próximos roteadores até o destino

GTA/UFRJ

Extensão de Fragmentação



- Fragmentação: ineficiente no IPv4
 - Mecanismos de descoberta de MTU servem para evitá-la
 - Porém, algumas aplicações supõem que a rede realiza a fragmentação, eliminá-la no IPv6 significaria reescrever as aplicações
- IPv6: fragmentação realizada no emissor
- Cabeçalho de Extensão tipo 44
 - Algoritmo semelhante ao IPv4
 - Conteúdo:
 - Lugar do fragmento (13 bits) – posição em número de palavras de 8 bytes
 - Bit M – “More fragments”, como no IPv4

GTA/UFRJ

Cabeçalhos de Extensão de Segurança

- Authentication Header (AH)
 - Autenticação da Fonte
- Encapsulation Security Payload (ESP)
 - Criptografia dos Dados

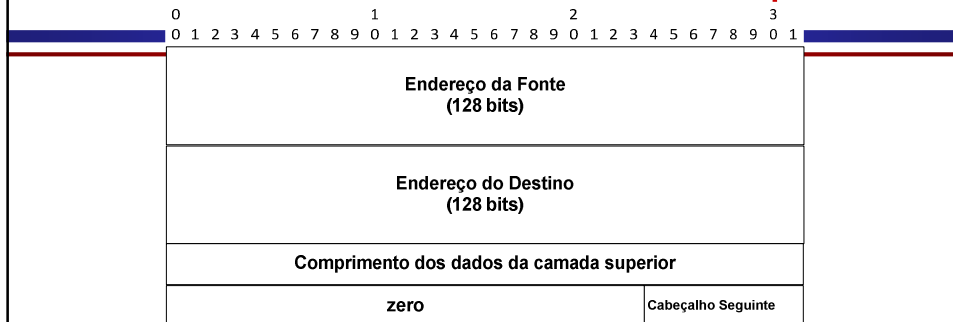
GTA/UFRJ

Checksum no Nível de Transporte

- IPv4: checksum protege o cabeçalho IP
 - IPv6: checksum eliminado do cabeçalho
- IPv6
 - Todos os protocolos acima do IPv6 devem considerar no checksum os dados do cabeçalho IPv6
 - TCP: modificação do cálculo, que era obrigatório
 - UDP: modificação do cálculo e torná-lo obrigatório
 - Criação de um pseudo-cabeçalho, que não é transmitido
 - Checksum: mesmo cálculo do IPv4
 - Soma em complemento a 1 das palavras de 16 bits

GTA/UFRJ

Checksum no Nível de Transporte



○ Campos do pseudo-cabeçalho

- Endereço da Fonte (128 bits) e Endereço do Destino (128 bits)
- Comprimento dos dados da camada superior (32 bits)
 - Ex. Cabeçalho TCP + Dados
 - Comporta o valor do comprimento da opção jumbograma, se utilizada
- Campo Cabeçalho Seguinte
 - Não contém necessariamente o mesmo valor do campo do pacote que será transmitido, e já que extensões não são consideradas no cálculo do checksum

GTA/UFRJ

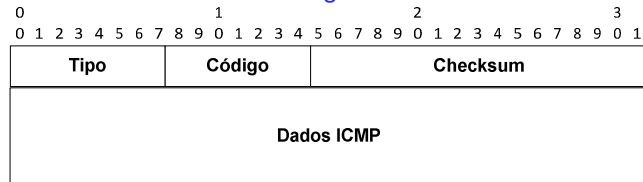
ICMPv6

- *Internet Control Message Protocol* (ICMP)
- Funções semelhantes ao ICMP do IPv4
 - Detecção de erros
 - Ex.: destino inalcançável, tempo expirado
 - Teste e diagnóstico
 - Ex.: ping
 - Configuração automática de equipamentos
 - Ex.: redirecionamento ICMP, descoberta de roteador
- Novas funções
 - Gerenciamento de grupos multicast
 - Integra o MLD (*Multicast Listener Discovery*) (IGMP no IPv4)
 - Função do ARP no IPv4

GTA/UFRJ

ICMPv6

- Formato Geral de uma Mensagem ICMPv6



- Campo Tipo (8 bits)
 - Tipos < 127: mensagens de erro
 - Outros: mensagens de informação
 - Ex. Mensagens do protocolo de descoberta de vizinhos
- Campo Código (8 bits)
 - Causa da mensagem ICMP
- Campo Checksum (16 bits)
 - Calculado com o pseudo-cabeçalho IPv6

GTA/UFRJ

ICMPv6

- Conteúdo do Campo Dados ICMP

- Nas mensagens de erro
 - Contém (**parte da**) Carga útil do datagrama que gerou o erro
 - Comprimento da mensagem ICMPv6 é limitado a 1280 bytes para evitar ter que realizar a descoberta de MTU
 - (como consequência, o conteúdo do pacote pode ser truncado)
- Nas outras mensagens
 - Campos dependentes do protocolo

GTA/UFRJ

Tipos de Mensagens ICMPv6: Gerenciamento de Erros

Tipo	Código	Significado
1		Destino inalcançável:
	0	- não há rota para o destino
	1	- comunicação com o destino impedida administrativamente
	2	- destino fora do alcance do endereço fonte
	3	- endereço inacessível
	4	- número de porta inacessível
2		Pacote grande demais
3		Tempo expirado:
	0	- atingido limite do número de saltos
	1	- tempo de remontagem expirado
4		Erro de parâmetro:
	0	- algum campo de cabeçalho incorreto
	1	- campo de próximo cabeçalho (next header) desconhecido
	2	- opção não reconhecida

Tipos de Mensagens ICMPv6: Informação e Multicast

○ Informação

Tipo	Código	Significado
128		Echo Request
129		Echo Response

○ Gerenciamento de grupos multicast (MLD)

Tipo	Código	Significado
130		Demanda de grupos multicast (Query)
131		Relatório de grupos multicast (Report)
132		Fim de interesse no grupo

Tipos de Mensagens ICMPv6: Descoberta de Vizinhos

Tipo	Código	Significado
133		Solicitação de roteador
134		Anúncio de roteador
135		Solicitação de vizinho
136		Anúncio de vizinho
137		Redirecionamento (<i>redirect</i>)

GTA/UFRJ

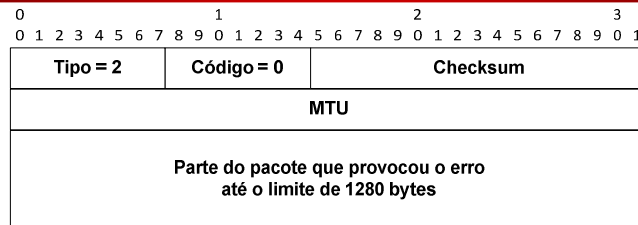
ICMPv6: Destino Inalcançável

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
Tipo = 1								Código								Checksum															
Não usado																															
Parte do pacote que provocou o erro até o limite de 1280 bytes																															

- Mensagem Tipo 1 emitida quando
 - o roteador não possui rota para o destino (Código 0)
 - a mensagem foi filtrada por um firewall (Código 1)
 - endereço inacessível, p. ex. a tentativa de rotear um endereço de tipo local ao enlace (*link-local*) (Código 3)
 - não há aplicação associada à porta de destino (Código 4)

GTA/UFRJ

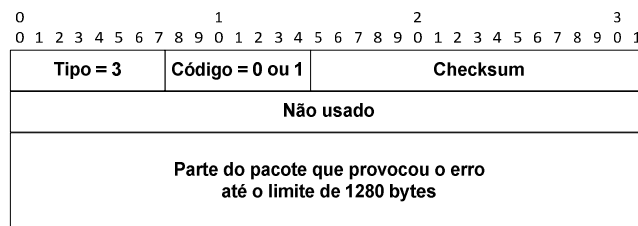
ICMPv6: Pacote Grande Demais



- Mensagem emitida quando o pacote é maior que a MTU do próximo enlace
 - utilizada no procedimento de descoberta de MTU
- Campo MTU: unidade de transferência máxima que o roteador pode aceitar
 - Este campo não existia no IPv4, facilita a descoberta de MTU
- Campo Dados
 - Parte do pacote que provocou o erro, limitando a msg. ICMPv6 a 1280 B

GTA/UFRJ

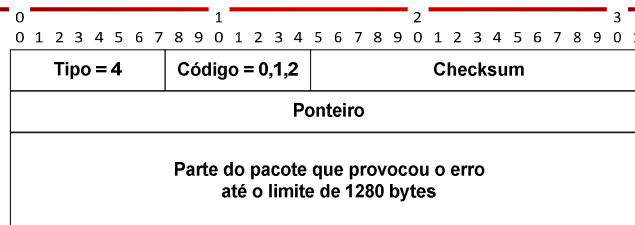
ICMPv6: Tempo Estourado



- A mensagem indica que o datagrama foi descartado pelo roteador
 - porque o campo número de saltos (*hop limit*) chegou a zero (Código = 0)
 - ou porque um fragmento se perdeu e o tempo máximo de remontagem foi ultrapassado (Código = 1)
- Mensagem utilizada pelo programa *traceroute*, como no IPv4

GTA/UFRJ

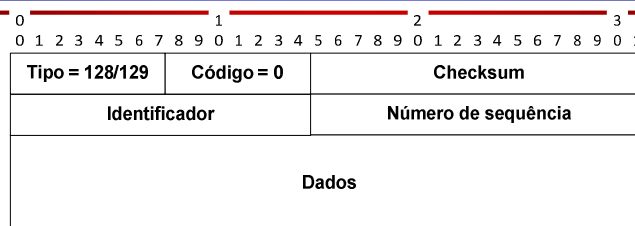
ICMPv6: Erro de Parâmetro



- A mensagem indica erro no cabeçalho ou nos cabeçalhos de extensão do datagrama
- Causa do erro (campo Código)
 - erro de sintaxe no cabeçalho (Código 0)
 - número de próximo cabeçalho (next header) desconhecido (Código 1)
 - uma opção do cabeçalho de extensão desconhecida (e os 2 primeiros bits da opção definem o envio de uma mensagem ICMPv6) (Código 2)
- Ponteiro
 - Indica o byte do datagrama onde ocorreu o erro

GTA/UFRJ

ICMPv6: Echo Request e Response



- Utilizadas no programa ping, funcionamento semelhante ao do IPv4
- Campo Identificador
 - Serve para distinguir diversas instâncias do ping sobre a mesma máquina
- Campo Número de Sequência
 - associa uma resposta a um pedido
 - permite medir o tempo de ida e volta e detectar perdas
- Campo Dados
 - permite estatísticas com diferentes tamanhos de datagrama

GTA/UFRJ

Gestão de Grupos Multicast

- MLDv1
 - Operação idêntica ao IGMPv2 do IPv4
- MLDv2
 - Operação idêntica ao IGMPv3 do IPv4

GTA/UFRJ

ICMPv6: Configuração Automática e Controle

- Protocolo de Descoberta de Vizinhos (ND - *Neighbor Discovery*)
 - Permite a uma estação se comunicar com outros equipamentos na mesma rede física
 - Utiliza 5 tipos de mensagem ICMPv6
 - Campo número de saltos deve ser 255
 - As mensagens não devem ser roteadas: se o valor recebido < 255, datagrama rejeitado
- Funções do *Neighbor Discovery*
 - Resolução de endereços: substitui o ARP do IPv4
 - Detecção de inalcançabilidade de vizinhos
 - Configuração
 - Redirecionamento

GTA/UFRJ

ND: Funções de Configuração

- **Descoberta de Roteadores**
 - Permite aos equipamentos descobrir os roteadores no enlace físico
- **Descoberta de prefixos**
 - Permite conhecer o(s) prefixo(s) utilizados na rede
 - Prefixos podem ser utilizados para construir o(s) endereço(s) dos equipamentos (auto-configuração)
- **Deteccão de endereços duplicados**
 - Há riscos de erros, dada a configuração automática
- **Descoberta de parâmetros**
 - Permite conhecer parâmetros do enlace físico, ex.:
 - Tamanho da MTU
 - Número máximo de saltos (valor inicial recomendado do Hop Limit)
 - Se a configuração automática com estado (DHCP) está disponível

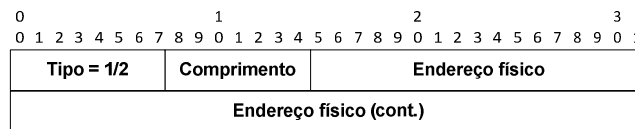
GTA/UFRJ

Dados das Mensagens de Descoberta de Vizinhos

- **Maior parte das mensagens da Descoberta de Vizinhos utiliza opções comuns**
 - Endereço físico da fonte
 - Endereço físico do alvo
 - Informação de prefixo
 - Cabeçalho redirecionado
 - MTU
- **Formato**
 - Tipo
 - Comprimento (em palavras de 64 bits)
 - Dados

GTA/UFRJ

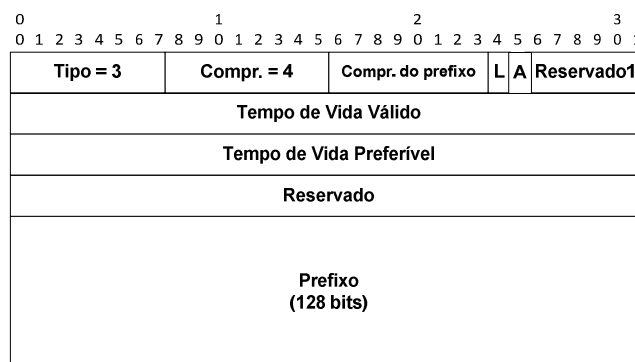
Dados das Mensagens ND: Endereço Físico da Fonte/do Alvo



- Campo Comprimento
 - Tamanho da opção em palavras de 64 bits
 - Ex. Endereço MAC de 48 bits (6 bytes) – Comprimento = 1
 - Há desperdício de espaço, mas força-se alinhamento em 64 bits
- Tipo 1: endereço físico da fonte
- Tipo 2: endereço físico do alvo

GTA/UFRJ

Dados das Mensagens ND: Informação de Prefixo



- Campo Comprimento do Prefixo
 - Número de bits significativos do prefixo anunciado

GTA/UFRJ

Dados das Mensagens ND: Informação de Prefixo

- Bit L = 1
 - Indica que todos os equipamentos que compartilham o prefixo estão no mesmo enlace físico
 - (O IPv6 permite que eles não estejam; neste caso os datagramas devem ser enviados por padrão ao roteador)
- Bit A = 1
 - Indica que o prefixo anunciado pode ser utilizado para construir o endereço do equipamento (auto-configuração)
- Campo Duração de Validade
 - Tempo durante o qual o prefixo é válido
- Campo Duração Preferível
 - Tempo durante o qual um endereço construído a partir deste prefixo estará *preferível*

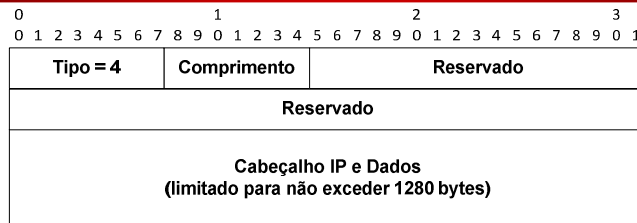
GTA/UFRJ

Dados das Mensagens ND: Informação de Prefixo

- Obs.
 - Para os dois campos de Duração, o valor `0xffffffff` representa “duração infinita”
- Campo Reservado2
 - Permite o alinhamento em palavras de 64 bits
- Campo Prefixo
 - O prefixo anunciado
 - Tamanho fixo de 128 bits para manter o alinhamento

GTA/UFRJ

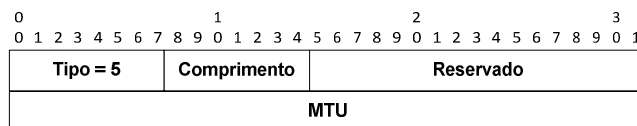
Dados das Mensagens ND: Cabeçalho Redirecionado



- Opção utilizada na Mensagem de Redirecionamento
 - Campo Cabeçalho IP e Dados
 - Parte do Pacote que provocou a mensagem de redirecionamento (limitada de forma à mensagem < 1280 bytes)
 - Campos Reservado
 - Alinhamento em palavras de 64 bits

GTA/UFRJ

Dados das Mensagens ND: MTU



- Campo MTU
 - Tamanho máximo dos dados que podem ser transmitidos sobre o enlace físico
- Campo Reservado
 - Alinhamento em palavras de 64 bits
- Comprimento = 1

GTA/UFRJ

Funções do Protocolo de Descoberta de Vizinhos (ND)

- Descoberta de Roteadores
 - Mensagens *Router Solicitation* e *Router Announcement*
- Descoberta de Vizinhos
 - Mensagens *Neighbor Solicitation* e *Neighbor Announcement*
- Redirecionamento

GTA/UFRJ

Mensagem de Solicitação de Roteador



- Emitida por um equipamento durante inicialização
 - Obtenção rápida de informações sobre o roteador
- Enviada a **ff02::2** (multicast “todos os roteadores no enlace”)
- Campo Opções contém o endereço físico do equipamento fonte

GTA/UFRJ

Mensagem de Anúncio de Roteador

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 4 5 6 7 8 9 0 1							
Tipo = 134								Código = 0								Checksum															
Máx. de saltos								MO-----								Tempo de Vida do Roteador															
Tempo Alcançável																															
Temporizador de Retransmissão																															
<p>Opções (Endereço físico da fonte, Informação sobre o(s) prefixo(s), MTU)</p>																															

- Enviada pelo roteador, periodicamente, ou em resposta a uma mensagem de solicitação de roteador
 - Endereço fonte: endereço link-local do roteador
 - Endereço destino: do equipamento que solicitou, ou **ff02::01**
- Campo Máx. de Saltos (*Current Hop Limit*)
 - Valor padrão sugerido para o campo Hop Limit dos datagramas enviados na rede

GTA/UFRJ

Mensagem de Anúncio de Roteador

- Bit M ("Managed address configuration")=1: o endereço do equipamento deve ser obtido através do protocolo de configuração DHCP
- Bit O ("Other configuration") = 1: o protocolo de configuração DHCP fornece outras informações além do endereço (ex. DNS)
- Bit H ("Home agent")=1: o roteador pode ser utilizado como home agent por um nó móvel
- Tempo de vida do roteador
 - Tempo (em segundos) durante o qual o roteador serve como roteador default
 - Máximo: 18h12m, mas não é limite estrito, já que a mensagem é periódica
- Campo Tempo Alcançável (*Reachable Time*)
 - Tempo em ms de validade de informações guardadas no cache
 - Ex.: tabela de endereços IPv6 x endereços físicos
 - ao final do tempo, procedimento de detecção de inacessibilidade inicia

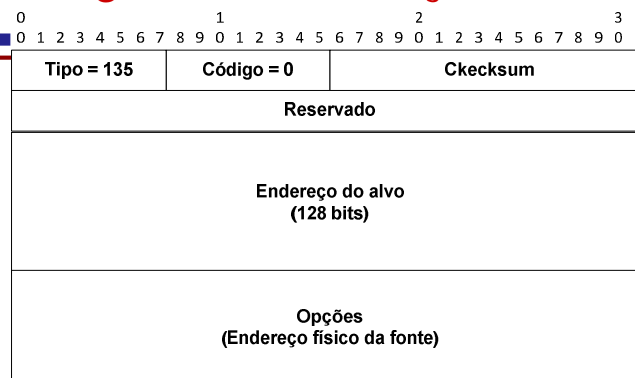
GTA/UFRJ

Mensagem de Anúncio de Roteador

- Campo Temporizador de Retransmissão (*Retransmission Timer*)
 - Período (em ms) entre transmissões não solicitadas de anúncios
 - Permite detectar se o roteador ficou inacessível
- Campo Opções pode conter
 - endereço físico da fonte
 - MTU
 - informação sobre um ou mais prefixos

GTA/UFRJ

Mensagem de Solicitação de Vizinho



- Obtenção de informações sobre um equipamento vizinho
 - enviada explicitamente ao vizinho
 - ou a um endereço de difusão (corresponde ao ARP Request no IPv4)
- Endereço de Origem
 - Endereço link-local, global, ou não especificado

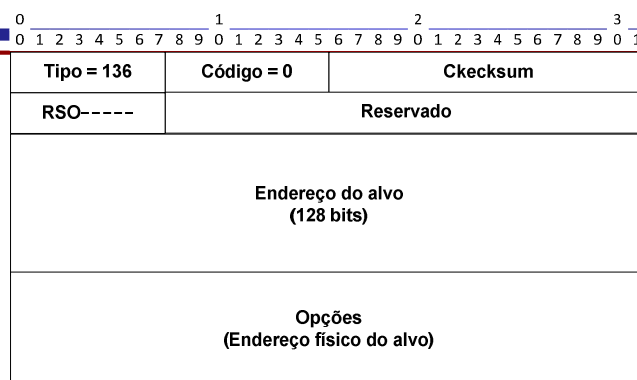
GTA/UFRJ

Mensagem de Solicitação de Vizinho

- Endereço de Destino
 - Endereço Multicast Nó-Solicitado correspondente ao endereço procurado
 - ou endereço do equipamento (caso de detecção de inacessibilidade – NUD)
- Campo Reservado
 - Alinhamento em palavras de 64 bits
- Campo Endereço do Alvo
 - Endereço IPv6 do equipamento procurado
- Campo Opções
 - Endereço físico da fonte
 - deve ser incluído em solicitações multicast
 - pode ser incluído em solicitações unicast
 - não deve ser incluído em solicitações com endereço de origem não especificado

GTA/UFRJ

Mensagem de Anúncio de Vizinho



- Enviada em resposta a uma solicitação
 - ou enviada espontaneamente em caso de mudança de endereço físico
 - ou de “status de roteador”
- Corresponde ao ARP Response do IPv4 no caso de determinação do endereço físico

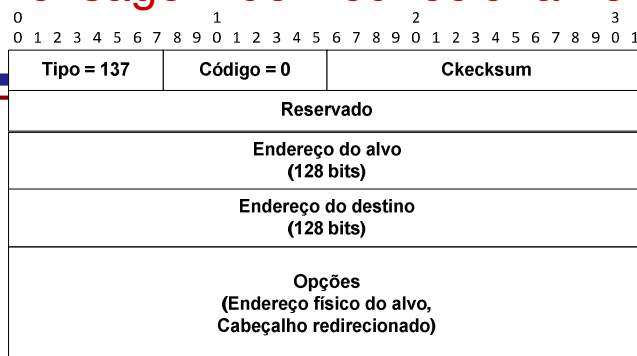
GTA/UFRJ

Mensagem de Anúncio de Vizinho

- Bit R (Router flag) = 1: o emissor é um roteador
 - O bit R permite detectar um roteador que se torna um equipamento "normal"
- Bit S (Solicited flag) =1: o anúncio foi enviado em resposta a uma solicitação
- Bit O (Override) =1: o anúncio deve apagar informações anteriores dos caches dos equipamentos, em especial a tabela de endereços físicos
- Campo Endereço do Alvo
 - Se S=1, contém o Endereço do Alvo da mensagem de solicitação à qual este anúncio corresponde
 - Se S=0, contém o endereço IPv6 link-local do equipamento emissor
- Campo Opção
 - Contém o endereço físico do emissor da mensagem

GTA/UFRJ

Mensagem de Redirecionamento



- Função de Redirecionamento semelhante ao IPv4
- Também serve para que estações sobre um mesmo meio físico, porém com prefixos diferentes, comuniquem-se diretamente
- Campo Endereço Alvo
 - Endereço IPv6 do equipamento para o qual os pacotes devem ser enviados (próximo salto melhor)
- Campo Endereço Destino
 - Endereço IPv6 do equipamento para o qual o redirecionamento se aplica

Configuração Automática

- **Objetivo: Conexão à rede local sem intervenção humana**
 - Instalação automática de rotas
 - ICMPv6 Router Solicitation/Announcement
 - Auto-configuração de endereços
- **Obtenção de um endereço quando**
 - A máquina se conecta à rede pela primeira vez
 - Renumeração da rede, após uma mudança de provedor de rede
- **Processo**
 - Criação de um endereço link-local
 - Verificação da unicidade do endereço link-local
 - Determinação do endereço unicast global

GTA/UFRJ

Configuração Automática

- **2 formas de determinação do endereço unicast global:**
 - **Autoconfiguração sem estado** (*stateless autoconfiguration*)
 - Útil quando não é necessária gestão administrativa dos endereços atribuídos
 - **Autoconfiguração com estado** (*stateful autoconfiguration*)
 - Útil quando é necessário controle estrito dos endereços atribuídos
 - Realizada pelo protocolo DHCPv6
- **Anúncios de Roteador indicam o método utilizado**
 - Bit M=0: autoconfiguração sem estado do endereço
 - Bit M=1: o endereço deve ser solicitado a um servidor DHCPv6
 - Bit O=1: além do endereço, informações adicionais disponibilizadas pelo servidor DHCPv6

GTA/UFRJ

Etapas do Procedimento de Autoconfiguração do Endereço

1. Criação do endereço link-local
 - (Comunicação com outras máquinas no enlace é possível)
2. Recebimento de uma mensagem de anúncio de roteador
 - Determinação do método de obtenção do endereço unicast global
3. Autoconfiguração sem estado
ou
3. Autoconfiguração com estado (DHCPv6)

(Obs.: Se não houver roteador, autoconfiguração com estado)

GTA/UFRJ

Duplicate Address Detection (DAD)

- Endereço em estado *provisório* enquanto DAD em execução
- Passos do Algoritmo de Detecção de Endereço Duplicado
 - Entrada no grupo multicast nó-solicitado correspondente
 - Envio de uma mensagem de Solicitação de Vizinho
 - Campo Endereço Alvo: endereço provisório
 - Endereço fonte: endereço IPv6 não especificado (: : /128)
 - Espera por resposta durante 1 segundo (tempo padrão sugerido)
 - Casos possíveis de acordo com a resposta:
 - Mensagem de anúncio de vizinho é recebida:
 - o endereço provisório já era considerado válido por outra máquina e não pode ser utilizado
 - Mensagem de solicitação de vizinho/DAD é recebida:
 - outro nó pretendia usar o mesmo endereço; ele não será utilizado por nenhum dos dois
 - Nenhuma resposta recebida:
 - o endereço passa de *provisório* a *válido*

Criação do Endereço Link-local

- Endereço link-local = prefixo + identificador da interface
- Prefixo link-local
 - **FE80::/64**
- Identificador
 - EUI-64
- Endereço provisório > DAD > Endereço válido

GTA/UFRJ

Autoconfiguração Sem Estado

- Geração do endereço de uma estação feita a partir de informações locais e de informações fornecidas por um roteador
 - Autoconfiguração funciona para estações, não para roteadores
- Endereço global = prefixo + identificador da interface
- Prefixo
 - Opção "Informação sobre Prefixo" das mensagens de Anúncio de Roteador
- DAD não é necessária, já que foi realizada para a escolha do endereço link-local

GTA/UFRJ

Propriedades de Segurança

- Confidencialidade dos dados
- Confidencialidade do fluxo de dados
- Autenticação da origem dos dados
- Autenticação mútua de duas entidades
- Integridade dos dados
- Prevenção contra ataques de repetição
- Não repúdio

GTA/UFRJ

Principais Formas de Ataque no IP

- IP sniffing
 - “Escuta” do tráfego em trânsito em uma rede
- IP spoofing
 - Falsificação do endereço IP da origem ou do destino
 - “Usurpação” da identidade de outra pessoa
- IP flooding
 - Envio de uma grande quantidade de pacotes, de forma que o tratamento destes pacotes exaure os recursos da máquina sob ataque

GTA/UFRJ

Principais Formas de Defesa no IP

- IP sniffing
 - Confidencialidade

- IP spoofing
 - Autenticação/integridade
 - Confidencialidade
 - Detecção de repetição

- IP flooding
 - Limitação das comunicações com/a determinadas estações

GTA/UFRJ

Extensões de Segurança no IPv6

- *Authentication Header (AH)*
 - Autenticação
 - Integridade
 - Detecção de ataques de repetição (opcional)
 - Não repúdio (a depender do método de autenticação)

- *Encapsulation Security Payload (ESP)*
 - Confidencialidade
 - Integridade
 - Autenticação
 - Detecção de ataques de repetição
 - Confidencialidade (parcial) do fluxo

GTA/UFRJ

Modos de Proteção do IPSec

- Modo Transporte
 - Protege a carga útil do pacote, e alguns campos do seu cabeçalho

- Modo Túnel
 - Protege a comunicação dentro de um túnel IP
 - Ou seja, protege todos os campos do pacote IP original e alguns campos do novo pacote IP que encapsula o pacote original

GTA/UFRJ

A Associação de Segurança

- Definição
 - Tipo de extensão de segurança do IPv6
 - Serviços e parâmetros de segurança
 - Algoritmo de autenticação e chaves
 - Algoritmo de criptografia e chaves, método de criptografia, ...
 - Tempo de vida da associação de segurança
 - Modo do protocolo IPSec (túnel ou transporte)

- Identificada por um índice de parâmetros de segurança
 - *Security Parameters Index* (SPI)

GTA/UFRJ

Autenticação

- Extensão AH (*Authentication Header*)
- Modo Transporte
 - Integridade
 - Dados do transporte e campos (cabeçalho e extensões) imutáveis do pacote IP
 - Posicionamento da extensão no pacote:

Cabeçalho IPv6	Ext. Hop-by-hop	Ext. Roteamento	Ext. Destino (*)	AH	Ext. Destino (*)	Dados
----------------	-----------------	-----------------	------------------	----	------------------	-------

GTA/UFRJ

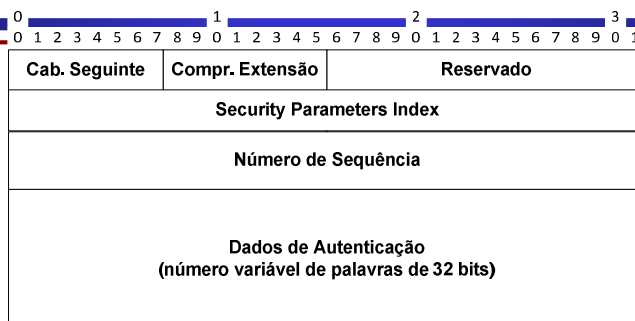
Autenticação

- Extensão AH (*Authentication Header*)
- Modo Túnel
 - Integridade
 - Todo o pacote IP original
 - Campos imutáveis do novo pacote IP que encapsula o original
 - Posicionamento da extensão no pacote:

Cabeçalho IPv6 + novas extensões	AH	Cabeçalho IPv6 + extensões originais	Dados
----------------------------------	----	--------------------------------------	-------

GTA/UFRJ

Conteúdo da Extensão AH

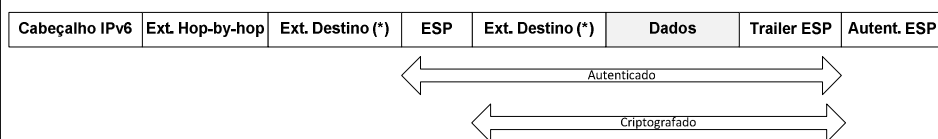


- Comprimento da Extensão em palavras de 32 bits
- SPI identifica a associação de segurança
- Número de sequência
 - Opcional: deve ser preenchido pela origem, mas o destinatário não é obrigado a verificar
- Dados de autenticação
 - Número variável de palavras de 32 bits

GTA/UFRJ

Confidencialidade

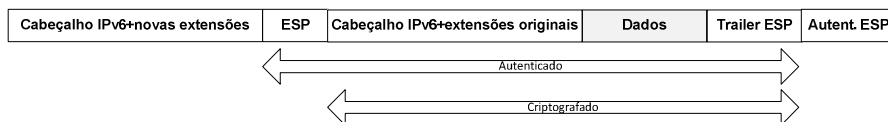
- Extensão ESP (*Encapsulating Security Payload*)
- Modo Transporte
 - Proteção criptográfica
 - Dados, do trailer ESP, e extensão destino (dependendo da sua posição no pacote)
 - Autenticação/integridade
 - Garante toda o conteúdo da extensão ESP, exceto o campo de dados de autenticação ESP
 - Posicionamento da extensão no pacote:



GTA/UFRJ

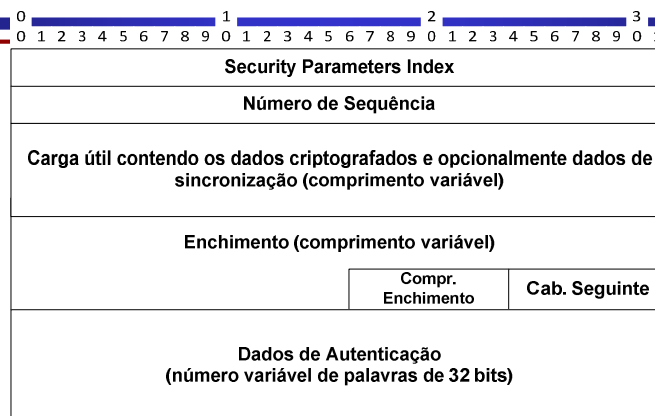
Confidencialidade

- Extensão ESP (*Encapsulating Security Payload*)
- Modo Túnel
 - Proteção criptográfica
 - Sobre todo o pacote IP original
 - Autenticação/integridade
 - Garante toda o conteúdo da extensão ESP, exceto o campo de dados de autenticação ESP
 - Posicionamento da extensão no pacote:



GTA/UFRJ

Conteúdo da Extensão ESP



- SPI identifica a associação de segurança
- Número de sequência

GTA/UFRJ

Conteúdo da Extensão ESP

- Carga útil (dados criptografados) pode conter:
 - Cabeçalho IP + Extensões + Dados do transporte
 - (pacote IP completo)
 - Extensão de destino + Dados do transporte
 - Dados do transporte
 - Dados de sincronização dependendo do algoritmo criptográfico
- Enchimento, Comprimento do Enchimento
 - Bits de enchimento se devido ao alinhamento dos dados de criptografia
- Cabeçalho seguinte
 - Indica tipo de dados contidos no primeiro campo da carga útil
- Dados de autenticação
 - Opcional, depende da associação de segurança

GTA/UFRJ