2019/2

Gabriel de Melo Cruz
gabriel.melo.cruz@usp.br

IPv6: Resolvendo um Problema
Notas de Aula

Hello IPv6 World

IPv6 chegou para ficar. Hoje em dia os interessados em aprender sobre IPv6 são, em geral, administradores e engenheiros de redes - ou seja, pessoas que você imagina que se interessariam pelo assunto. No futuro não muito distante, no entanto, não são só eles que terão que aprender IPv6. Nesse futuro, a grande maioria das máquinas conectadas à Internet estará usando o protocolo IPv6, e será muito difícil se virar na internet sem entender o básico do protocolo.

Um pouco da história e cultura da Internet

A IAB (Internet Architecture Board), estabelecida em 1979, é a maior autoridade da Internet, sendo responsável pela decisão final em relação decisões sobre protocolos, etc. Em 1986 a IAB criou um órgão auxiliar para lidar com consenso da comunidade e documentação de protocolos: a IETF (Internet Engineering Task Force). Em 1990 começaram as discussões na IAB e na IETF sobre a escassez de endereços IPv4 e futuras alternativas para o IPv4.

Na época, a Internet ainda se consolidava como a rede mundial de computadores. Não havia um consenso bem formado sobre quais protocolos seriam usados para a transmissão de dados através da Internet. Nesse contexto, a ISO (International Organization for Standardization) se esforçava para que seu modelo de comunicação teórico (OSI), representado pelo protocolo TUBA (TCP and UDP with Bigger Addresses), fosse eleito como padrão oficial de transmissão de dados na Internet. Num esforço para descentralizar o controle da Internet dos Estados Unidos, a IAB, sem consultar a IETF, sugeriu que o TUBA fosse usado como padrão de comunicação na Internet.

A resposta da IETF, que era de se esperar, declarava guerra à ISO, uma vez que a IETF, com um processo de discussão mais ágil e aberto à comunidade, temia perder o controle da Internet para uma organização fechada e muito engessada. Sendo assim, Vint Cerf, líder da IAB na época, anunciou em 1993 uma chamada de propostas para a nova versão do protocolo IP.

Um ano depois, em 1994, três propostas tinham sido submetidas: CATNIP e TUBA, que seguiam o modelo ISO/OSI; e o SIPP, indicado pela IETF em 1993. A IESG (Internet Engineering Steering Group) seria a jurada que escolheria o vencedor. A IETF venceu a disputa, retomando controle do desenvolvimento dos protocolos usados na Internet. O SIPP tornou-se, em 1995, oficialmente o IPv6, no RFC 1883.

Lendo e escrevendo IPv6

Endereços IPv6 são, à primeira vista, muito bizarros, mas, com um pouco de prática, veremos que não é nenhum bicho de sete cabeças. Na verdade, muitos mecanismos do IPv6 serão bem mais simples de serem entendidos do que aqueles do IPv4. Alguns exemplos de endereços IPv6 são:

- 2804 : 431 : cffa : 3995 : 396d : 37af : d784 : 1331 /64
- ::1 /128
- fe80 :: cd2f : 48c1 : a2e3 : b2ce /64
- 2804 : 431 : cffa : 3995 : 6d65 : c11 : 9f93 : a0e8 /64

Hexadecimais

A base hexadecimal é muito utilizada no contexto de redes de computadores. Quando falamos por exemplo de endereços MAC ou do conteúdo de um pacote (visto, digamos, no Wireshark), essas informações estão codificadas, em geral, na base hexadecimal. Um número dígito hexadecimal pode assumir 16 valores diferentes:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E ou F.

O estranho aqui, claro, são as letras. Na base hexadecimal cada uma das letras possui um valor numérico. A, B, C, D, E e F correspondem, respectivamente, aos números 10, 11, 12, 13, 14 e 15 na base decimal.

Como em decimal, podemos ter várias casas em números hexadecimais, cada uma das casas multiplica o valor do dígito por 16. Por exemplo, o número 10 em hexadecimal vale 16 em decimal, e o A0 é equivalente ao 160 na nossa base usual. Então, se fizéssemos a conta A + B teríamos o resultado de 15 em hexa (21 em decimal).

Mas afinal, de que nos interessa saber hexadecimal no contexto do IPv6? Peguemos o endereço a seguir como exemplo:

2804 : 431 : cffa : 3995 : 6d65 : c11 : 9f93 : a0e8 /64

Essas letrinhas no endereço são na verdade dígitos hexadecimais! Como o IPv6 utiliza mais bits que o IPv4 (128 no IPv6 contra apenas 32 no IPv4) é preciso achar uma forma de escrever essa informação de maneira razoavelmente compacta. Se usássemos uma notação semelhante ao IPv4, que utiliza somente dígitos decimais para representar o endereço, os

endereços IPv6 seriam mais ou menos assim:

149 . 250 . 123 . 243 . 10 . 123 . 34 . 65 . 189 . 167 . 132 . 244 . 180 . 3 . 12 . 110

Grandinho né? Usando dígitos hexadecimais podemos reduzir a representação, pois um dígito hexadecimal codifica exatamente 4 bits, ou seja, precisamos de apenas 32 dígitos hexadecimais para codificar um endereço IPv6. A seguir, veremos como reduzir ainda mais essa representação.

Notações

Há muitas possibilidades de endereços IPv6 e, sendo assim, não é surpresa que a grande maioria dos que usamos hoje sejam cheios de zeros. É comum encontrar endereços como:

0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0001
FF02 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0001

Sendo assim, a IETF criou algumas regrinhas de notação para encurtar esses endereços, tornando eles bem mais fáceis de ler e escrever (... na maioria das vezes).

Preferred: É a que vimos até agora, nada é encurtado nessa notação. Todos os zeros são mostrados. O endereço é representado por 8 quadras de dígitos hexadecimais divididas por dois pontos (**:**). Exemplos:

FE80 : 0000 : 0000 : 0000: CD2F : 48C1 : A2E3 : B2CE
0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0001
FF02 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0001

Obs: Endereços IPv6 são *case insensitive*, ou seja, não importa se usamos letras maiúsculas ou minúsculas para representar os endereços.

Removendo zeros à esquerda: Nessa notação removemos os zeros à esquerda dentro de cada *hexteto* (quarteto de dígitos hexadecimais). Por exemplo, o endereço

FE80 : **000**0 : **000**0 : **000**0 : CD00 : **00**C1 : A230 : **0**2CE

Ficaria, aplicando a regra:

FE80 : 0 : 0 : 0: CD**00** : C1 : A23**0** : 2CE

Repare que os zeros **à direita** nos hextetos CD00 e A230 não foram omitidos, pois, pela regra, só omitimos zeros à esquerda. Isso porque, no caso de ambos zeros à direita e à esquerda, não saberíamos de onde foram omitidos os zeros. Por exemplo, no hexteto **0**E8**0,**caso omitíssemos os dois zeros, ficaríamos apenas com E8, e um leitor desavisado não saberia se estamos falando do hexteto 00E8, 0E80 ou E800.

Omitindo hextetos inteiros de zeros: Segundo essa regra devemos omitir todos os hextetos de zeros consecutivos, trocando-os por dois caracteres de dois pontos (::). Assim, o endereço

FE80 : **0000 : 0000 : 0000** : CD00 : 00C1 : A230 : 02CE

Ficaria, aplicando a regra:

FE80 **::** CD00 : 00C1 : A230 : 02CE

Mas, de acordo com o RFC 5952 se tivermos duas sequências de hextetos de zeros no mesmo endereço, devemos omitir a maior sequência de zeros e, em caso de empate, omitimos somente a primeira delas. Por exemplo, o endereço

FE80 : **0000 : 0000** : 0AB0 : **0000 : 0000 : 0000** : 02CE

Ficaria

FE80 : **0000 : 0000** : 0AB0 **::** A230 : 02CE

Já que a segunda sequência de hextetos cheios de zeros é maior que a primeira. Por outro lado, o endereço

FE80 : **0000 : 0000 : 0000** : 0AB0 **: 0000 : 0000** : 02CE

Ficaria

FE80 :: 0AB0 : **0000 : 0000** : 02CE

Finalmente, quando há empate no comprimento das sequências de hextetos nulos, omitimos apenas a primeira delas, como em

FE80 : **0000 : 0000** : 0AB0 **: 0000 : 0000** : 2A30 : 02CE

Que fica

FE80 **::** 0AB0 **: 0000 : 0000** : 2A30 : 02CE

Juntando as duas regras: Em geral ambas as regras de compressão na representação do IPv6 são utilizadas. Então, é comum ver endereços como

FF02 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0000 : 0002

Representados como

FF02 :: 2

Obs: Repare que não somente a sequência de hextetos de zeros foi omitida, mas também os zeros à esquerda no hexteto **0002**.

Anatomia de um endereço IPv6

Já sabemos ler e escrever perfeitamente endereços IPv6, mas precisamos, mais que isso, **entendê-los**. Se você conhece um pouco sobre IPv4 sabe que ele tem duas partes: uma referente à **rede**, e outra referente ao ***host***. O endereço 192.168.15.10/24, por exemplo, nos diz que os 24 primeiros bits (**192.168.15.0/24**) se referem à rede e os demais (.10) ao host. Dependendo do tamanho da máscara (/24, /16, /25, etc.) teremos mais ou menos combinações para redes e *hosts*.

Um endereço IPv6 é em geral muito parecido com o IPv4. Ele também possui duas partes, uma para rede e outra para *host*: um **prefixo** e um ***interface ID***, respectivamente. No entanto, diferentemente do IPv4, no IPv6 os primeiros 64 bits **SEMPRE** serão usados para endereçar a rede, nunca para o *host*, independente de qual seja o tamanho da máscara. Por exemplo, no endereço

FE80 :: AB0 : 0000 : 0000 : 2A30 : 2CE **/64**

Os primeiros 64 bits serão utilizados para endereçar a rede, e os demais (64) bits para endereçar o *host* (a interface).

A quantidade de bits no prefixo pode ainda ser *menor* ou *maior* do que 64 bits. Se o prefixo utilizar menos de 64 bits, então os demais bits da primeira metade do endereço serão destinados ao endereço da subrede. Se o prefixo for maior do que 64 bits, então haverá menos bits disponíveis para endereçar o *host*.

Por exemplo, no endereço

FE80 : 0000 : 0000 : 0AB0 : 0000 : 0000 : 2A30 : 02CE **/48**

Utiliza apenas 48 bits de prefixo (*FE80 : 0000 : 0000*), o que significa que haverá 16 bits (*0AB0*) para endereçar a subrede, e os demais 64 bits (*0000 : 0000 : 2A30 : 02CE*) serão a *interface ID*.

Como um último exemplo, temos que no endereço

FE80 : 0000 : 0000 : 0AB0 : 0000 : 0000 : 2A30 : 02CE **/80**

Os 80 primeiros bits (*FE80 : 0000 : 0000 : 0AB0 : 0000*) serão utilizados como prefixo, e os demais 48 bits (*0000 : 2A30 : 02CE*) serão o *interface ID*. Nesse exemplo, não há uma parte do endereço que referencie uma subrede.

Endereços estranhos

Alguns endereços “diferentões”, que são mais comuns incluem:

Unspecified	**::/128**
Loopback	**::1/128**
6to4 (tunnel)	**2002::/16**
NAT64	**64:ff9b::/96**

FAQ: Perguntas Frequentes

1. **Quão maior é a *pool* de endereços IPv6 em relação ao IPv4?**

IPv6	340,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000
Humanos na Terra	7,210,000,000
Moléculas no corpo humano	156,000,000,000,000
Átomos no corpo humano	5,940,000,000,000,000,000,000,000,000
Átomos na raça humana	42,800,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000

2. **Quanto usado é o IPv6 hoje?**

   Dos acessos feitos ao site do Google:

   - 27% dos acessos usam links nativos
   - 0.02% dos acessos usam conversão 6to4

3. **Se eu for para a China meu IPv6 não muda?**

   Falso! O Mobile IPv6 é o mecanismo que permite a um dispositivo aparentar ter o mesmo endereço IP mesmo que mude de localização, isso é possível pois na sua localização original existe um outro agente com o seu *home address* que encaminha as

mensagens recebidas para o dispositivo alvo. No entanto, Mobile IP não é uma tecnologia exclusiva do IPv6, existe uma versão equivalente para IPv4.

4. **IPv6 é *mais* seguro que o IPv4?**

   Falso! Se por um lado o IPv6 não tem mecanismos comumente explorados na pilha IPv4, como por exemplo o protocolo ARP, por outro ele tem novos mecanismos que por sua vez abrem novas brechas de segurança, como por exemplo o ataque de Neighbor Cache Exhaustion.

5. **IPv6 é *menos* seguro que o IPv4?**

   Falso! É comum ouvir que, como NAT não é frequentemente usado em IPv6, isso diminui a segurança de redes privadas. Isso é uma afirmação falsa. O que promove segurança em IPv4, que comumente é usado em conjunto com uma NAT, é o *Stateful Firewall*.

6. **IPv6 vai acabar com IPv4?**

   No futuro "próximo" IPv4 e IPv6 ainda vão coexistir. É possível que um dia os endereços IPv4 tornem-se obsoletos e só restem os IPv6. No entanto, essa previsão é para um futuro ainda relativamente distante, então é bom ter em mente tanto a pilha de protocolos IPv6 quanto a IPv4.

7. **Onde foi parar o IPv5?**

   O IPv5 nunca chegou a vigorar como um padrão oficial da IETF. O IPv5, também conhecido como Internet Stream Protocol, ou apenas ST, foi desenvolvido em conjunto pela Apple, NeXT e Sun Microsystems como um protocolo para streaming de vídeo e áudio. O motivo pelo qual o IPv5 foi abandonado é o mesmo pelo qual o IPv4 está sendo deixado de lado: espaço de endereçamento. Tanto IPv5 quanto IPv4 possuem a mesma limitação fundamental: eles usam 32 bits para endereçamento de hosts na internet.

Referências

1. Just How Big is IPv6? (Reddit)
2. IPv6 Statistics (Google)
3. O que é o IPv6, em português claro
4. IPv6 Neighbor Cache Exhaustion
5. Mobile IP (Wikipedia)
6. IPv6 Security Myth #3 - No IPv6 NAT Means Less Security

7. What Happened to IPv5?

Ferramentas e Comandos

1. Tutorial sobre configuração básica de rede
2. IPv6 (Arch Wiki)
3. Linux IPv6 HowTo
4. IPv6 for fun and profit (GitHub)

Materiais de Estudo Adicionais

1. Tipos de endereço IPv6
2. Cheatsheet geral
3. Cheatsheet endereçamento
4. Protocolos e mecanismos do IPv6
5. IPv6 BR
6. IPv6 Fundamentals: A Straightforward Approach to Understanding IPv6