

IPv6 – protokół internetowy następnej generacji

Grzegorz Olszanowski
email: golszanowski@pwsz.chelm.pl

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chelmie

Streszczenie

Publikacja ta ma na celu przybliżenie mechanizmu adresowania komputerów w Internecie w oparciu o protokół IP. Omówione zostaną protokoły IPv4 i IPv6.

Abstract

This publication is a brief description of the Internet Protocol, especially Internet Protocol next generation (IPv6) – designed as successor to IP version 4 (IPv4).

1. Wprowadzenie

Przez ostatnie lata INTERNET stał się najpopularniejszą i najrozleglejszą siecią komputerową, o której prawie każdy wie lub przy najmniej słyszał. Nie każdy jednak wie, jakie są mechanizmy komunikowania w tej sieci. Publikacja ta ma w dużym uogólnieniu przybliżyć jeden z protokołów sieciowych - protokół IP. Idea protokołu IP została opracowana ponad 20 lat temu na użytek Ministerstwa Obrony USA, które potrzebowało sposobu łączenia ze sobą firmowych komputerów.

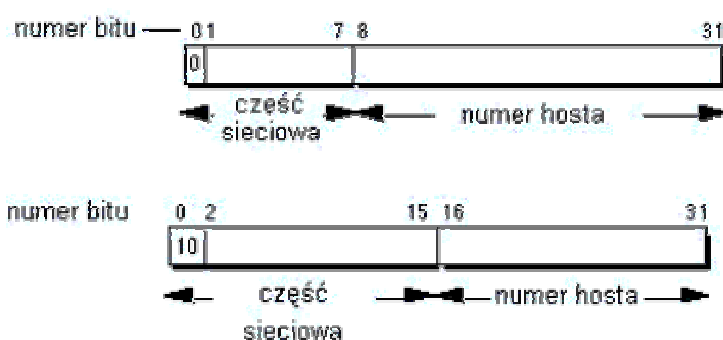
2. IP – co to takiego

IP - unikalny w skali świata numer, jaki posiada każdy komputer podłączony do Internetu. Adresy IP są częścią globalnego standardu, dzięki czemu możliwe jest precyzyjne zidentyfikowanie każdego komputera wysyłającego lub otrzymującego informacje w Internecie. Wszystkie pakiety "podróżujące" Internetem opatrywane są adresem IP adresata oraz nadawcy. Adresy te, w przeciwieństwie do adresów fizycznych, nie są związane sprzętowo z konkretnym urządzeniem, ale przypisywane są do komputera przez administratora sieci, poprzez konfigurację ustawień systemowych.

3. Schemat adresowania IPv4

Adres IPv4 (IP to skrót od Internet Protocol) jest 32-bitową liczbą, zapisywaną zazwyczaj w formie czterech 8-bitowych członów oddzielonych kropkami. Struktura taka pozwala zaadresować około 4 miliardy ($2^{32} - 1$) urządzeń. Ponieważ w praktyce używa się zapisu dziesiętnego, liczba w każdym z czterech pól może przyjąć wartość od 0 do 255, np: 192.152.22.10. Poszczególne części adresu IP odpowiadają, z grubsza rzecz biorąc, kolejnym coraz mniejszym sieciom, które napotykamy "po drodze" do interesującego nas komputera. Przykładowo, w adresie 149.156.24.12 pierwsza liczba - 149 - oznacza Polskę (jeden z kilku numerów przydzielonych naszemu krajowi), 149.156 to Kraków (ściślej - krakowska sieć miejska, MAN), 149.156.24 odnosi się do konkretnej instytucji przyłączonej do tej sieci, a ostatni człon adresu jest już numerem komputera w obrębie tej instancji. W pierwotnej wersji protokołu IP (zaprojektowanego dla sieci ARPANet) najstarsze 8 bitów adresów identyfikuje sieć, natomiast pozostałe 24 bity reprezentują urządzenie wpięte do Sieci. Ponieważ ARPANet miał łączyć, co najwyżej kilkadziesiąt instytucji, przyjęta 32-bitowa przestrzeń adresowa wydawała się rozwiązaniem nowoczesnym i przyszłościowym. Ponieważ szybko okazało się, iż ARPANet połączy więcej niż 256 sieci, wydzielono pięć klas 32-bitowych adresów dla sieci różnych wielkości. Spośród nich szeroko stosowane są klasy A, B oraz C:

- Klasa A. Przeznaczona dla rozległych sieci obejmujących wiele możliwych do zaadresowania urządzeń. Część identyfikująca sieć składa się z jednego (pierwszego) bajtu, pozostałe trzy bajty opisują konkretny komputer. Możliwe jest, zatem zaadresowanie 16 milionów urządzeń w każdej ze 127 sieci. W tej klasie znajdują się adresy od 0.0.0.0 do 126.255.255.255 (z czego adresy od 10.0.0.0 do 10.255.255.255 są zarezerwowane do specjalnych celów).
- Klasa B. Przeznaczona dla sieci średnich rozmiarów. Części identyfikujące sieć jak i poszczególne komputery są jednakowych rozmiarów i obejmują po dwa bajty. Pozwala zaadresować 65 tysięcy urządzeń w każdej z 16 tysięcy sieci. Klasa obejmuje adresy od 128.0.0.0 do 191.255.255.255 (minus zarezerwowane adresy od 172.16.0.0 do 172.31.255.255).



- Klasa C. Najczęściej spotykana w Internecie, przeznaczona dla małych sieci zawierających do 254 komputerów. Część identyfikująca sieć to trzy pierwsze bajty, poszczególne komputery identyfikuje ostatni bajt. Adresem tej klasy może dysponować aż 2 miliony różnych podsieci Internetu. Pula dostępnych adresów zawiera się w przedziale 192.0.0.0 do 223.255.255.255 (zarezerwowane są adresy od 192.168.0.0 do 192.168.255.255).

Pozostałe dwie klasy (D i E) mają marginalne znaczenie.

4. Protokół Internetu wersja 6

a. Wprowadzenie

Komercjalizacja Internetu przyniosła ze sobą najbardziej znaczącą zmianę, spowodowała bezprecedensowy rozrost populacji użytkowników i zmianę w jego demografii. To z kolei stworzyło potrzebę większej ilości adresów. Rozwój taki ujawnił „upośledzenie” protokołu Ipv4 poprzez swoją 32-bitową architekturę adresów, swoją dwupoziomą hierarchią adresowania oraz klasy adresów. Taka dwupoziomowa hierarchia „host.domena” nie pozwala na konstrukcję wydajnych hierarchii adresów, które mogłyby zostać wykorzystane na skalę odpowiadającą dzisiejszym wymaganiom globalnego Internetu. Ponadto IPv4 nie przewiduje odpowiedniego poziomu zabezpieczenia i wspomagania przepływu informacji w czasie rzeczywistym, wymaganego w takich sytuacjach jak przenoszenie głosu przez Internet.

Następna generacja protokołu IP – Ipv6 – rozwiązuje wszystkie wymienione problemy. Oferuje znacznie rozszerzony schemat adresowania, aby nadażyć za stałą ekspansją Internetu. Adresowanie jest aspektem protokołu Ipv6, który wymaga szerszego omówienia. 32 –bitowa długość adresu IPv4 umożliwia teoretycznie zaadresowanie około 4 miliardów urządzeń. Jednak niewydajne podsieciowe metody maskowania i inne rozrzucone praktyki roztrwonili – niestety – ów zasób. Protokół Ipv6 używa 128 – bitowego adresu i jest teoretycznie 2^{96} razy większy od rozmiaru przestrzeni adresowej Ipv4. Daje to:

340 282 366 920 938 463 374 607 431 768 211 456

możliwych matematycznie adresów. Obecnie tylko około 15% z tych potencjalnych adresów jest przydzielonych. Reszta zarezerwowana jest na bliżej nieokreślone przyszłe wykorzystanie. W rzeczywistości przypisanie adresów wymaga ich hierarchii. Hierarchie mogą zmniejszyć liczbę potencjalnych adresów, ale za to zwiększyć wydajność protokołu. Jedną z praktycznych implikacji długości adresu IPv6 jest to, że usługa nazwy domeny (DNS – **D**omain **N**ame **S**ervice), stanowiąca w wersji IPv4 jedynie wygodny luksus, tutaj staje się absolutną koniecznością.

Równie znaczącą, jak zwiększona potencjalna przestrzeń adresowa, jest jeszcze większa elastyczność na jaką pozwalają nowe struktury adresowe IPv6. Protokół ten uwalnia się od adresowania bazującego na klasach. Zamiast tego rozpoznaje on trzy rodzaje adresów:

- **unicast** (pojedynczy) - adres identyfikujący jeden interfejs odbiorczy. Pakiet wysłany na adres pojedynczy dostarczony jest do interfejsu identyfikowanego przez ten adres.
- **anycast** (najbliższy z grupy) - adres identyfikujący zestaw interfejsów (należących zwykle do różnych węzłów). Pakiet wysłany na adres tego typu dostarczany jest do jednego z interfejsów identyfikowanych tym adresem grupowym („najbliższym” nadawcy).
- **multicast** (grupowy) - adres identyfikujący zestaw interfejsów. Pakiet wysłany na adres grupowy dostarczany jest do wszystkich interfejsów identyfikowanych tym adresem.

W IPv6 nie ma adresów rozgłoszeniowych (broadcast). Ich rolę pełnią adresy typu multicast. W IPv6 same zera jak i same jedynki (w zapisie binarnym) są wartościami poprawnymi i nie mają innego znaczenia jak w IPv4. W IPv6 adresy wszystkich typów są przypisane do interfejsów a nie do węzłów. Adres pojedynczy (unicast) odnosi się do pojedynczego interfejsu. Oczywiście jeden interfejs może posiadać kilka adresów IPv6.

b. Reprezentacja adresów protokołu IPv6

Adresy IPv6 składają się ze 128-bitowych ($128=8*16$) identyfikatorów. Mamy trzy konwencje reprezentowania adresów IPv6 jako łańcuchów tekstowych:

1. Preferowana forma to $x:x:x:x:x:x:x:x$ gdzie każdy „x” może przyjąć wartości szesnastkowe od „0000” do „FFFF”.

Przykłady:

```
FEDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210
AABB:1001:0:0:DEAD:BEEF:10AA:AA0C
```

Należy zauważyć, że nie jest konieczne pisanie początkowych zer w każdym z pól, ale musi wystąpić przynajmniej jedna cyfra w każdym z pól (z wyjątkiem przypadku opisanego poniżej).

2. Z powodu metod przydzielania adresów IPv6, będzie częste w nich występowanie długich łańcuchów zer. Żeby ułatwić pisanie adresów zawierających ciągi zer, została wymyślona specjalna składania, która pozwala na kompresowanie zer. Użycie „::” oznacza wielokrotną grupę 16-bitów zer. Wyrażenie „::” może pojawić się **tylko raz** w adresie.

Przykłady (z RFC¹ 2373):

```
1080:0:0:0:8:800:200C:417A   adres pojedynczy
FF01:0:0:0:0:0:0:101       adres grupowy
0:0:0:0:0:0:0:1           adres pętli zwrotnej
0:0:0:0:0:0:0:0          adres nieokreślony
```

można zapisać jako:

```
1080::8:800:200C:417       adres pojedynczy
FF01::101                 adres grupowy
::1                       adres pętli zwrotnej
::                        adres nieokreślony
```

3. Kolejną alternatywą, która jest czasami wygodna, gdy mamy doczynienia z mieszanymi środowiskami węzłów IPv4 oraz IPv6 jest zapis $x:x:x:x:x:x:d.d.d.d$ (czyli 128 bitów= $6*16$ bitów+ $4*8$ bitów), gdzie „x” jest 16 bitową heksadecymalną wartością jednej szóstej adresu natomiast „d” jest dziesiętną wartością czterech 8-bitowych kawałków adresu (standardowy zapis adresu IPv4).

Przykłady (RFC 2373):

```
0:0:0:0:0:0:13.1.68.3
0:0:0:0:0:0:FFFF:129.144.52.38
```

lub w formie „skompresowanej”:

¹ Request for Comments-seria internetowych raportów określających standardy obowiązujące w sieci Internet, wyniki pomiarów, pomysły i opisy technik dotyczące w szczególności bezpieczeństwa i szyfrowania informacji.

:::13.1.68.3
::FFFF:129.144.52.38

c. Reprezentacja prefiksów adresów

Tekstowa reprezentacja prefiksów adresów IPv6 jest analogiczna do stosowanej notacji CIDR² w IPv4. Prefiks adresu IPv6 jest reprezentowany:

ipv6-adres/długość-prefiksu

gdzie

- ipv6-adres - oznacza adres IPv6 zapisany w jednej z notacji wymienionych wyżej
- długość-prefiksu - jest liczbą dziesiętną, która mówi jak dużo bitów od lewej strony składa się na prefiks

Przykłady 60-bitowego prefiksu 12AB00000000CD3:

12AB:0000:0000:CD30:0000:0000:0000:0000/60
12AB::CD30:0:0:0:0/60
12AB:0:0:CD30::/60

W przypadku, gdy piszemy adres węzła oraz prefiks tego węzła (prefiks podsieci danego węzła) możemy to połączyć w jeden:

12AB:0:0:CD30:123:4567:89AB:CDEF adres węzła
12AB:0:0:CD30::/60 adres podsieci
12AB:0:0:CD30:123:4567:89AB:CDEF/60 skrócona forma

d. Prefiksy adresów IPv6

Specyficzne typy adresów IPv6 są identyfikowane przez początkowe bity w adresie. Bity początkowe nazywane są również prefiksem formatu (ang. Prefix - FP). Początkowa alokacja tych prefiksów została pokazana w tabelicy 1.

Tablica 1: Architektura adresów IPv6

Alokacja	Prefiks
Zarezerwowany	0000 0000
Nieprzypisany	0000 0001
Zarezerwowany dla NSAP	0000 001
Zarezerwowany dla IPX	0000 010
Nieprzypisany	0000 011
Nieprzypisany	0000 1
Nieprzypisany	0001
Podstawowy adres pojedynczy	001
Nieprzypisany	010
Nieprzypisany	011
Nieprzypisany	100
Nieprzypisany	101

² CIDR- schemat adresowania, który uwzględnia skuteczniejszą alokację adresów IP. Więcej: RFC 1519: CIDR: An Address Assignment and Aggregation Strategy

Nieprzypisany	110
Nieprzypisany	1110
Nieprzypisany	1111 0
Nieprzypisany	1111 10
Nieprzypisany	1111 110
Nieprzypisany	1111 1110 0
Adresy lokalne łącza	1111 1110 10
Adresy lokalne węzła	1111 1110 11
Adresy grupowe	1111 1111

Adresy pojedyncze są rozróżniane od adresów grupowych poprzez wartość ośmiu najstarszych bitów adresu. Wartość FF (heksadecymalnie) identyfikuje adres grupowy, każdy inny adres jako pojedynczy. Adresy „najbliższe z grupy” (anycast) są wydzielane z puli adresów pojedynczych i nie są syntaktycznie wyróżnione od adresów pojedynczych.

e. Adresy specjalne

Dwa adresy mają specjalne znaczenie w IPv6. Pierwszym z nich jest adres 0:0:0:0:0:0:0:0. Nie może być on nigdy przypisany do żadnego węzła i jest zdefiniowany jako adres niesprecyzowany i służy do informowania o braku adresu. Może on być wykorzystany przy starcie systemu gdy węzeł nie ma jeszcze przypisanego żadnego adresu.

Drugim specjalnym adresem jest adres pętli zwrotnej 0:0:0:0:0:0:0:1. Jest on używany przez węzeł do wysyłania pakietów adresowanych do samego siebie. Pakiet z adresem przeznaczenia pętli zwrotnej nie może być nigdy wysłany poza pojedynczy węzeł oraz nie może być przesyłany przez routery IPv6.

5. Rozwój i przyszłość IPv6

W chwili obecnej sieć Internet jest oparta na protokole IPv4. Istnieje ogólnosiwiatowa sieć 6BONE, która służy do badania zachowania protokołu IPv6 w różnych warunkach pracy. Sieć ta oparta jest o połączenia tunelujące protokołu IPv6 w protokole IPv4.

Jest mało prawdopodobne, aby w najbliższej przyszłości przestano korzystać z protokołu IPv4 i zacząć używać IPv6. Na pewno będzie to proces długotrwały i w początkowej fazie będą musiały istnieć rozwiązania heterogeniczne. Protokół IPv6 posiada duże ulepszenia w stosunku do IPv4, ale nie są one jednak na tyle duże i niezbędne, aby Internet skierował się szybko w kierunku nowego protokołu. Jediną rzeczą, która mogłaby zmusić do szybszego przesiadania się na IPv6 byłoby wyczerpywanie puli adresów IPv4. To jednak według prognoz nie nastąpi co najmniej przez najbliższe 3-5 lat. W tej chwili wykorzystanie adresów IPv4 sięga niespełna 60%.

Literatura

1. RFC 2460, „Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification”
2. RFC 2373, „IP Version 6 Addressing Architecture”