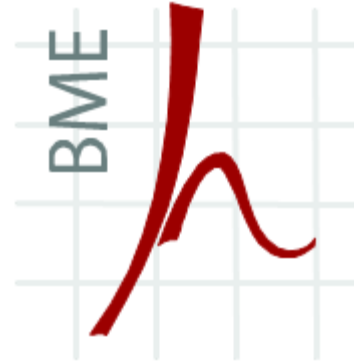




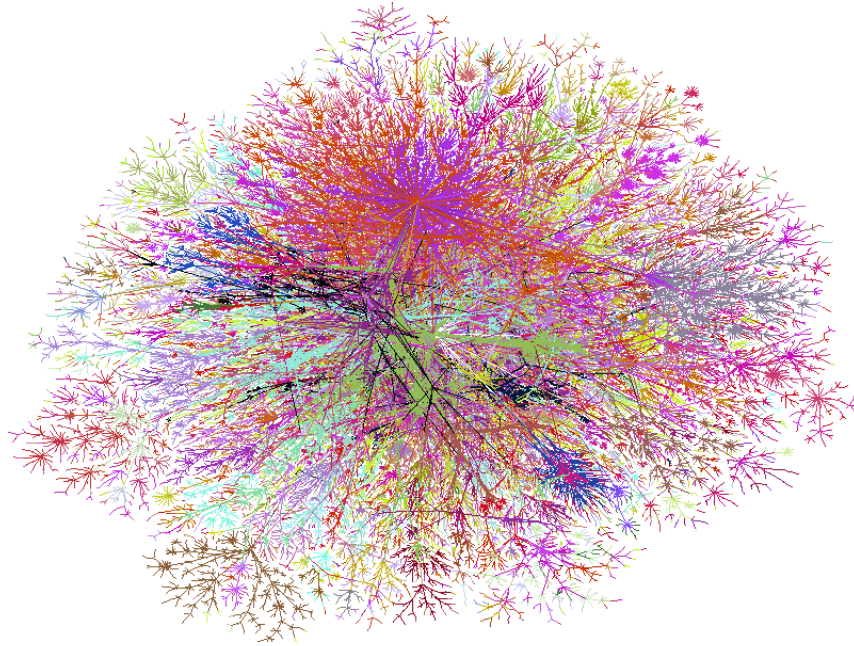
# IPv6

*Kommunikációs hálózatok I. (BMEVIHAB01)  
2016. évi fóliái alapján készült*

Dr. Lencse Gábor  
tudományos főmunkatárs  
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék  
[lencse@hit.bme.hu](mailto:lencse@hit.bme.hu)



- Bevezetés: miért kell az IPv4-et lecserélni?
- Az IPv6 általános jellemzői
- IPv6 címezés
- Az IPv6 datagramok felépítése
- Neighbor Discovery Protocol
- ICMPv6



<http://cheswick.com/ches/map/gallery/wired.gif>

# BEVEZETÉS: MIÉRT KELL AZ IP 4-ES VERZIÓJÁT LECSERÉLNI?

# Motiváció – problémák az IPv4-gyel

- 32 bites címtartomány kimerülése
- Erőforrás-igényes
  - Felesleges mezők vannak a fejrészben (pl. ellenőrző összeg)
  - Tördelésre lehet szükség a köztes csomópontokban
- Nem biztonságos
  - Nem támogatja a hitelesítést és a titkosítást
- Nehézkes konfigurálni
  - Automatikusan csak megfelelő infrastruktúrával
- Mobilitástámogatás csak külön protokollal

# A címtartomány kimerülésének okai

- Egyre nagyobb az Internet elterjedtsége
- Fejlődő népes országok (Kína, India, Afrikában is...)
- Egyre több eszköz
  - Mobiltelefonok
  - PDA-k
  - Szenzorok (intelligens otthon, biometrikus ~)
  - TV-készülékek, hűtők, mosógépek, ...
- Pazarló címfelhasználás
- **Rövid (32 bites cím)**

*"So, IPv6. You all know that we are almost out of IPv4 address space.*

*I am a little embarrassed about that because I was the guy who decided that 32-bit was enough for the Internet experiment. My only defense is that that choice was made in 1977, and I thought it was an experiment.*

*The problem is the experiment didn't end, so here we are." -- Vint Cerf, LCA 2011*

# Hol tartunk most?

- A központilag kiosztható IPv4 címtartomány kimerült
  - 2011. 01. 31-i igénylések után a (korábban megalkotott „végjáték” szabályok szerint) 2011. 02. 03-án az IANA ünnepélyesen kiosztotta az utolsó „/8” blokkokat a RIR-eknek
- A RIR-ek tartományai is sorra kimerültek/nek
  - APNIC: 2011. 04. 19.
  - RIPE NCC: 2012. 09. 14.
  - LACNIC: 2014. 06. 10.
  - ARIN: 2015. 09. 24.
  - AfriNIC: 2019. (várható)
- RIPE NCC
  - szigorúbb allokációs szabályok a legutolsó „/8” blokkra, pl.
    - LIR-ek /22-t kapnak; egy /16 IXP-knek (Internet eXchange Point)
    - Egy /16 az előre nem látható dolgokra ☺



# Hogyan sikerült idáig kihúzni?

- Privát IP-címtartományok
- Subnetting majd supernetting: CIDR (VLSM)
- Címek visszaadása és újraosztása
- DHCP
- NAT – Network Address Translation
- ISP-k IP-címgazdálkodása
  - Publikus IP-címeket DHCP-vel osztják ki.
  - Publikus címeket szó nélkül elveszik és Carrier-grade NAT, aki észreveszi és szól, annak visszaadják.
- De az E osztályt sikerült elveszteni
  - Nem osztották ki, mert bizonyos routerek nem kezelik...

# Az IPv6 ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI



# Az IPv6 koncepciója

- Megnövelt címtartomány, ami elég a belátható jövőben
- Egyszerűbb és rugalmasan bővíthető fejrészformátum
  - Alapfejrész: kevesebb funkció
  - Bővíthetőség opcionális funkciókkal
  - Gyorsabb feldolgozás a csomópontokban
- Erőforrás-allokáció támogatása
- Biztonságos kommunikáció támogatása
- Mobilitás támogatása
- Továbbfejlesztési lehetőség (nyitottság)

- A hostok automatikus konfigurálása a Neighbor Discovery Protocol segítségével, ami tartalmazza:
  - Érvényes IPv6 cím előállítása (SLAAC: Stateless Address AutoConfiguration)
  - Átjáró kiválasztása (Router Discovery)
  - DNS szerver címének kiderítése
  - Duplikált cím észlelése (Duplicate Address Detection)
  - Link paramétereinek (pl. MTU) meghatározása (Parameter Discovery)
  - Címfeloldás
- Path MTU Discovery
  - Meghatározható a teljes úton az MTU, így nincs szükség tördelésre (csak a feladónál)
- Beépített IPSec támogatás
  - Titkosítás és integritásvédelem a hálózati rétegben

# A szolgáltatásokat nyújtó „eszközök”

- „Okos” routerek
  - Hálózati beállítások nyilvántartása és hirdetése a hostoknak
  - Hostok kérdéseinek megválaszolása
- Anycast címzés
  - Szolgáltatás elérésére
    - Pl.: „Valamely router mondja meg, hogy...”
- Multicast címzés
  - Azonos szolgáltatásokat nyújtó egységek egymás közötti kommunikációjához
    - Pl.: „Én már nem vagyok többé PIM-SM router”
- IPv6 Header Extension formában megvalósított opciók
  - Például az IPSec-hez
- ICMPv6
  - Például az NDP használja

# IPv6 CÍMZÉS

- 128 bit méretű címek
  - $2^{128} \approx 3,4 \cdot 10^{38}$  db  $\Rightarrow$  várhatóan igen sokáig elég lesz ☺
- 8 db 16 bites csoportban, hexadecimális számként írjuk le, a csoportokat kettősponttal („:”) elválasztva
  - FEDC:BA94:7654:3210:0123:4567:89AB:CDEF
- A csoportokban a vezető nullák elhagyhatók
  - FEDC:0094:0004:0000:000C:BA98:7654:3210 helyett írható:
  - FEDC:94:4:0:C:BA98:7654:3210
- A 16 bites, csak nullákat tartalmazó részek elhagyhatók, ha egymás után vannak (maximum egy ilyen blokk hagyható el, mert csak így egyértelmű a dekódolás):
  - FEDC:0000:0000:0000:000C:BA98:0000:3210 helyett írható:
  - FEDC::C:BA98:0:3210

# IPv6 címek leírása (folytatás)

- Egyes IPv6-os címek IPv4 címekből származnak. Ekkor megengedett az IPv4 rész decimális írása, például:
  - 0:0:0:0:0:0:A00:1 (vagyis ::A00:1) helyett írható:
  - ::10.0.0.1
- Hálózati címek (prefixek) jelölése
  - Formátum: <prefix hexadecimálisan, esetleg rövidítve>::/n
  - ::/96
  - FEDB:ABCD:ABCD::/48
  - FEDB:ABCD:AB00::/40 -- *Megjegyzés: az utolsó olyan csoportot, ami nem csupa 0-t tartalmaz, mindig végig ki kell írni!*
- Hivatkozásként
  - [http://\[FEDC::C:BA98:0:3210\]/index.html](http://[FEDC::C:BA98:0:3210]/index.html)
  - [http://\[2001:738:2001:2012:221:70FF:FEC2:BA33\]:8080/index.html](http://[2001:738:2001:2012:221:70FF:FEC2:BA33]:8080/index.html)
  - RFC 3986

# IPv6 címek leírása (kanonikus forma)

- Az eredeti RFC 4291 rugalmassága nagyon kényelmes, de problémákat okoz, például:
  - Szerepel-e egy naplófájlban a 2001:db8::a:0:0:1 cím?
  - Igen, méghozzá így: 2001:0DB8:0:0:A::1.
- Megoldás: kanonikus forma használata (RFC 5952)
  - Egy program a bemenetén köteles (MUST) elfogadni, amit RFC 4291 megenged.
  - Kimenetén erősen ajánlott (SHOULD) a kanonikus forma használata.
  - Azt tanácsolják, hogy mi emberek is használjuk.

# IPv6 címek kanonikus formája

- Az egyes 16 bites csoportokban a vezető nullákat el *kell* (MUST) hagyni.
- A dupla kettőspontot a maximális kapacitásáig ki *kell* (MUST) használni.
- A duplakettőspontot *tilos* (MOST NOT) egyetlen 16 bites csoport rövidítésére használni.
- Amennyiben több csupa nullás csoport van, akkor a leghosszabbat, ha pedig a csoportok hossza egyenlő, akkor balról jobbra haladva az elsőt *kell* (MUST) dupla kettősponttal helyettesíteni.
- Hexadecimális számokban kisbetűket *kell* (MUST) használni.



# Az IPv6 címzési architektúrája

- Az IPv6 címtartomány különféle célokra való felosztását *előtagok* (prefix) segítségével lehet megadni.
- A következő főbb kategóriákat definiálták (RFC 4291):

| Address type       | Binary prefix     | IPv6 notation               |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|
| -----              | -----             | -----                       |
| Unspecified        | 00...0 (128 bits) | ::/128                      |
| Loopback           | 00...1 (128 bits) | ::1/128                     |
| Multicast          | 11111111          | FF00::/8                    |
| Link-Local unicast | 1111111010        | FE80::/10                   |
| Global Unicast     | (everything else) | <i>&lt;-- Csak majdnem!</i> |

## Megjegyzések:

- Section 2.5.6 szerint a link-lokális: **FE80::/64**
- A következő kategória is létezett, de érvénytelenítették:

~~Site-Local unicast    1111111011    FEC0::/10~~

# Az IPv6 multicast címzése – 1

- Az IPv4-gyel ellentétben broadcast nincs.
- A *multicast* címek felépítése az alábbi:

|             |               |              |              |                 |
|-------------|---------------|--------------|--------------|-----------------|
| bitek száma | 8             | 4            | 4            | 112             |
| mező neve   | <i>prefix</i> | <i>flags</i> | <i>scope</i> | <i>group ID</i> |

- Az egyes mezők jelentése:
  - prefix: a cím csoportcím voltát jelző előtag, értéke: FF
  - flags: ebben a mezőben jelzőbiteket definiáltak: 0, R, P, T
  - scope: a cím érvényességének a hatókörét fejezi ki (0-F)
  - group ID: az egyes csoportok azonosítására használható bitek

- A *flags* mezőben található jelzőbitek értelmezése:
  - 0: fenntartott (reserved)
  - R: A csoporthoz tartozó randevú pont (Rendezvous Point) címe a csoportcímbe beágyazott-e (RFC 3956), 1: igen, 0: nem
  - P: A csoportcímet az azt létrehozó szervezet hálózatának előtagja (Prefix) alapján generálták-e (RFC 3306), 1: igen, 0: nem
  - T: A csoportcím dinamikus-e (Transient), 1: igen, 0: nem, azaz az IANA által kiosztott *well-known multicast address*.

<http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xml>

- A csoportcímek érvényességi körét kifejező 4 bites mező (scope) lehetséges értékei:
  - 0: Reserved – fenntartott
  - 1: Interface-local – multicast loopback átvitelére használható
  - 2: Link-Local – hatóköre a fizikai hálózat (üzenet)szórási tartománya (*broadcast domain*)
  - 4: Admin-Local – hatóköre a lehető legkisebb értelmes adminisztratív tartomány
  - 5: Site-Local – hatóköre egy fizikai telephely
  - 6-7: Unassigned – a hálózati adminisztrátorok definiálhatják
  - 8: Organization-Local – egy szervezet összes telephelyére kiterjed
  - 9-D: Unassigned – a hálózati adminisztrátorok definiálhatják
  - E: Global – globális
  - F: Reserved – fenntartott

# Az IPv6 multicast címzése – 4

- Az IANA által kiosztott néhány általános célú csoport azonosító (group ID):
  - FF02::1 – link local all nodes – az összes eszköz az adott fizikai hálózaton (broadcast domainben)
  - FF02::2 – link local all routers – minden útválasztó a fenti körben
  - FF05::2 – site local all routers – a telephely összes útválasztója
- Vegyük észre, hogy az FF02::1 jelentése nem más, mint IPv4 esetén egy adott hálózatra vonatkozó broadcast cím!
  - Megjegyzés: IPv4-ben is van ilyen csoportcím: 224.0.0.1
- Vannak minden scope esetén érvényes csoport azonosítók is, például:
  - FF0x::C – SSDP – Az SSDP (Simple Service Discovery Protocol) által használt IPv6 csoportcím. (IPv4 alatt a 239.255.255.250 csoportcímre „szemetel” az SSDP.)

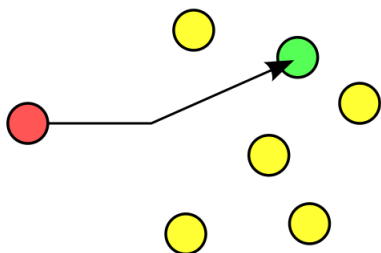
# Az IPv6 multicast címzése – 5

- *A solicited-node multicast address fogalma*
  - Olyan csoportcím, amire „leginkább csak” a *kérdéses/keresett állomás* (solicited node) hallgat, „esetleg még néhányan”.
- *Képzése*
  - ff02::1:ff00:0/104 prefix + a kérdéses állomás IPv6 címének utolsó 24 bitje
  - Tömörítés nélkül: ff02:0000:0000:0000:0000:0001:~~ff00:0000~~
- *Használata*
  - Például Neighbor Discovery esetén így lehet broadcast nélkül, *jó eséllyel alig néhány gépet zavarva*\* elérni a keresett állomást.

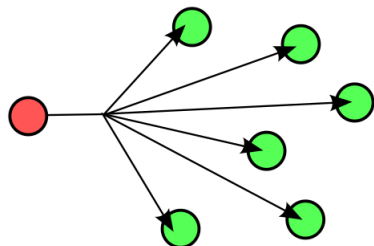
\*magyarázat majd SLAAC megértése után

# Az Anycast címzés – 1

- Szintaktikailag unicast címek, csak a használatuk módja eltérő. IPv4-nél is használják.
- Címzési módszerek áttekintése – ÁLTALÁNOSAN!
  - **Unicast:** A csomag pontosan egy általunk kiválasztott állomásnak szól.



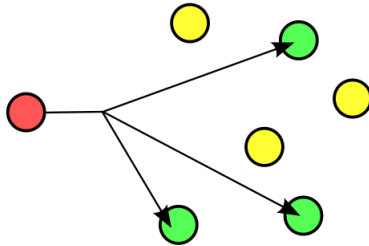
- **Broadcast:** A csomag az adott hálózaton az összes állomásnak szól.



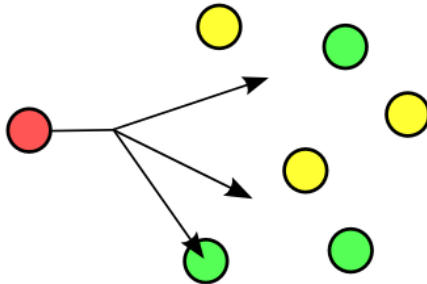
FIGYELEM! IPv6-ban NINCS!

# Az Anycast címzés – 2

- Címzési módszerek áttekintése (folytatás)
  - **Multicast:** A csomag egy csoport összes tagjának szól.



- **Anycast:** A csomag egy csoport tagjai közül egynek szól, de nem a feladó, hanem a hálózat dönti el, hogy melyik legyen az. Tipikus választás, hogy legyen a küldőhöz legközelebb eső csoporttag.



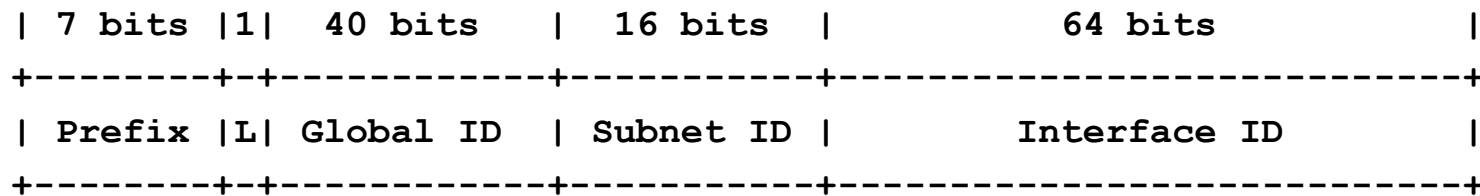


# Az Anycast címzés – 3

- Az Anycast címzés megvalósítása
  - Ugyanazt az az IP-címtartományt (közönséges unicast címek!) több helyen is alkalmazzák és hirdetik az Interneten (BGP-vel).
  - Az IP datagramok a legközelebbi célhoz fognak megérkezni.
- Az Anycast címzés használata
  - DNS kiszolgálók esetén: ugyanolyan nevű (IP-című) legfelső szintű névkiszolgáló a világ több pontján is létezik. (A 13-ból 11 ilyen.) A kliensek a legközelebbit érik el.
  - *Tartalomszolgáltató hálózatok* (CDN: Content Delivery Network) is alkalmazzák abból a célból, hogy a kliens a legközelebbi szerverről tudja letölteni a médiatartalmat.
  - Az *IPv4-ről IPv6-ra való átállás* (IPv6 transition) során használt 6to4 megoldás is ezt használja a legközelebbi 6to4 átjáró elérésére.

# Speciális Unicast címek – 1

- Unique Local IPv6 Unicast Adresses (RFC 4193)
  - Segítségükkel érvényes globális unicast IPv6 prefix nélkül is lehet IPv6-ot használni.
  - Szerepükben hasonlítanak
    - az RFC 1918 szerinti privát IP-címekhez
    - és az érvénytelenített site-local unicast címekhez (de azok hibáit kiküszöbölve)
  - Felépítésük:



- Prefix: FC00::/7
- L: kötelezően 1 értékű, így tulajdonképpen FD00::/8
- Global ID: véletlenszerűen választott, igen jó eséllyel globálisan egyedi
- Subnet ID: a használó osztja ki a hálózatainak
- Interface ID: a hálózati interfész 64 bites azonosítója, lásd később

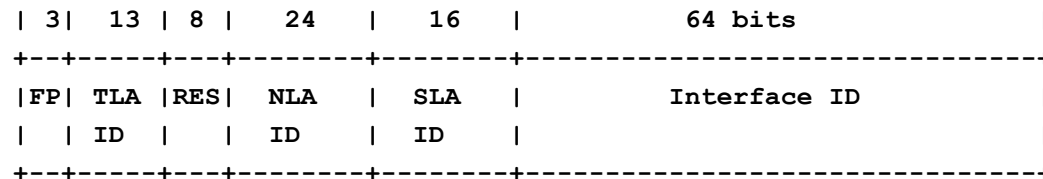
# Speciális Unicast címek – 2

- Az IPv4-ről IPv6-ra való átállás (IPv6 transition) támogatására szánták az alábbi IPv6 címtípusokat azzal a céllal, hogy IPv6 hálózatokban IPv4 címeket reprezentáljanak:
  - **::/96** – IPv4-Compatible IPv6 Addresses (érvénytelenített!)
    - IPv6 hálózatokban az x.y.z.w IPv4 címet reprezentálta volna ::x.y.z.w (az elején 96 db 0 értékű bit volt)
  - **::FFFF:0:0/96** – IPv4-Mapped IPv6 Addresses (ez használható!)
    - IPv6 hálózatokban az x.y.z.w IPv4 címet reprezentálja ::ffff:x.y.z.w (az elején 80 db 0 értékű bit van)
    - Nagyon hasznos, programozáskor így elég a TCP/IP socket interface kezelő függvények csak IPv6-os verzióját használni! ☺
- Lásd még: RFC 6890
  - “Special-Purpose IP Address Registries”
  - mind IPv4, mind IPv6 speciális célú címek

# Globális Unicast IPv6 címek – 1

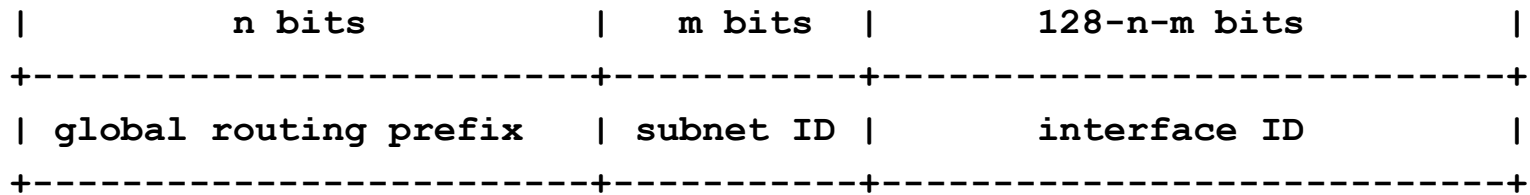
- Bár jelenleg az IANA még csak a 2000::/3 tartományból delegált a RIR-eknek, ez elvileg semmiben sem különbözik a többi globális unicast IPv6 címtartománytól!
- A címek szerkezetét korábban RFC 2374 írta le „An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format” címmel.
  - Erről annyit kell tudni, hogy *elavult* (obsolete), NEM HASZNÁJUK!
  - Az alábbi struktúrával támogatták volna meg az aggregálhatóságot:

*Ez csak egy  
érdekesség,  
már nem ezt  
használjuk!*



- FP Format Prefix (001)
- TLA ID Top-Level Aggregation Identifier (régión)
- RES Reserved for future use
- NLA ID Next-Level Aggregation Identifier (szolgáltató)
- SLA ID Site-Level Aggregation Identifier (előfizető és alhálózat)
- INTERF. ID Interface Identifier

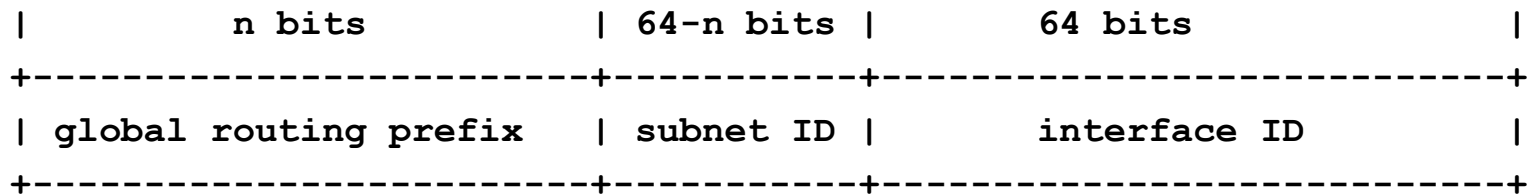
- RFC 3587: „IPv6 Global Unicast Address Format”
  - Általános felépítésük



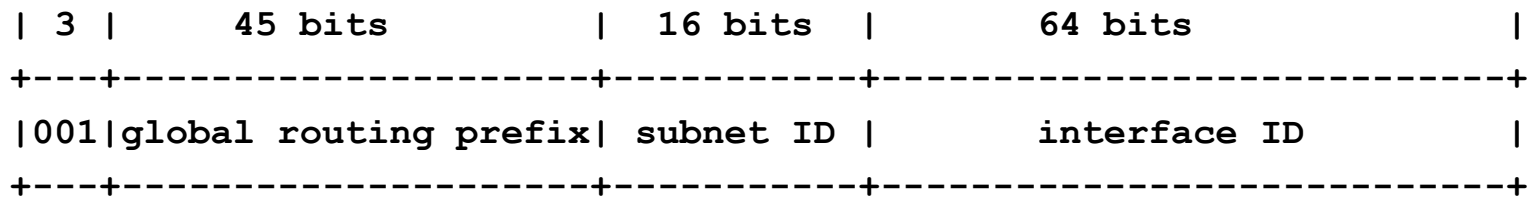
- global routing prefix
  - hierarchikus felépítésű
  - az aggregációról a RIR-ek és az ISP-k gondoskodnak
  - a site-ok az ISP-ktől kapják
- subnet ID
  - hierarchikus felépítésű
  - az aggregációról a site-ok adminisztrátorai gondoskodnak
- Interface ID
  - a hálózati interfészt azonosítja

# Globális Unicast IPv6 címek – 3

- Az IPv6 címzési architektúráját definiáló RCF 4291 szerint a 0000/3 tartomány kivételével az Interface ID mérete 64 bit.
  - Így a felépítésük:



- Ha a jelenleg használt 2000::/3 tartományban az egyes szervezetek a már *elavult RFC 3177* által ajánlott /48-as tartományokat kaptak, akkor a címek felépítése a következő:



- A BME tartománya: 2001:738:2001::/48

# Címallokáció megfontolásai

- Az elavult (obsolete) RFC 3177 szerint a site-ok számára az alapértelmezett allokációs egység mérete a /48 volt.
- Az új irányelvet az RFC 6177 „IPv6 Address Assignment to End Sites” fogalmazza meg.
  - Kis felhasználóknál nem szükséges a pazarló /48 méret.
  - A /64 viszont nem elég, mert idővel több fizikai hálózatra lehet szükség.
  - Szempont a takarékoság is, de az is, hogy később sem legyen szükség NAT-ra (a site kapjon elegendő címet).
  - A reverse DNS feloldás szempontjából megfontolandó a 4 bites határra való illeszkedés.
  - Megemlíti az egyes RIR-ek gyakorlatát (/56-os méret), de alapelv, hogy nincs új alapértelmezett méret.
  - Bár a /128 bizonyos esetekben elfogadott, site esetén semmiképpen sem javasolt.

# Az IPv6 címtér felosztása

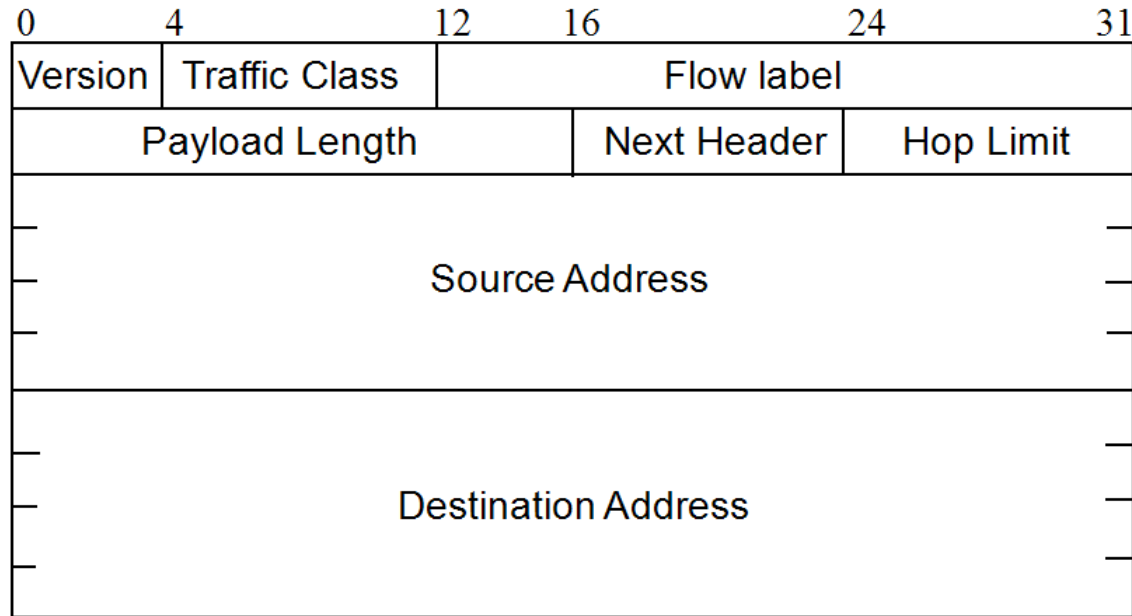
| IPv6 Prefix | Allocation           | Reference | Note                                                   |
|-------------|----------------------|-----------|--------------------------------------------------------|
| 0000::/8    | Reserved by IETF     | [RFC4291] | [1] [5] [6]*                                           |
| 0100::/8    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| 0200::/7    | Reserved by IETF     | [RFC4048] | [2] (korábban speciális célja volt)                    |
| 0400::/6    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| 0800::/5    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| 1000::/4    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| 2000::/3    | Global Unicast       | [RFC4291] | [3] (a többi is Global Unicast, de ebből oszt az IANA) |
| 4000::/3    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| 6000::/3    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| 8000::/3    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| A000::/3    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| C000::/3    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| E000::/4    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| F000::/5    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| F800::/6    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| FC00::/7    | Unique Local Unicast | [RFC4193] |                                                        |
| FE00::/9    | Reserved by IETF     | [RFC4291] |                                                        |
| FE80::/10   | Link Local Unicast   | [RFC4291] |                                                        |
| FEC0::/10   | Reserved by IETF     | [RFC3879] | [4] (korábban Site Local)                              |
| FF00::/8    | Multicast            | [RFC4291] |                                                        |

\* Számos speciális célút tartalmaz: ::/128, ::1/128, ::/96, ::ffff:/96, 64:ff9b::/96 (NAT64 Well-Known Prefix, IPv4-Embedded IPv6)

Forrás: <http://www.iana.org/assignments/ipv6-address-space/>

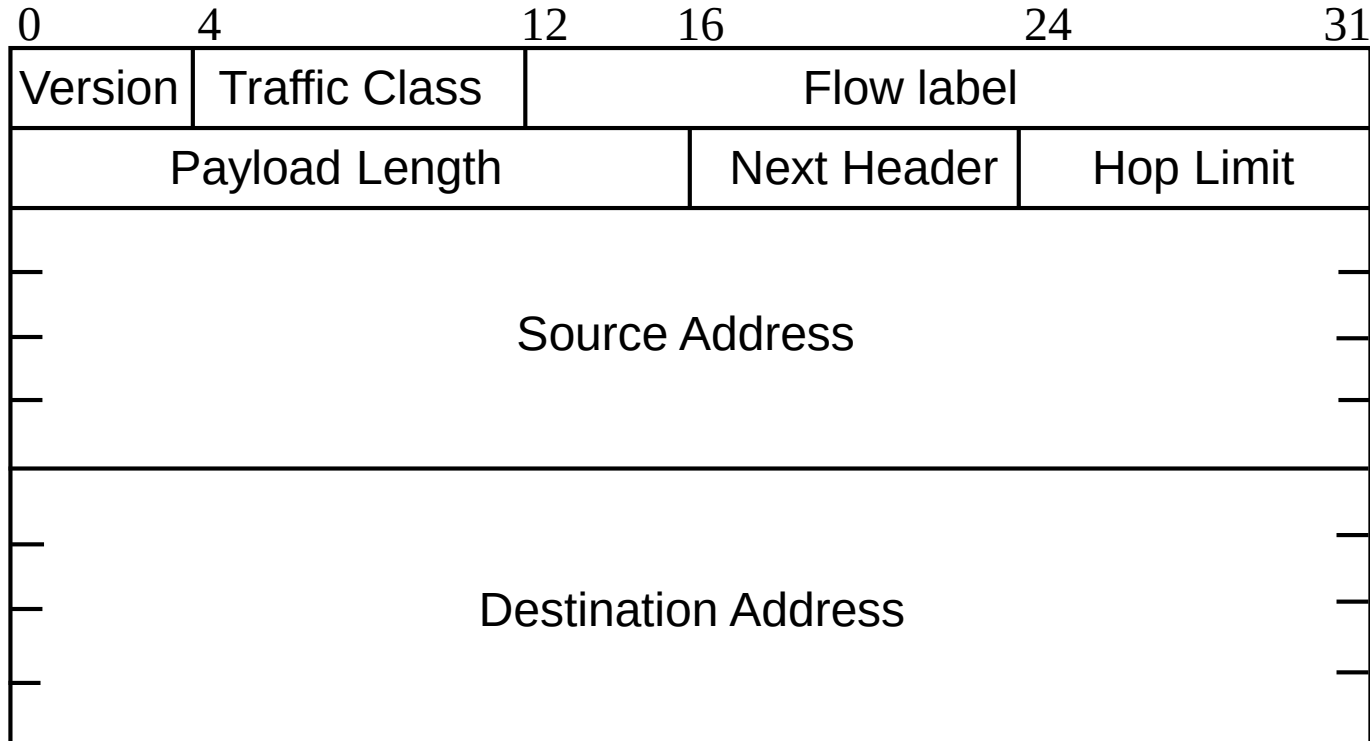


- Dokumentációkban példákat szoktak használni
  - A példák címhasználatából adódó lehetséges problémák:
    - Zavar a fejekben
    - Ütközés működő rendszerekkel
- Lefoglaltak egy globális unicast prefixet kifejezetten dokumentációs célra: **2001:db8::/32** (RFC 3849).
  - Ezt a prefixet soha senkinek sem fogják kiosztani és nem is routolják.
  - Ettől még nem számít lokális unicast prefixnek!
  - Ha egy példában ezt a prefixet használják, és valaki a példát szó szerint begépelem, az nem fog kárt okozni, mert a prefixet a valós életben soha semmire nem használjuk.
  - A prefixet helyi hálózatokban is kiszűrhetik; senki ne számítson rá, hogy működni fog, ha használni próbálná!
- Megjegyzés: IPv4-nél is vannak ilyenek, lásd: RFC 5737



# IPv6 DATAGRAM FELÉPÍTÉSE

# A kötelező IPv6 fejrész szerkezete



- A kötelező fejrészt változó számú opció követheti
- Majd az adatrész következik

*Az IPv6 eredeti specifikációja: RFC 2460, ma: **RFC 8200***

# IPv6 és IPv4 fejrészek összehasonlítása

|                     |               |             |           |
|---------------------|---------------|-------------|-----------|
| Ver.                | Traffic Class | Flow Label  |           |
| Payload Length      |               | Next Header | Hop Limit |
| Source Address      |               |             |           |
| Destination Address |               |             |           |

|                     |          |                 |                 |                 |
|---------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ver.                | Hdr. Len | Type of Service | Total Length    |                 |
| Identification      |          |                 | Flg.            | Fragment Offset |
| Time to Live        | Protocol |                 | Header Checksum |                 |
| Source Address      |          |                 |                 |                 |
| Destination Address |          |                 |                 |                 |
| Options...          |          |                 |                 |                 |

A kiemelt részek a másik verzióban nem találhatók meg.

Az IPv6 fejrésze alapesetben kétszer akkora, mint az IPv4-é.

# Ami az IPv6 fejrészből kimaradt...

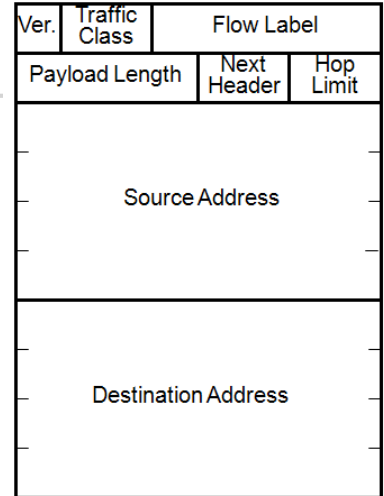
- Nem változik a (kötelező) fejrész mérete
  - Rögzített méret  $\Rightarrow$  nő a feldolgozási sebesség
  - Nem kell IHL mező  $\Rightarrow$  kisebb fejrész
  - De azért van lehetőség a fejrész kiterjesztésére (Next Header)
- Nincs ugrásonkénti tördelés
  - $\Rightarrow$  nő a feldolgozási sebesség
  - Nem kell ehhez használt mező  $\Rightarrow$  kisebb fejrész
  - De MTU felderítés (Path MTU Discovery) kell!
- Nincs ellenőrző összeg (checksum)
  - Nem kell minden routernek ellenőriznie
    - $\Rightarrow$  nő a feldolgozási sebesség
  - Általában kevés a hiba (jó minőségű kapcsolatok link szinten)

# Az IPv6 fejrész mezőői – 1

| Ver.                | Traffic Class | Flow Label  |           |
|---------------------|---------------|-------------|-----------|
| Payload Length      |               | Next Header | Hop Limit |
| Source Address      |               |             |           |
| Destination Address |               |             |           |

- **Version** (4 bit)
  - IPv6 esetén a *verziószám* értéke: 6
  - De már link szinten megkülönböztethetők
    - EtherType értéke: IPv4: 0x0800; IPv6: 0x86DD
- **Traffic Class** (8 bit)
  - A *forgalmi osztály* lehetőséget nyújt QoS biztosítására, az IPv4 *Type of Service* mezőjével azonos módon
- **Flow Label** (20 bit)
  - A *folyam azonosító címke* kapcsolatok azonosítását szolgálja
    - Nem független datagrammok! (lásd: RFC 6437)
  - Az adatfolyamot a forrás- és célcím + a flow label együtt azonosítják
  - Virtuális összeköttetések biztosítása az adatfolyamok számára
  - QoS-t és igazságos adatsebesség-megosztást tesz lehetővé
  - Növekedési képesség probléma a folyam-alapú eljárásoknál

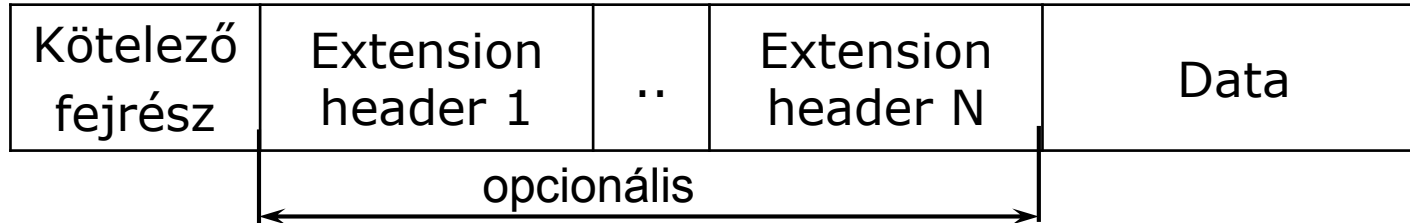
# Az IPv6 fejrész mezője – 2



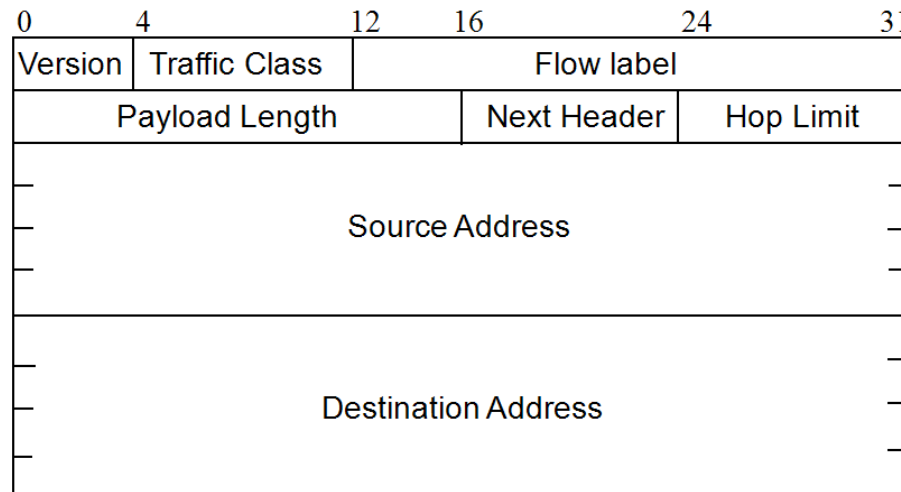
- **Payload Length** (16 bit)
  - Az *adatmező* hossza nem tartalmazza a fejrészt
  - Maximum 65535 lehet (de: jumbogram opció)
- **Next Header** (8 bit)
  - A következő fejrész kétféle lehet
    - A beágyazott PDU típusát adja meg (mint az IPv6 Protocol mezője)
    - Az IPv6 fejrész kiterjesztését jelentő „Extension header” típusát adja meg
- **Hop Limit** (8 bit)
  - Az *ugrás korlát*ot lényegében úgy használjuk, mint az IPv4 TTL-t (de nem másodpercben mérjük)
- **Source/Destination Address** (mindegyik 128 bit)
  - A *forrás-* és *célcím* a fejrész méretének jelentős részét teszi ki

# Az IPv6 fejrész kiterjesztése

- Általános csomagformátum:



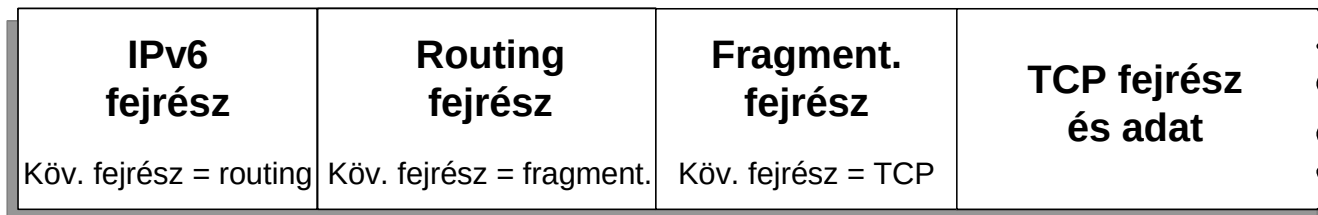
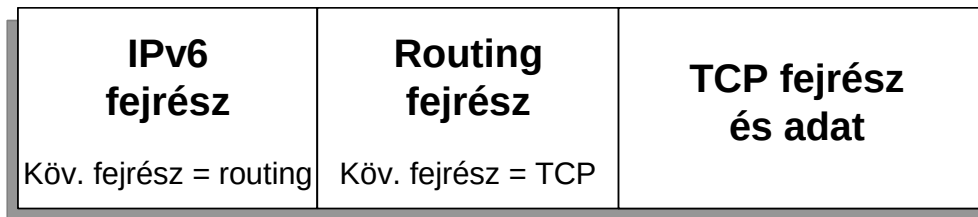
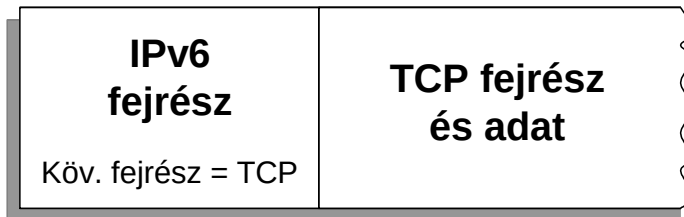
- Ahol a kötelező fejrész:





# Példák IPv6 fejrészre

- Kiterjesztés nélkül, egy, illetve két kiterjesztéssel:



Célja:

- A kötelező fejrész kiegészítése opcionális lehetőségekkel

Típusai:

- **Hop-by-Hop Options Header (0)**
  - Különféle információk, amelyeket minden csomópontnak meg kell vizsgálnia
  - Jumbogrammok támogatása (óriás-datagrammok)
  - QoS támogatása
- **Routing Header (43)**
  - Eredetileg (Type 0 változat): routerek felsorolása, amelyeket útba kell ejteni (mint IPv4 LSRR opció)
  - DoS támadásra adott lehetőséget, érvénytelenítették (RFC 5095)
  - Type 2 változata mobil IPv6-hoz használható

- **Fragment Header (44)**
  - Hasonló, mint v4-ben, de csak a forrás darabolhat
    - A tördelés bonyolultabb, mert az opciók egy részét (amit az útvonal mentén fel kell dolgozni) mindegyik töredékbe bele kell tenni, a többit pedig csak az elsőbe.
  - Ehhez kell a Path MTU Discovery
  - De feltételezik, hogy az MTU legalább 1280
- **Destination Options Header (60)**
  - Csak a célállomás vizsgálja
  - Egyelőre még nincs funkciója
- **Authentication Header (AH) (51)**
  - IPsec céljára
- **Encapsulation Security Payload Header (ESP) (50)**
  - IPsec céljára

- Az IPsec (RFC 4301) az IPv6-ban két Extension Headert használ:
  - *Authentication Header (RFC 4302)*
    - Valóban a látszólagos feladó küldte-e?
    - Lett-e módosítva a csomag?
  - *Encapsulating Security Payload Header (RFC 4303)*
    - Titkosított a csomag további tartalma
- Korábban IPsec-re minden IPv6 csomópontnak képesnek kellett lennie, ez ma már csak ajánlott.
  - RFC 4294 (IPv6 Node Requirements) szerint az IPsec implementációja még minden IPv6-ra képes eszközben kötelező (MUST) volt.
  - Az RFC 4294 helyett kiadott RFC 6434 (obsoletes RFC 4294) követelményeiben ez ajánlottra (SHOULD) változott.
    - Ezt a létező egyéb megoldásokkal (pl. TLS, SSH) és azzal indokolja, hogy az IPsec nem feltétlenül az ideális megoldás minden esetben. (RFC 11. rész)

# NEIGHBOR DISCOVERY PROTOCOL

# Az NDP áttekintése

- Az NDP a TCP/IP referenciamodell internet rétegében működik
- Egy host működéséhez szükséges azonosítókat, paramétereket képes beszerezni, többek között képes:
  - Állapotmentes automatikus címkonfigurációra (SLAAC)
  - Címfeloldásra (IPv6 címből MAC cím)
  - Routerek címének megállapítására
  - DNS szerverek címének megállapítására
  - Annak ellenőrzésére, hogy egy IPv6 címet már használnak-e (DAD)
  - Az adott linken érvényes prefixek és MTU kiderítésére
- Működéséhez ICMPv6 protokoll üzeneteket használ
- Aktuális definíciója: RFC 4861

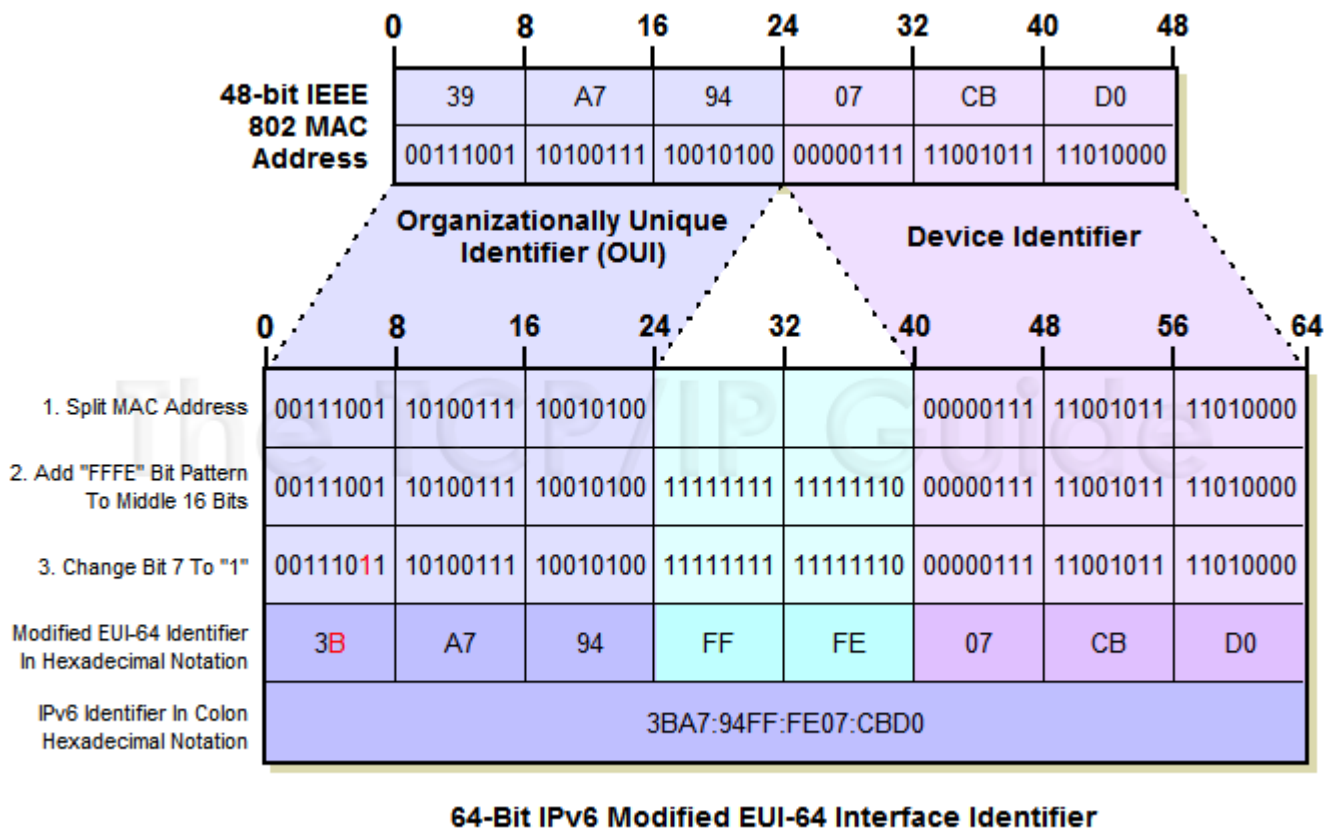
# A módosított EUI-64 algoritmus – 1

- Célja a hálózati interfész 48 bites MAC címéből 64 bites azonosító létrehozása.
- Az algoritmus lépései:
  - A 48 bites címet középen kettévágva a két fél közé beszúrjuk az FFFE 16 bites értéket.
  - A MAC cím első bájtjának második legkisebb helyiértékű bitjét 1-re állítjuk.
    - Ez a MAC cím OUI (Organizationally Unique Identifier) részének U/L bitje, tehát azt jelezzük vele, hogy nem univerzálisan egyedi, hanem lokálisan adminisztrált címről van szó.
- Az algoritmus működését egy példával illusztráljuk
  - Az eredeti MAC cím: 00:21:70:C2:BA:33
  - Az első lépés eredménye: 00:21:70:FF:FE:C2:BA:33
  - A második lépés eredménye: 02:21:70:FF:FE:C2:BA:33
  - Az IPv6-nál használt alakban: 221:70FF:FEC2:BA33

# A módosított EUI-64 algoritmus – 2

- Az algoritmus működését bit szinten illusztráló ábra

Forrás: [http://www.tcpipguide.com/free/t\\_IPv6InterfaceIdentifiersandPhysicalAddressMapping-2.htm](http://www.tcpipguide.com/free/t_IPv6InterfaceIdentifiersandPhysicalAddressMapping-2.htm)





- Az állapotmentes automatikus címkonfiguráció (Stateless Address Autoconfiguration) lépései:
  - Link-lokális cím generálása (FE80::/64 + módosított EUI-64)
  - Link-lokális cím egyediségének ellenőrzése (DAD, ld. később)
    - A küldő IP-címe érvénytelen (::/128)
    - Mint IPv4-nél az ARP Probe üzenettel; ha nincs válasz: OK
  - Hálózati prefix kérése (ICMPv6 Router Solicitation)
    - Forráscím: a fent létrehozott link-lokális IPv6 cím
    - Célcím: link-local scope all-routers multicast IPv6 address (ff02::2)
  - Hálózati prefix információ vétele (ICMPv6 Router Advertisement)
    - Forráscím: router link-lokális IPv6 címe
    - Célcím: *általában* a link-local scope all-nodes multicast IPv6 address (ff02::1), de lehet a host unicast címe is, ha az nem az unspecified (::) IPv6 cím. (RFC 4861 6.2.6)
  - Global Unicast cím előállítása (a kapott prefix + módosított EUI-64)
  - Global Unicast cím egyediségének ellenőrzése (DAD)

- Az SLAAC biztonsági kockázattal jár
  - Hamis Router Advertisement üzenettel a kliens megtéveszthető
    - SLAAC Attack <http://resources.infosecinstitute.com/slaac-attack/>
    - RFC 6104: Rogue IPv6 Router Advertisement Problem Statement

# Duplicate Address Detection

- Cél: IPv6-cím egyediségének ellenőrzése
- Elv: hasonló, mint IPv4 *ARP Probe* (ha nincs válasz: OK)
- Megvalósítás
  - ICMPv6 Neighbor Solicitation üzenettel
  - Forráscím: érvénytelen (::)
  - Célcím: a vizsgált IPv6 címhez (tentative address) tartozó solicited node multicast address
    - ff02::1:ff00:0/104 prefix + a kérdéses állomás IPv6 címének utolsó 24 bitje
- Előnye az IPv4 *ARP Probe*-bal szemben
  - ARP Probe: a broadcast domain összes gépét terheli
  - Csak a multicast csoport tagjait terheli (várhatóan nagyon kevesen vannak, tipikusan az egyetlen érintett gép)
    - Ha SLAAC-t használtunk: más gyártó(k) ugyanolyan sorszámú interfésze(i)

# SLAAC vizsgálata – 1

- Előre elkészített capture fájl alapján tanórán Wireshark segítségével vizsgáljuk az SLAAC folyamatát, otthoni elemzésre a capture fájl elérhető a tárgy anyagai között.
  - A nem kívánatos egyéb forgalom kiszűrése érdekében a capture fájl készítése az `ip6` capture filterrel történt.
  - A capture fájlba így is bekerültek a DNS szerver hiányában küldött *multicast DNS* üzenetek, ezeket az `ipv6.nxt!=17` display filterrel tudjuk megjelenítéskor kihagyni. (A 17 az UDP protokollt azonosítja.)
- Figyeljük meg:
  - Az üzenetek sorrendjét és ICMPv6 típusát!
  - Az ICMPv6 üzenetekben milyen IPv6 és MAC címek vannak?
  - Ellenőrizzük a módosított EUI-64 generálását!
  - Végül milyen prefixet kapott a kliens?
  - DAD hányszor történt, kaptunk-e választ?

# SLAAC vizsgálata – 2

DELL-SLAAC-filtered.pcap - Wireshark

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Help

Filter: `ipv6.nxt != 17` Expression... Clear Apply

| No. | Time     | Source                    | Destination       | Protocol | Info                                 |
|-----|----------|---------------------------|-------------------|----------|--------------------------------------|
| 1   | 0.000000 | ::                        | ff02::1:ffc2:ba33 | ICMPv6   | Neighbor solicitation                |
| 2   | 1.001386 | fe80::221:70ff:fec2:ba33  | ff02::2           | ICMPv6   | Router solicitation                  |
| 3   | 1.003188 | fe80::c2c1:c0ff:fe0b:1c0b | ff02::1           | ICMPv6   | Router advertisement                 |
| 4   | 1.007982 | fe80::221:70ff:fec2:ba33  | ff02::16          | ICMPv6   | Multicast Listener Report Message v2 |
| 10  | 1.971955 | ::                        | ff02::1:ffc2:ba33 | ICMPv6   | Neighbor solicitation                |

Frame 3 (110 bytes on wire, 110 bytes captured)

- Ethernet II, Src: c0:c1:c0:0b:1c:0b (c0:c1:c0:0b:1c:0b), Dst: IPv6mcast\_00:00:00:01 (33:33:00:00:00:01)
- Internet Protocol Version 6
- Internet Control Message Protocol v6
  - Type: 134 (Router advertisement)
  - Code: 0
  - checksum: 0x9fb7 [correct]
  - cur hop limit: 64
  - Flags: 0x58
    - Router lifetime: 1800
    - Reachable time: 0
    - Retrans timer: 0
  - ICMPv6 option (Prefix information)
    - Type: Prefix information (3)
    - Length: 32
    - Prefix length: 64
    - Flags: 0xc0
      - Valid lifetime: 30
      - Preferred lifetime: 20
      - Prefix: 2002:5ef8:964d::
  - ICMPv6 option (Source link-layer address)

```

0000  33 33 00 00 00 01 c0 c1 c0 0b 1c 0b 86 dd 60 00  33.....
0010  00 00 00 38 3a ff fe 80 00 00 00 00 00 00 c2 c1  ...8:....
0020  c0 ff fe 0b 1c 0b ff 02 00 00 00 00 00 00 00 00  ...X....
0030  00 00 00 00 00 00 01 86 00 9f b7 40 58 07 08 00  .....@X....
0040  00 00 00 00 00 00 03 04 40 c0 00 00 00 00 1e 00  .....@.....
0050  00 14 00 00 00 00 20 02 5e f8 96 4d 00 00 00 00  ..... ^..M....
0060  00 00 00 00 00 00 01 01 c0 c1 c0 0b 1c 0b  .....
  
```

Text item (), 16 bytes      Packets: 26 Displayed: 9 Marked: 0      Profile: Default

# INTERNET CONTROL MESSAGE PROTOCOL VERSION 6

- Az ICMP IPv6-os implementációja
- IPv6 felett utazik (next header=0x3A), de minden IPv6 implementáció kötelező része!
- Üzenettípusok
  - Hiba üzenetek
  - Információs üzenetek
- Aktuális dokumentáció: RFC 4443

# ICMPv6 üzenetek felépítése

- Az ICMPv6 üzenetek formátuma egyedi
- Ami közös bennük, az az ICMPv6 fejrész első 32 bitjén található 3 adatmező:
  - Type (8 bit)
    - 0-127: hibaüzenetek
    - 128-255: információs üzenetek
  - Code (8 bit)
  - Checksum (16 bit)
- A további rész kiosztása függ az üzenet típusától



- **1 – Destination Unreachable** (cél nem elérhető)
  - Mint az azonos nevű ICMP üzenet
- **2 – Packet Too Big** (a csomag mérete túl nagy)
  - Az IPv6 útközben nem tördel. Ha egy csomag nem fér bele az MTU-ba, akkor a router eldobja, és visszajelzést küld.
- **3 – Time Exceeded** (időtúllépés)
  - Mint az azonos nevű ICMP üzenet
- **4 – Parameter Problem** (paraméter értelmezési hiba)
  - A hiba okát a Code mezőben jelzi:
    - 0: Hibás IPv6 fejrész mező
    - 1: Ismeretlen Next Header típus
    - 2: Ismeretlen IPv6 opció

- **128 – Echo Request** (visszhang kérés)
  - Mint az azonos nevű ICMP üzenet
- **129 – Echo Reply** (visszhang válasz)
  - Mint az azonos nevű ICMP üzenet
- **133 – Router Solicitation** (router info kérése)
  - Az NDP része
- **134 – Router Advertisement** (router info adása)
  - Az NDP része, lehet kérésre válasz, de a routerek kérés nélkül is hirdetik.
  - A kéretlen hirdetés szándékosan nem pontosan periodikus.
- **135 – Neighbor Solicitation** (MAC-cím kérése)
  - Az NDP része, az ARP megfelelője (Request és Probe)
- **136 – Neighbor Advertisement** (MAC-cím hirdetése)
  - Lehet kérésre válasz, ekkor Solicited Neighbor Advertisement
  - Kérés nélkül is küldhető (pl. IP-cím változásakor), ez Unsolicited N.A.

Az alábbi üzenetek a multicasthoz szükségesek:

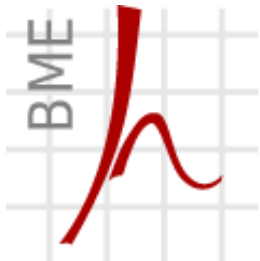
- **130 – Multicast Listener Query** (csoporttagok lekérdezése)
  - Multicast cím megadás nélkül: mely multicast csoportoknak vannak tagjai az adott hálózaton?
  - Multicast cím megadásával: a megadott című multicast csoportnak vannak-e tagjai az adott hálózaton?
- **131 – Multicast Listener Report** (MLDv1, csoporttagság jelzése)
  - A csoporttagok ezzel az üzenettel jelzik igényüket a multicast forgalomra.
  - MLDv2-ben a 143-as típusú Multicast Listener Report vette át a funkcióját

- **132 – Multicast Listener Done** (MLDv1, multicast csoportból kilépés)
  - A csoporttagok ezzel az üzenettel jelzik, hogy már nem tartanak igényt az adott multicast csoport forgalmára.
  - MLDv2-ben a 143-as típusú Multicast Listener Report vette át a funkcióját
- **143 – Multicast Listener Report** (MLDv2, csoporttagság jelzése)
  - MLDv2 protokoll esetén az MLDv1 131-es és 132-es típusú üzenetének a funkcióját is ellátja

- Bevezetés: miért kell az IPv4-et lecserélni?
- Az IPv6 általános jellemzői
- IPv6 címezés
- Az IPv6 datagramok felépítése
- Neighbor Discovery Protocol
- ICMPv6
  
- Irodalom:
  - Lencse Gábor, Répás Sándor, Arató András: „IPv6 és bevezetését támogató technológiák”, HunNet-Média Kft. 2015. Budapest, ISBN: 978-963-12-3272-1, DOI: 10.18660/ipv6-b1.2015.9.1 [Online] elérhető: <http://ipv6ready.hu/konyv/>

# Kérdések?

## KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



Hálózati Rendszerek és  
Szolgáltatások Tanszék

Dr. Lencse Gábor  
tudományos főmunkatárs  
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék  
[lencse@hit.bme.hu](mailto:lencse@hit.bme.hu)

