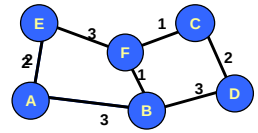
Számítógépes Hálózatok 2013

9. Hálózati réteg – Packet Forwarding, Link-State-Routing, Distance-Vector-Routing, RIP, OSPF, IGRP

Distance Vector Routing Protokoll

- A Bellman-Ford algoritmusnak az **elosztott** változatát használja, azaz minden csomópont csak a direkt szomszédjaival kommunikál
- **Asszinkron** működés
  - A csomópontoknak nem ugyanabban a „körben” kell információkat cserélniük
- Minden router nyilvántart egy táblát minden lehetséges célhoz egy bejegyzéssel **(distance vector)**
  - egy bejegyzés tartalmazza
    - a legrövidebb út (becsült) költségét (delay, vagy #hops)
    - a következő csomópont címét ezen az úton (next hop)
- minden router ismeri a költséget a direkt szomszédaihoz
- Periodikusan elküldi a tábláját minden szomszédjának
- Amikor egy router megkapja a szomszéd tábláját aktualizálja a saját tábláját



Initial distance vector of A

A	cost	next hop
B	3	B
C	∞	-
D	∞	-
E	2	E
F	∞	-

Initial distance vector of B

B	cost	next hop
A	3	A
C	∞	-
D	3	D
E	∞	-
F	1	F

A's vector after A received B's vector

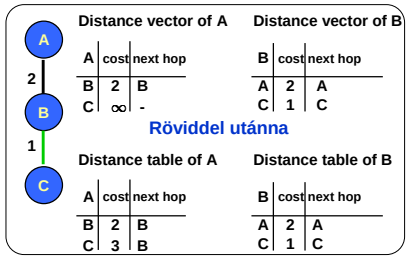
A	cost	next hop
B	3	B
C	∞	-
D	6	B
E	2	E
F	4	B

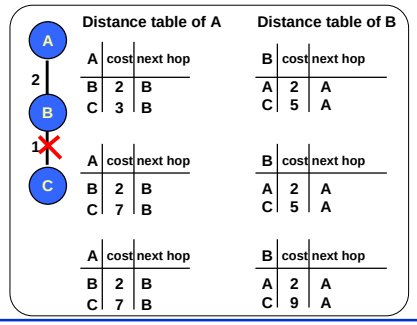
A's final distance vector

A	cost	next hop
B	3	B
C	5	B
D	6	B
E	2	E
F	4	B

“Count to Infinity” Probléma

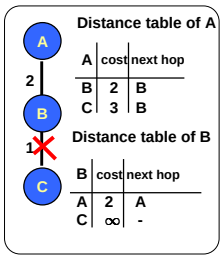
- „Jó hír” gyorsan terjed
  - Új kapcsolat létrejöttekor gyorsan aktualizálódnak a táblák
- „Rossz hír” lassan terjed
  - Kapcsolat kiesik
  - A szomszédok felváltva növelik a távolságokat
  - “Count to Infinity” Probléma
    - A és B nem tudja, hogy C nem elérhető (amíg a távolság el nem ér egy limitet, amit ∞-nek tekintenek)
  - Ciklusok keletkezhetnek





“Count to Infinity” Probléma

- Módosítások a Distance-Vector routing protokollokban
  - a ping-pong-ciklusokat (count to infinity) megakadályozásához
  - **split horizon**: olyan utakat nem küld vissza a csomópont annak a szomszédjának, amit tőle „tanult”
    - a példában A nem küldi a (C,3,B) sornak megfelelő utat vissza B-nek, mert azt B-től kellett „tanulnia”
  - **split horizon with poison reverse**: negatív információt küld vissza
    - A pl. (C,∞) utat küldi vissza B-nek
- Mindkét módszer csak két csomópontból álló ciklust kerül el



Link State Protokoll

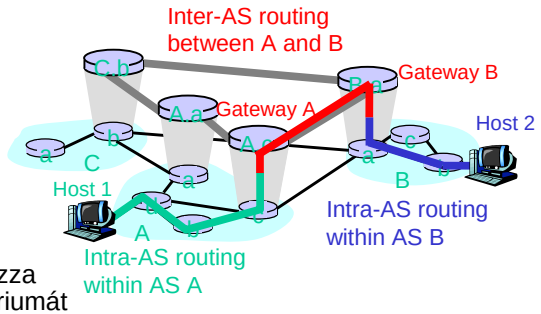
- Minden Link State router
  - tárolja a hálózat topológiáját
  - egy nem-elosztott legrövidebb utak algoritmust használ
- A routerek **Link State Packets (LSP)** által cserélnek ki információkat
- LSP tartalmazza
  - az LSP-t létrehozó r router IP címét
  - a költségét r minden direkt szomszédjához
  - sorozatszámot (SEQNO)
  - TTL (time to live) mezőt
- Megbízható elárasztás (Reliable Flooding)
  - minden csomópont aktuális LSP-jét tároljuk
  - továbbítjuk az LSP-ket minden szomszédos csomóponthoz
    - azon csomópont kivételével, amely az LSP-t felénk továbbította
  - A továbbításnál csökkentjük a TTL értékét
  - periodikusan létrehozunk egy új saját LSP-t
    - növekvő SEQNO-val

A „lapos” routing korlátai

- Link State Routing
  - O(D n) bejegyzésre van szükség, ahol n a routerek száma, D a maximális fok
  - Minden csomópont minden más csomópontnak el kell hogy küldje az információit
- Distance Vector
  - O(n) bejegyzés routerenként
  - Ciklusokat okozhat
  - Konvergencia ideje a hálózat méretével nő
- Az Internet több mint 10^6 routert tartalmaz
  - ezek a u.n. „lapos” routing módszerek nem használhatók az egész Internetre
- Megoldás:
  - Hierarchikus routing

Autonomous Systems (AS), Intra-AS és Inter-AS routing

- Autonomous Systems (AS)
  - Egy két szintű modellt ad a routinghoz az Interneten
  - Példa AS-re: elte.hu
- Intra-AS-routing
  - routing az AS-en belül
  - pl. RIP, OSPF, IGRP, ...
- Inter-AS-routing
  - Kapcsolódási pont: **átjáró (gateway)**
  - teljesen decentrális routing
  - Mindeki saját maga határozza meg az optimalizálási kritériumát
  - pl. BGP, EGP (korábban)



Intra-AS routing: RIP Routing Information Protocol (RFC 1058)

- Distance Vector algoritmus
  - távolság metrika = hop szám (linkek száma)
- A távolság vektorokat (distance vector) minden router minden 30s Response-üzenettel (advertisement) adja át a szomszédjának
- A szomszédok szintén egy új advertisement-et küldenek ha a táblájuk ezáltal megváltozott
- Minden Advertisement-ben
  - célhálózathoz hirdetik meg az utakat UDP-vel (UDP port 520)
- Ha 180s-ig nem kap a router advertisement-et egy szomszédjától
  - az utakat a szomszédon keresztül érvénytelennek deklarálja
  - új Advertisment-eket küld a szomszédainak
- Hogy elkerülje a ping-pong-ciklusokat (count to infinity), „split horizon with poison reverse” módszert használ
- Végtelen távolság = 16 Hop (limitet szab a hálózat átmérőjére)

Intra-AS routing: OSPF routing (Open Shortest Path First)

- “open” = nyilvánosan rendelkezésre álló
- Link-State algoritmus
  - LS csomagok terjesztése
  - a topológiát minden csomópontban tárolja
  - az útvonalakat Dijkstra algoritmusával számítja ki
- OSPF-advertisment
  - TCP-vel, növeli a biztonságot (security)
  - az egész AS-be elárasztja (broadcast)
  - több egyenlő költségű útvonal lehetséges

Intra-AS routing -- Hierarchikus OSPF

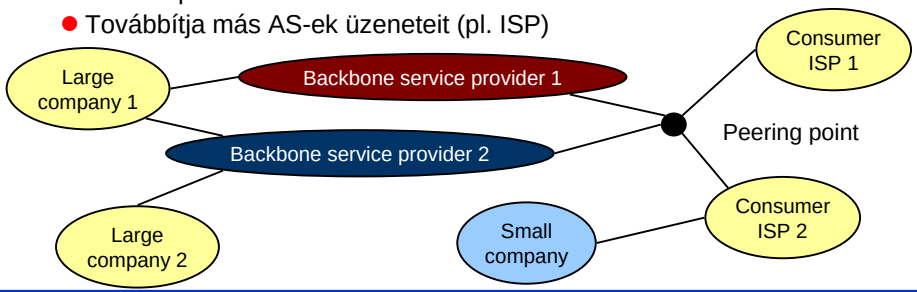
- Nagy hálózatokhoz két hierarchia szint:
  - Lokális terület és gerinchálózat (backbone)
    - Lokális: Link-state advertisement
    - Minden csomópont csak az irányt számítja ki más lokális területek hálózataihoz
- Local Area Border Router:
  - A saját lokális területeik távolságait foglalják össze
  - Ezeket más Lokal Area Border Router-eknek meghirdetik (advertisement)
- Backbone Routers
  - OSPF protokollt használnak a gerinchálózatra korlátozva
- Boundary Routers:
  - Más AS-ekkel kapcsolnak össze

Intra-AS routing: IGRP (Interior Gateway Routing Protocol)

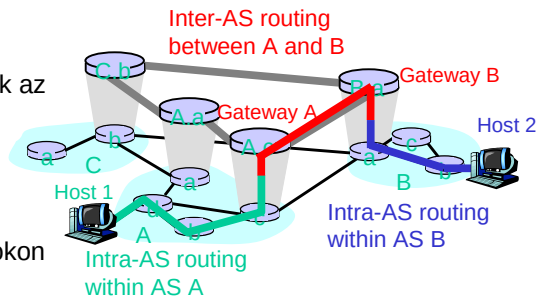
- CISCO-Protokoll (1980-as évek közepe), a RIP utódja
- Distance-Vector-Protokoll, mint a RIP
  - Holddown time
  - Split horizon
  - Poison reverse
- Különböző költség metrikákat támogat
  - Delay, Bandwidth, Reliability, Load, stb…
- TCP-t használ a routing információk kicseréléséhez

Autonóm rendszerek (AS) tipusai

- Stub-AS
  - Csak egy más AS-hez kapcsolódik
- Multihomed AS
  - Több AS-hez kapcsolódik
  - Nem továbbítja más AS-ek forgalmát
- Transit AS
  - Több kapcsolat
  - Továbbítja más AS-ek üzeneteit (pl. ISP)



Inter-AS-Routing

- Inter-AS-Routing nehéz...
  - Szervezetek megtagadhatják az üzenetek továbbítását (pl. csak fizető ügyfelek csomagjait továbbítja)
  - Politikai követelmények
    - Továbbítás más országokon keresztül?
- 

  - Különböző AS-ek routing-metrikái sokszor nem összehasonlíthatók
    - Útvonal optimalizálás lehetetlen!
    - Inter-AS-Routing megpróbálja legalább a csomópontok elérhetőségét lehetővé tenni
  - Méret: inter-domain routereknek ma kb. 140.000 hálózatról kell tudni

Inter-AS routing: BGP (Border Gateway Protocol)

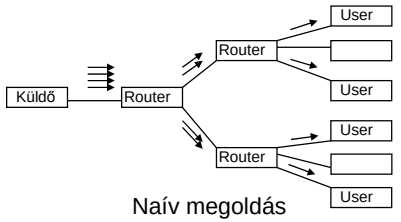
- Az inter-AS routing standard BGPv4
- Path Vector protokoll
  - Hasonló a Distance Vector protokollhoz
  - Minden Border Gateway meghirdeti minden szomszédjának (peers) az egész utat (AS-ek sorozata) a célig (advertisement)
  - TCP-t használ
- Amikor Gateway X az utat Z-hez Peer-Gateway W-nek küldi
  - akkor W választhatja ezt az utat, vagy éppen nem
  - Optimalizálási kritériumok:
    - költségek, politika, etc…
  - Ha W az X által meghirdetett utat választja, akkor meghirdeti
    - Path(W,Z) = (W, Path (X,Z))
- Megjegyzés
  - X tudja szabályozni a hozzá érkező forgalmat a meghirdetések által.
  - Komplikált protokoll

Broadcast és Multicast

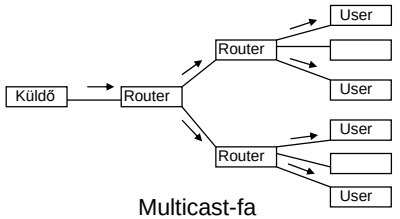
- Broadcast routing
  - Egy csomagot (másolatot) minden más csomópontnak el kell küldeni
  - Megoldások:
    - A hálózat elárasztása (flooding)
    - Jobb: Konstruáljunk egy minimális feszítőfát
- Multicast routing
  - Az adatokat egy küldőtől egyidejűleg több fogadóhoz kell eljuttatni
    - Real time Streaming, Video-On-Demand,
    - Telefon-, Videokonferencia (all-to-all multicast),…
  - IP D címosztály:
    - Egy multicast-csoport (group) minden tagja ugyanazt a címet használja
  - Megoldások:
    - Optimális: Minimális Steiner Fa Probléma
      - NP-teljes (2-approximáció O(n log n) idő alatt kiszámítható!)
    - Más (nem-optimális) fát konstruálni

Multicasting

- Naív megoldás: Multicast-via-Unicast:
  - A küldő egy külön másolatot küld az adatokról minden foadónak.
  - Nagyon inefficiens: A küldött csomagok száma sokkal nagyobb, mint ami szükséges lenne (különösen rossz all-to-all multicast esetén).
- Egy multicast-fa felepítése segítségével:
  - Minden linken csak egyszer továbbítódik egy csomag.
  - A routerek döntik el, hogy egy csomagot több linken is továbbítanak-e.



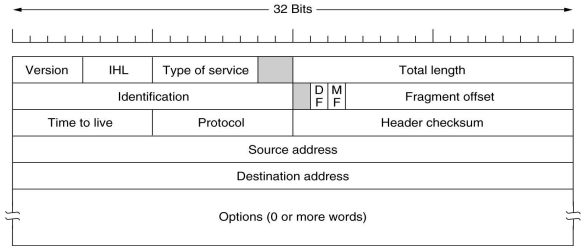
Naív megoldás



Multicast-fa

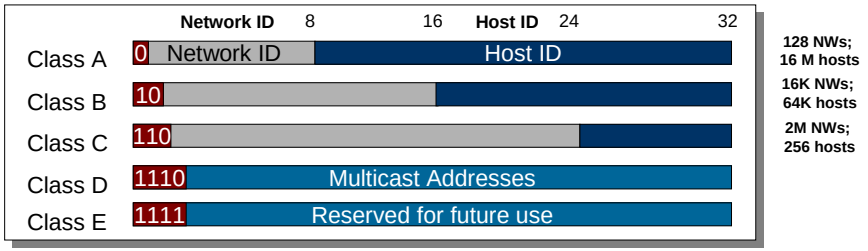
IPv4-Header (RFC 791)

- Version: 4 = IPv4
- IHL: fejléc hossz
  - 32 bites szavakban (>5)
- Type of Service
  - Optimalizálás „delay”, „throughput”, „reliability”, „monetary cost” szerint
- Checksum (csak a fejlécnek)
- Source és destination IP cím
- Protocol: azonosítja a megfelelő protokollt
  - pl. TCP, UDP, ICMP, IGMP
- Time to Live (TTL):
  - maximális hop szám



IPv4 címek

- Osztály alapú címzés (1993-ig)
  - 5 fix osztály, melyek mindegyikét egy prefix azonosítja
  - A, B, C osztály: fix hosszúságú hálózat prefix és host-ID
  - D a multicast osztály; E: lefoglalt

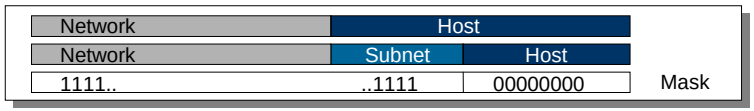


IPv4 címek

- Problémák:
  - A és B osztályú hálózatok sok állomást tartalmazhatnak, ami
    - a routerek számára nehezen kezelhető → **subnetting**
  - Elfogynak a címek: a címosztályok sok címet pazarolnak el
    - pl. egy szervezetnek 1000 állomással már B címosztályra lenne szüksége, ami elpazarol 64K-2K=62K címet → **classless addressing**

IPv4 címek -- Subnetting

- Képzeljünk el egy szervezetet, amely B címosztállyal rendelkezik és a szervezeten belül több LAN van (pl. Egyetem különböző Karai,…)
  - A központi routernek nem kell tudni minden állomásról, csak az egyes LAN-ok egy routeréről → új hierarchiaszint
- Subnetting
  - Bevezetünk alhálózatokat (subnet), melyeket az IP host-részéről leválasztott bitek azonosítanak (a hálózaton kívülről nem látható!)
  - A lokális routereknek tudni kell, hol van ez a leválasztás: ez a **subnet mask** által adható meg



  - Pl.: a subnet mask 11111111.11111111.11111111.00000000 azt jelenti, hogy
    - az IP cím 10000100.11100110.10010110.11110011
    - a 10000100.11100110 hálózatban a 10010110 alhálózatban
    - a 11110011 host-ot azonosítja

IPv4 címek -- Classless Inter Domain Routing (CIDR) (RFC 1519)

- A címoszályok nagyon sok IP címet pazarolnak
- 1993 óta: Classless Inter Domain Routing (CIDR)
  - A hálózat cím és a host-ID hossza szabadon adható meg hálózati maszk által.
    - Pl.: hálózati maszk 11111111.11111111.11111111.00000000
      - az IP cím 10000100.11100110.10010110.11110011
      - a 10000100.11100110.10010110 hálózatban
      - a 11110011 host-ot azonosítja
  - Ezek valódi hálózatokat jelentenek amit a többi router is lát – a subnetting-gel ellentétben
    - az IP csomagokba nem kell kiegészítés
    - többi routernek kezelni kell ezeket a változó hosszúságú hálózati címeket (forwarding és a routing algoritmus)

IPv4 címek -- CIDR

- Route aggregation
  - A BGP, RIP v2 és OSPF routing protokollok különböző hálózatokat egy prefix által kezelhetnek
    - Pl. minden hálózat, melynek a prefixe 10010101010* az X szomszédos routeren keresztül érhető el

IP cím lefordítása MAC címre: ARP (RFC 826)

- Address Resolution Protocol (ARP)
- IP cím MAC címre fordítása
  - Broadcast a LAN-ban, lekérdezni azt, hogy melyik állomáshoz tartozik az adott IP cím
  - Csak az a csomópont válaszol, amelyhez az IP tartozik, a MAC címmel
  - A router akkor a csomagot oda ki tudja szállítani

IPv6

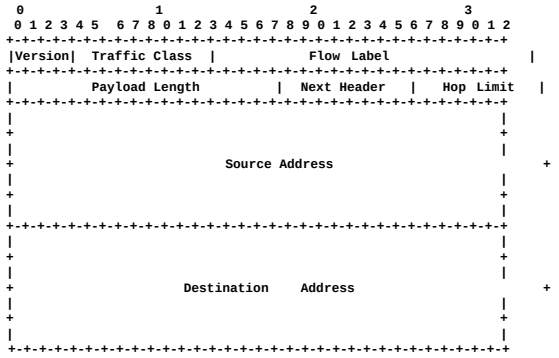
- 32 bites IP címek egyre szűkösebben állnak rendelkezésre
  - 4 milliárd ilyen IPv4 cím van (32 Bit) de
  - ezek statikusan hálózati és host-részre vannak osztva
    - címek mobil telefonoknak, hűtőszekrényeknek, autóknak, stb…
- Autokonfiguráció
  - DHCP, Mobile IP, átszámozás
- Új szolgáltatások
  - Biztonság (IPSec)
  - Quality of Service (QoS)
  - Multicast
- Egyszerűsítés a routernek
  - Nincs IP checksum
  - Nem partícionálja az IP csomagokat

A címek: DHCP

- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
  - Kézi hozzárendelés (hozzákötni a MAC címhez, pl. szervereknél)
  - Automatikus hozzárendelés (fix hozzárendelés, de nem előre beállított)
  - Dinamikus hozzárendelés (újrakiosztás lehetséges)
- Új számítógép kapcsolódása konfiguráció nélkül
  - A számítógép kér egy IP címet a DHCP szervertől
  - Az dinamikusan hozzárendel egy IP címet a számítógéphez
  - Miután a számítógép elhagyja a hálózatot, az IP cím újra kiosztható
  - Dinamikus hozzárendelés esetén az IP címeket „frissíteni” kell
  - Ha egy számítógép egy régi IP címet akar felhasználni, ami lejárt, vagy már újra ki van osztva
    - akkor a kéréseket vissza kell utasítani
  - Probléma: IP címek lopása

IPv6-Header (RFC 2460)

- Version: 6 = IPv6
- Traffic Class
  - QoS-hez (prioritásokhoz)
- Flow Label
  - QoS-hez, valós idejű alkamazásokhoz
- Payload Length
  - Az IP csomag fennmaradó részének (a datagrammnak) a hossza
- Next Header (mint IPv4-ben):
  - pl. ICMP, IGMP, TCP, EGP, UDP, Multiplexing, ...
- Hop Limit (Time to Live)
  - Hop-ok max. száma
- Source Address
- Destination Address
  - 128 Bit IPv6-Adresse



IPsec – Security Architecture for the IP (RFC 2401)

- Biztonsági protokollok
  - Authentication Header (AH)
    - Biztosítja az adat küldőjének authentifikációját,
    - kapcsolat mentes adat integritást,
    - védelemet Replay-támadásokkal szemben
  - Encapsulating Security Payload (ESP)
    - IP fejléc titkosítás nélkül, adatok titkosítva, authentifikálással
- Kulcs management:
  - IKE (Internet Key Exchange) Protokoll
  - Egy Security Association létrehozása
    - Security szolgáltatásokkal védett simplex kapcsolat két állomás, vagy egy állomás és egy security gateway (router, amely támogatja IPsec-et), vagy két security gateway között
    - Idientifikáció, kulcsok, hálózatok, megújítási időközök az authentifikációhoz és IPsec kulcsok rögzítése

IPsec

- IPsec transport üzemmódban (direkt kapcsolatokhoz)
  - IPsec fejléc az IP fejléc és az adatok között van
  - Megvizsgálják az IP routerek (azokban jelen kell lenni IPsec-nek)
- IPsec tunnel üzemmódban (ha legalább egy IPsec nélküli router közötte)
  - Az egész IP csomagot titkosítja és a IPsec fejléccel együtt egy új IP csomagba teszi
  - Csak a kapcsolat két végén kell hogy jelen legyen IPsec

- IPsec része az IPv6-nak
- porting IPv4-re létezik