

Hálózatok építése és üzemeltetése

Routing protokollok

Mai téma

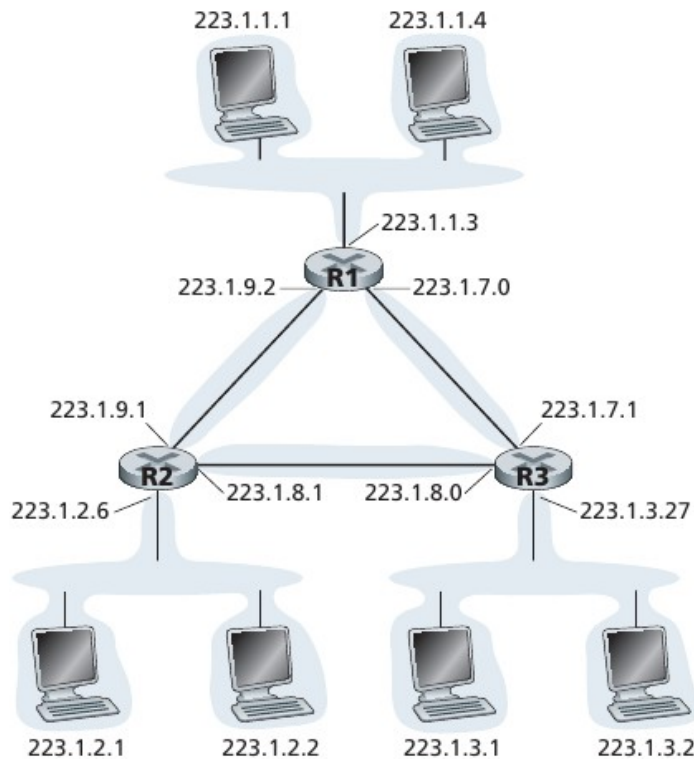
- ▶ Eddig
 - ▶ hálózati funkciók (NAT, Firewall, DHCP, DNS)
- ▶ Tulajdonképpen
 - ▶ switch / bridge (Layer 2)
 - ▶ router (Layer 3)
 - ▶ is alap hálózati funkciók
- ▶ Mai téma IP
 - ▶ forwarding
 - ▶ routing

Alapok

Hálózati réteg

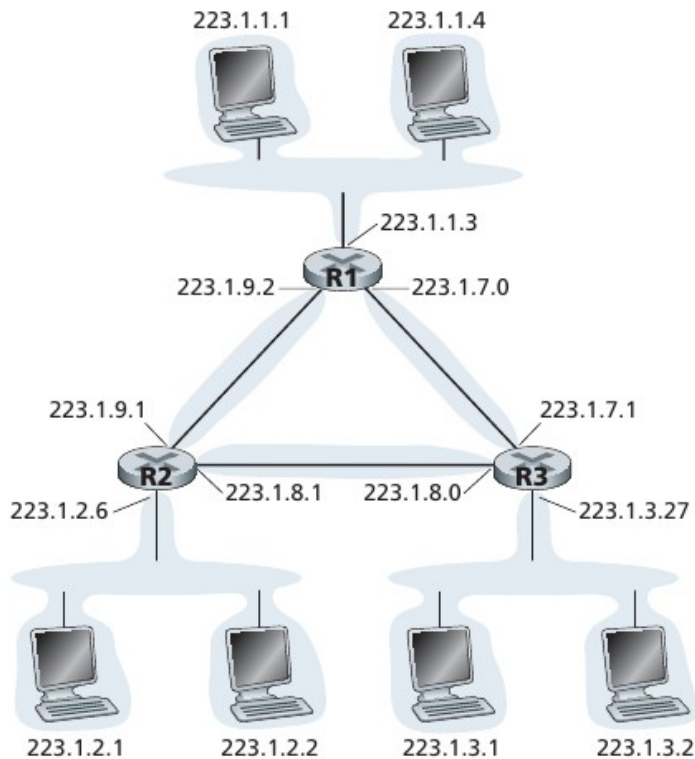
- ▶ Feladata
 - ▶ csomag eljuttatása végponttól végpontig
 - ▶ hálózatba kapcsolt routereken keresztül
- ▶ Ezt a szolgáltatást használja a transzport réteg (TCP, UDP)
- ▶ Alap funkciók
 - ▶ forwarding
 - ▶ mit csináljon egy router egy bejövő csomaggal
 - ▶ routing
 - ▶ milyen úton (routereken) haladjon a csomag a forrástól a célig

IPv4 címzés



- ▶ IP címet két különböző dologra használjuk
 - ▶ azonosítás
 - ▶ útvonalválasztás
- ▶ Minden interfésznek van egy címe
- ▶ routernek természetesen több interfésze van
 - ▶ dotted-decimal jelölés (pl. 192.168.1.1)
- ▶ alhálózatok
 - ▶ 32 bites cím két részre osztva (subnet mask alapján):
hálózati cím, hoszt cím (pl. 192.168.1.0/24)
- ▶ classful addressing
 - ▶ class A (/8, 8 bites hálózati cím), B (/16), C (/24)
 - ▶ (class D: multicast)
 - ▶ első bitek határozzák meg
 - ▶ A: 0, B: 10, C: 110, D: 1110
- ▶ CIDR
 - ▶ Classless Interdomain Routing
 - ▶ tetszőleges network prefix: /x

IPv4 címzés



▶ FLSM

- ▶ Fixed Length Subnet Mask
- ▶ útvonalhirdetés prefix nélkül
- ▶ fogadó interfész maszkja volt a default
- ▶ azonos “méretű” alhálózatok
- ▶ sokszor nagyon pazarló (kihasználatlan IP címek)

▶ VLSM

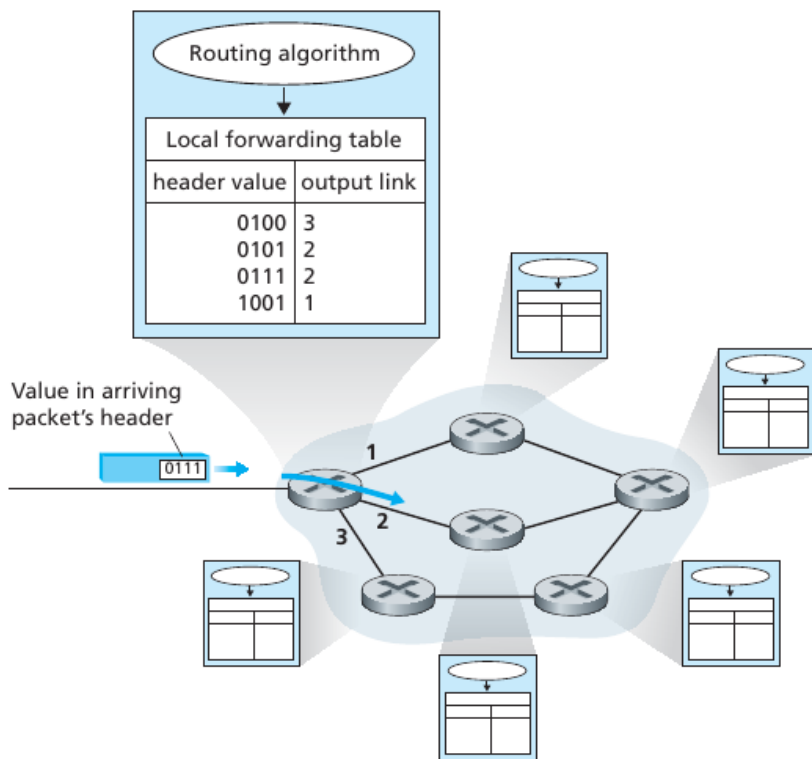
- ▶ Variable Length Subnet Mask
- ▶ (VLSM + CIDR)
- ▶ tetsőleges “méretű” alhálózatok
- ▶ kevésbé pazarló
- ▶ útvonalhirdetés prefix-szel
 - ▶ IP cím / prefix
- ▶ routing prefix aggregation

J. Kurose, K. Ross, “Computer Networking: A Top-Down Approach”, Pearson, 2012

Forwarding

Hogy működik egy router?

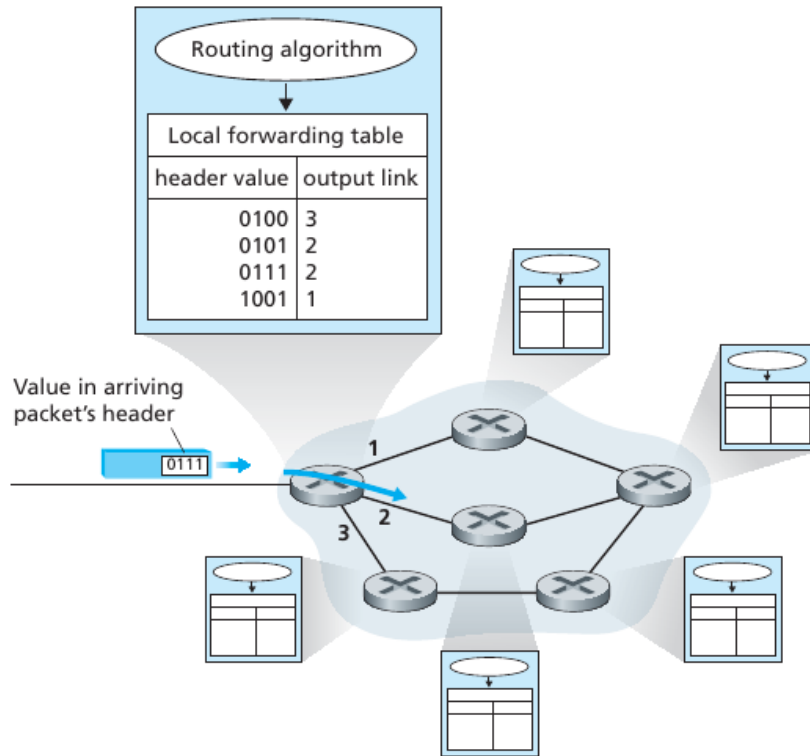
Forwarding és routing



▶ Forwarding

- ▶ lokális döntési mechanizmus
- ▶ forwarding tábla alapján
 - ▶ pl. cél azonosítóhoz -> kimeneti interfész
- ▶ (1) routerhez beérkezik a csomag
- ▶ (2) fejrész érdekes részét vizsgálja
 - ▶ pl. cél IP
- ▶ (3) lookup (match)
 - ▶ illeszkedés vizsgálat (longest prefix match)
 - ▶ megfelelő bejegyzés kiválasztása a forwarding táblából
- ▶ (4) csomag továbbítása a kiválasztott bejegyzés szerinti port(ok)on (action)
- ▶ match & action (Hol láttuk korábban?)

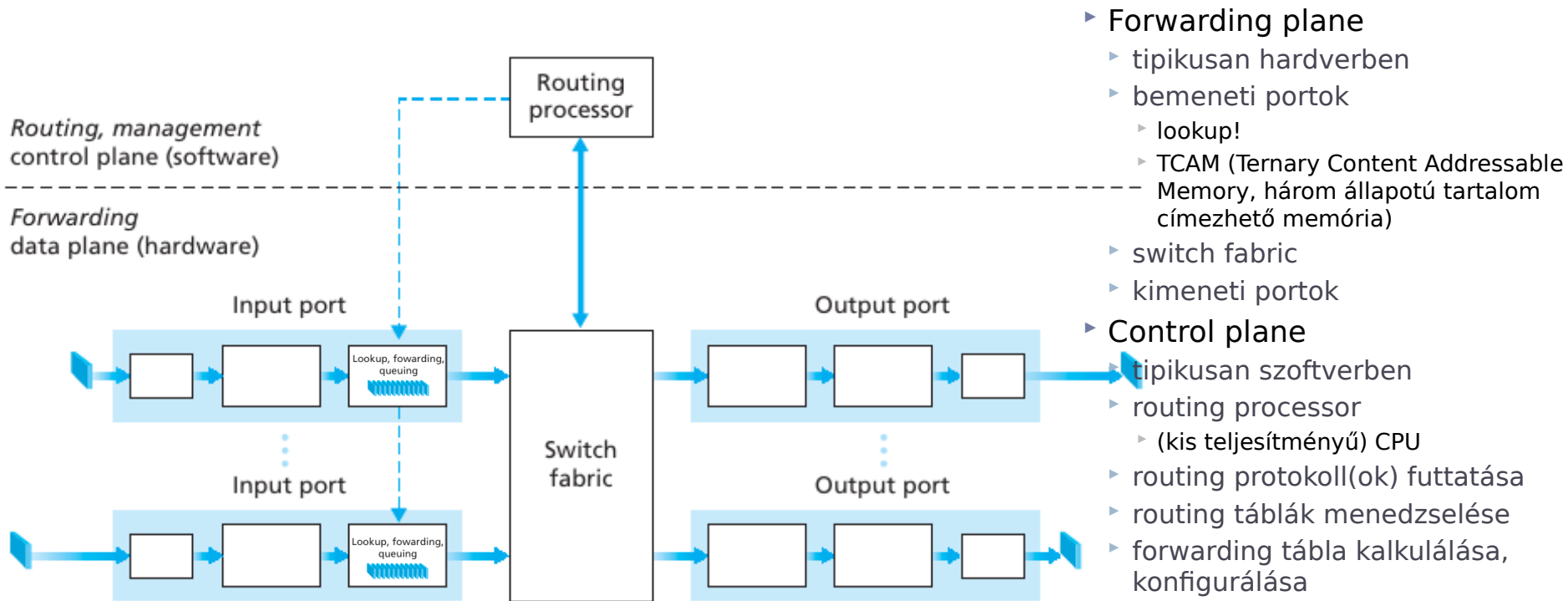
Forwarding és routing



▶ Routing

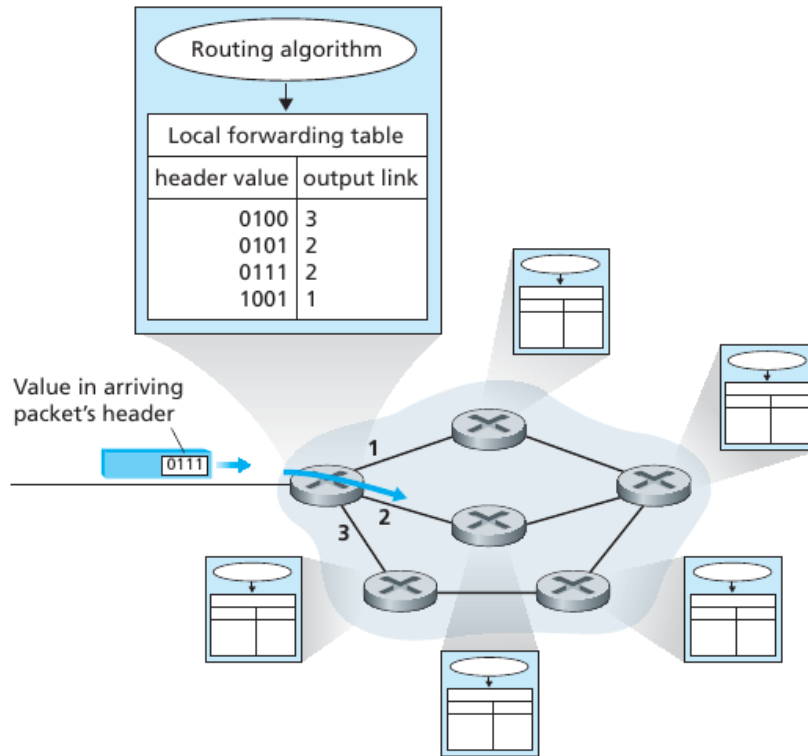
- ▶ forwarding tábla dinamikus konfigurálása (változó hálózat)
- ▶ bejegyzések hozzáadása, törlése
 - ▶ routing protokoll üzenetek alapján
- ▶ centralizált vs. elosztott
- ▶ centralizált
 - ▶ egy központi helyen fut, látja a teljes topológiát (ld. majd OpenFlow hálózatok)
 - ▶ router-kontroller kommunikáció
- ▶ elosztott
 - ▶ routereken elosztottan fut az algoritmus (pl. hagyományos routing protokollok)
 - ▶ routerek kommunikálnak egymással, folyamatos információcsere

Tipikus router architektúra



- ▶ **Forwarding plane**
 - ▶ tipikusan hardverben
 - ▶ bemeneti portok
 - ▶ lookup!
 - ▶ TCAM (Ternary Content Addressable Memory, három állapotú tartalom címezhető memória)
 - ▶ switch fabric
 - ▶ kimeneti portok
- ▶ **Control plane**
 - ▶ tipikusan szoftverben
 - ▶ routing processor
 - ▶ (kis teljesítményű) CPU
 - ▶ routing protokoll(ok) futtatása
 - ▶ routing táblák menedzselése
 - ▶ forwarding tábla kalkulálása, konfigurálása

RIB vs. FIB



- ▶ **RIB**
 - ▶ Routing Information Base
 - ▶ “routing táblák”
 - ▶ tipikusan RAM-ban
 - ▶ routing protokolloktól jövő útvonal információk tárolóhelye
 - ▶ minden útvonal, amit valamelyik futó routing algoritmus megtanult
- ▶ **FIB**
 - ▶ Forwarding Information Base
 - ▶ “forwarding tábla”
 - ▶ tipikusan TCAM-ben, korlátos méret
 - ▶ performanciára optimalizált bejegyzések
 - ▶ longest prefix match
 - ▶ nem tárolunk minden lehetséges cél címet
 - ▶ döntés cél prefix alapján
 - ▶ FIB-et dinamikusan kell kalkulálni a RIB alapján (next hop, output interfaces)

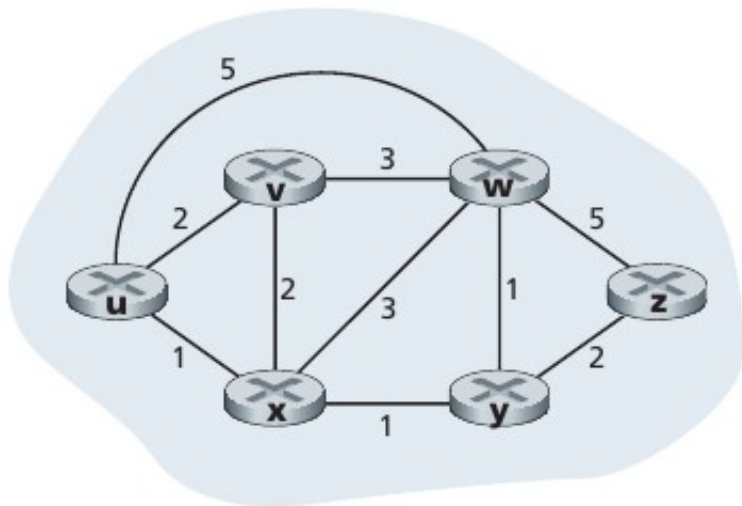
Routing protokollok

Routing protokollok

▶ Feladatuk

- ▶ optimális útvonal biztosítása bármely csomópontok között
 - ▶ aktuális állapot információ a hálózatról
 - ▶ útvonalak kalkulálása
- ▶ forwarding táblák
 - ▶ konfigurálása
 - ▶ dinamikus karbantartása, frissítése
 - ▶ bejövő routing protokoll üzenetek alapján
- ▶ routing információk
 - ▶ feldolgozása
 - ▶ terjesztése

Routing protokollok



- ▶ Hálózat: absztrakt gráf
 - ▶ csomópontok: routerek
 - ▶ élek: linkek
 - ▶ élköltség: valamilyen metrika (pl. késleltetés, sáv szélesség kifejezése)
- ▶ cél:
 - ▶ (valamilyen értelemben) optimális, legkisebb költségű útvonal meghatározása két csomópont között
 - ▶ pl. legrövidebb út
- ▶ Ismerős algoritmusok:
 - ▶ Dijkstra algoritmus
 - ▶ Bellman-Ford algoritmus

Csoportosításuk

- ▶ **Globális vs. Elosztott**
 - ▶ globális: minden router ismeri a teljes topológiát
 - ▶ elosztott: minden router csak a szomszédjait és a tőlük kapott üzeneteket ismeri
- ▶ **Intra-domain vs. Inter-domain**
 - ▶ intra: Interior Gateway Protocol (IGP)
 - ▶ közös adminisztratív domain
 - ▶ nem jól skálázódik
 - ▶ inter: Exterior Gateway Protocol (EGP)
 - ▶ külön adminisztratív domainek, AS-ek (Autonomous System) között
 - ▶ jól skálázódik (internet)
- ▶ **Link state vs. Distance Vector (ld. később)**

Csoportosításuk

- ▶ Interior Gateway Protocol (IGP) példák
 - ▶ OSPF (OpenShortest Path First)
 - ▶ IS-IS (Intermediate System to Intermediate System)
 - ▶ RIP (Routing Information Protocol)
 - ▶ EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol)
- ▶ Exterior Gateway Protocol (EGP)
 - ▶ BGP (Border Gateway Protocol)
 - ▶ Id. MSC (Internet architektúra és szolgáltatások főspecializáció)

Routing protokollok értékelése

- ▶ **Erőforrás-igény**
 - ▶ milyen mértékben terheli a routing processzort
 - ▶ mennyi sávszélességet foglal (kontroll üzenetek)
- ▶ **Stabilitás, konvergenciaidő**
 - ▶ hálózati állapot változása után milyen gyorsan alakul ki (kialakul egyáltalán?) új stabil, konzisztens állapot
- ▶ **Biztonság**
 - ▶ támadási pont lehet a protokollok által használt portok és egyéb erőforrások lefoglalása, gátolhatja a szinkronizációt
 - ▶ hamis információ terjesztése, pl. hosszabb időre kivonhat egyes hálózati szegmenseket a forgalomból
- ▶ **Címzés**
 - ▶ melyik címzési technikát támogatja (classful, CIDR, VLSM)
- ▶ **Hálózati hierarchia**
 - ▶ hálózat a címzés és az útvonalválasztás szempontjából lehet lapos (flat) vagy hierarchikus
 - ▶ hierarchikus
 - ▶ elkülönülő területek, routereknek csak az adott területen belüli eszközöket kell ismerniük
 - ▶ routing és forwarding táblázatok mérete jelentősen csökkenthető

Link State alapú routing

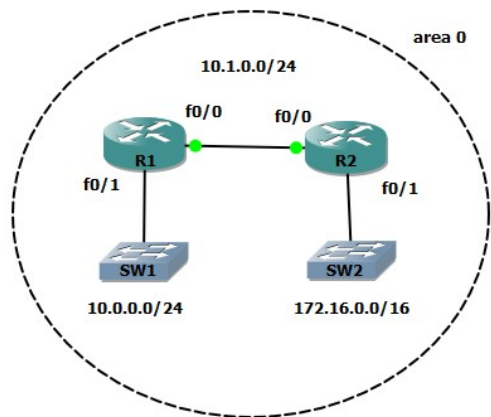
Működési elv

- ▶ Link State alapú routing algoritmus
 - ▶ globális nézetten dolgozik
 - ▶ LSP: Link State Packet (id, costs, seq.no, ttl)
 - ▶ egy router
 - ▶ mindenkinek küld LSP-t (broadcast)
 - ▶ a közvetlenül kapcsolódó linkjeiről
 - ▶ periodikusan újra generálja (seq.no++)
 - ▶ legfrissebb beérkezett LSP-eket tárolja
 - ▶ mindenki ugyanazt a topológiát látja
 - ▶ azon számolja az útvonalakat
 - ▶ útvonalszámítás: Dijkstra algoritmus

Például: OSPF

- ▶ Open Shortest Path First (v2)
- ▶ nyílt, IETF szabvány
 - ▶ v2: RFC 2328
 - ▶ IP felett
- ▶ együttműködés különböző gyártók termékei között!
- ▶ korlátozott erőforrás igény
- ▶ viszonylag gyors, automatikus konvergencia topológia változásokra
- ▶ támogatja
 - ▶ különböző útvonal költségek számítását
 - ▶ hierarchikus, többszintű topológiát
 - ▶ alkalmazás típusára alapozott forgalomirányítást
 - ▶ autentikációt minden üzenetre

Például: OSPF



- ▶ Egyszerű példa
- ▶ R1, R2 routerek
- ▶ mindkét routerben egységes képet szeretnénk
- ▶ példa konfiguráció (Cisco)
 - ▶ hirdetés: network parancs
 - ▶ egy terület: area 0

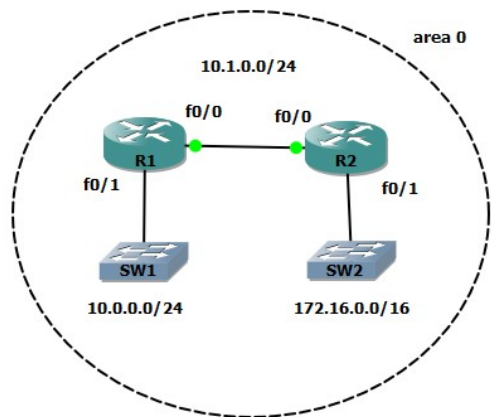
R1:

```
router ospf 1
log-adjacency-changes
network 10.0.0.1 0.0.0.0 area 0
network 10.1.0.0 0.0.0.255 area 0
```

R2:

```
router ospf 1
log-adjacency-changes
network 10.1.0.2 0.0.0.0 area 0
network 172.16.0.0 0.0.255.255 area 0
```

Például: OSPF



- ▶ Egyszerű példa
- ▶ R1, R2 routerek
- ▶ mindkét routerben egységes képet szeretnénk
- ▶ példa konfiguráció (Cisco)
 - ▶ routing táblák dinamikusan frissülnek

R1:

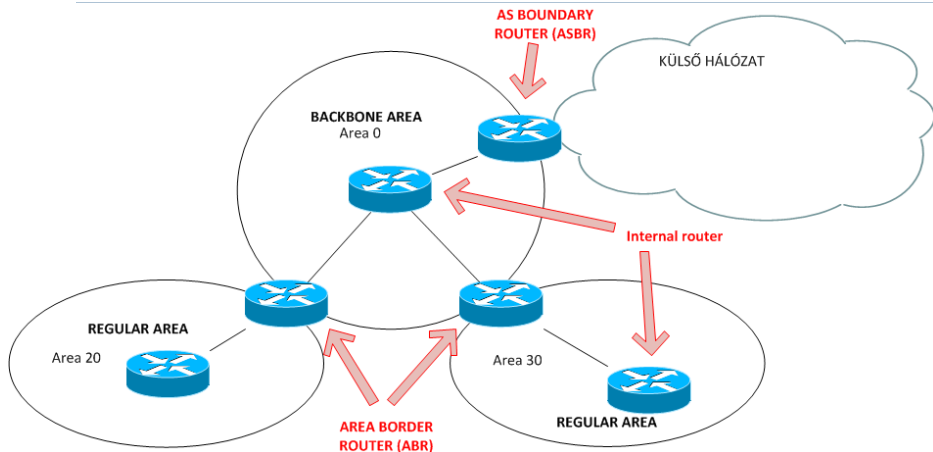
```
R1# show ip route
```

```
O    172.16.0.0/16 [110/20] via 10.1.0.2, 00:02:40, FastEthernet0/0
     10.0.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
```

```
C        10.0.0.0 is directly connected, FastEthernet0/1
```

```
C        10.1.0.0 is directly connected, FastEthernet0/0
```

Például: OSPF



▶ Router típusok

- ▶ Internal router
 - ▶ minden OSPF-et futtató interfésze ugyanazon area-ban
- ▶ ABR (Area Border Router)
 - ▶ két különböző területhez is kapcsolódik
 - ▶ legalább egy interfésze a backbone area-hoz
 - ▶ legalább egy interfésze egy regular area-hoz
- ▶ ASBR (Autonomous System Boundary Router)
 - ▶ OSPF AS-t összeköti a külvilággal, és egyben ABR is

▶ Hierarchikus routing

▶ egy autonóm rendszeren belül területek (area) (skálázódás!)

- ▶ 32 bites id (pl. 0.0.0.23)
- ▶ területen belül közös nézet
- ▶ szinkronizálni kell

▶ area típusok

- ▶ backbone area
 - ▶ id 0
 - ▶ minden más terület ide csatlakozik
- ▶ regular area
 - ▶ backbone area-hoz csatlakozik
 - ▶ csak a backbone area-val osztja meg a saját területéről származó információkat
 - ▶ minden más regular area-ba menő forgalom a backbone area-n megy keresztül

Például: OSPF

▶ Neighbor tábla

- ▶ szomszédsági kapcsolatok
- ▶ szomszéd routerek felderítése
- ▶ Hello protokoll
 - ▶ periodikus Hello üzenetek
 - ▶ multicast 224.0.0.5
 - ▶ folyamatos információ csere

▶ LSDB

- ▶ Link State Database
- ▶ Hello üzenet után LSDB szinkronizáció
 - ▶ LSDB kivonat kicserélése
 - ▶ útvonalak vizsgálata
 - ▶ további adatok kérése azokról, amelyekről még nincs információjuk
 - ▶ ha LSDB szinkron: teljes értékű szomszédság

▶ Routing tábla

- ▶ legjobb útvonalak tárolása

Például: OSPF

- ▶ Útvonal információk cseréje
 - ▶ LSU (Link State Update) üzenetek
 - ▶ ebben LSA-k (Link State Advertisement)
 - ▶ információ egyetlen útvonalról
 - ▶ area-n belül biztonságos elárasztás
 - ▶ nyugtázással
 - ▶ Különböző típusú LSA-k
 - ▶ meddig jutnak el, hogyan konvertálódnak
 - ▶ Type 1 - Router link advertisement
 - ▶ Type 2 - Network link advertisement
 - ▶ Type 3/4 - Summary link advertisement
 - ▶ Type 5 - External link
 - ▶ Type 7 - NSSA external route
- ▶ Link költség
 - ▶ sávszélesség alapján
 - ▶ fordítottan arányos vele
 - ▶ minél kisebb a költség (nagyobb a sebesség), annál preferáltabb a link
- ▶ Üzenet típusok
 - ▶ Hello
 - ▶ DBD (Database Description)
 - ▶ LSU (Link State Update)
 - ▶ LSR (Link State Request)
 - ▶ LSAck (Link State Acknowledgement)

Például: OSPF

- ▶ Jön részletesebben a következő gyakorlaton...

Distance Vector alapú routing

Működési elv

- ▶ Távolságvektor (distance vector) alapú routing algoritmus
 - ▶ lokális információkkal dolgozik
 - ▶ elosztott
 - ▶ minden router információt kap a közvetlen kapcsolódó szomszédaitól
 - ▶ kalkulációt végez
 - ▶ eredményt elküldi a szomszédainak
 - ▶ (destination, cost)
 - ▶ iteratív
 - ▶ addig folytatódik, amíg van cserélendő információ
 - ▶ nincs leállítási jelzés: self-terminating
 - ▶ aszinkron
 - ▶ nincs szükség a routerek szinkron kommunikációjára
 - ▶ routing tábla
 - ▶ (destination, cost, next_hop)
 - ▶ ha jobb utat kap, frissíti
 - ▶ Útvonal számítás: Bellman-Ford algoritmus

Például: RIP

- ▶ Routing Information Protocol (v2)
- ▶ Első, egyszerű DV implementáció
 - ▶ RFC 2453
 - ▶ UDP felett (520-as port)
- ▶ Cél: minden elérhető hálózathoz a legjobb, hurokmentes útvonal meghatározása
- ▶ ha egy router útvonalfrissítést kap
 - ▶ routing tábla frissítése
 - ▶ kapott mértéket eggyel megnöveli (hop count a default routing metrika)
 - ▶ next hop: a frissítés forrás interfésze
- ▶ Minden cél felé csak a
 - ▶ legjobb útvonal nyilvántartása
 - ▶ de azonos költségű útvonalból többet is kezel
- ▶ Limitált hálózatméret
 - ▶ maximum 15 hop (16 == ∞)

Például: RIP

▶ Frissítések

- ▶ v1: broadcast
- ▶ v2: multicast (224.0.0.9)
- ▶ rendszeres
 - ▶ eredetileg 30 másodpercenként
- ▶ eseményvezérelt
 - ▶ ha routing tábla frissítés történt
 - ▶ azonnal megkezdí a frissítés küldést

▶ Konvergencia

- ▶ mennyi idő alatt jut a teljes rendszer új konzisztens állapotba
- ▶ DV protokolloknál probléma lehet a lassú konvergencia
- ▶ időzítők használata

▶ Időzítők

- ▶ Update Timer
 - ▶ minden útvonalhoz
 - ▶ default 30sec
- ▶ Invalid Timer
 - ▶ ha eddig nem jön update az útvonalra:
next_hop=16
 - ▶ default: 180sec
- ▶ Flush Timer
 - ▶ ha eddig nem jön update az útvonalra, törlődik
 - ▶ default: 240sec
- ▶ Hold-down Timer
 - ▶ ha változott egy útvonal, eddig nem fogad el új változtatásokat
 - ▶ default: 180sec
 - ▶ megelőzhető a végtelenig számolás, de
 - ▶ nő a konvergencia idő!

Például: RIP

- ▶ Hurok elkerülés
- ▶ Végtelenig számolás
 - ▶ 15 hopnál távolabb lévő célállomásokat a rendszer elérhetetlennek nyilvánítja
 - ▶ így a végtelenig számolás problémája, csomagok végtelen körbeutazása megelőzhető
 - ▶ DE nagyméretű hálózatokban csak korlátozottan alkalmazható
- ▶ Split Horizon (látóhatár megosztás)
 - ▶ Alapelv: egy útvonalról nem érdemes információkat küldeni oda, ahonnan a vele kapcsolatos adatok eredetileg érkeztek
- ▶ Poison Reverse (visszairányú mérgezés)
 - ▶ Ha egy útvonal elérhetlenné válik, a router küld egy frissítést azon az interfészen, amelyen keresztül korábban megtanulta az adott útvonalat
 - ▶ a frissítésben az adott prefixhez tartozó költséget végtelenre (16) állítja
- ▶ Hold-down Timer (visszatartási időzítő) és Event Triggered Updates (eseményvezérelt frissítések)
 - ▶ Id. korábban

Például: RIP

▶ Hátrányok

- ▶ (alapból) lassú konvergencia
- ▶ limitált hálózatméret
- ▶ nagy kontroll forgalom (sok router-router üzenetváltás)

▶ Előnyök

- ▶ nagyon egyszerű konfigurálás

Például: RIP

- ▶ Jön részletesen a következő félévben szakirány laboron...

Összefoglalás

- ▶ Forwarding vs. Routing
- ▶ Routing protokollok
- ▶ Link State alapú algoritmusok
 - ▶ pl. OSPF
- ▶ Distance Vector alapú algoritmusok
 - ▶ pl. RIP