

Számítógépes Hálózatok

9. Előadás: Hálózati réteg 2

Based on slides from **Zoltán Ács ELTE** and D. Choffnes Northeastern U., Philippa Gill from StonyBrook University , Revised Spring 2016 by S. Laki

Példa: Telefonszámok

2

1-617-373- 3278

Nagyon általános



Northeastern University

West Village G
Room 234

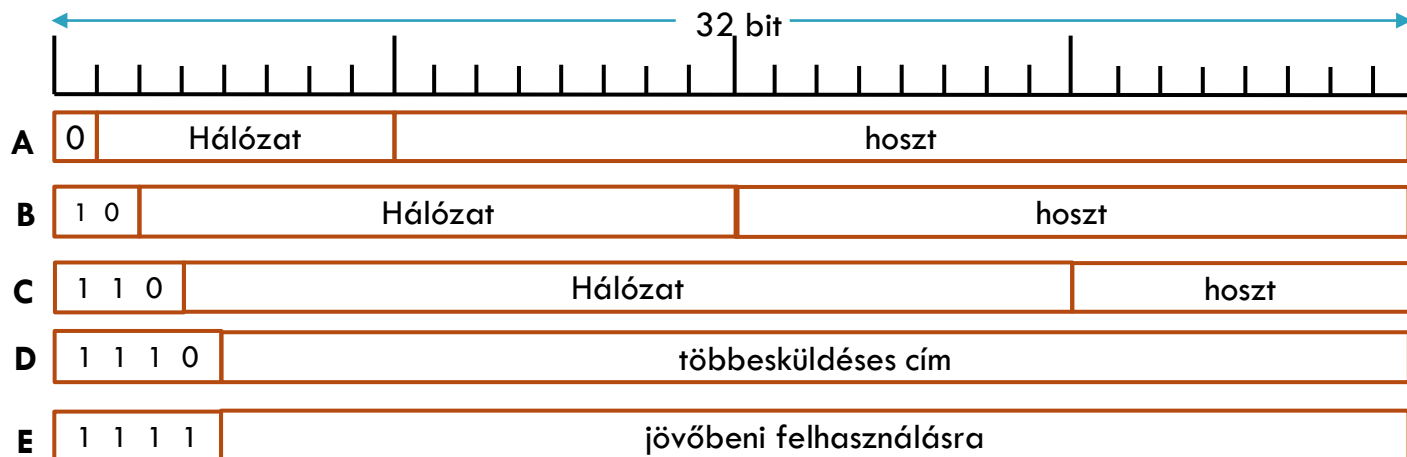
Helyi frissítések

Nagyon konkrét

IP cím

3

- Minden hoszt és minden router az Interneten rendelkezik egy IP-címmel, amely a hálózat számát és a hoszt számát kódolja. (*egyedi kombináció*)
- 4 bájtban ábrázolják az IP-címet.
- Több évtizeden keresztül 5 osztályos címzést használtak: A, B, C, D és E.



IP cím

4

- Az IP-t pontokkal elválasztott decimális rendszerben írják. Például: *192.168.0.1*
- Van pár speciális cím. Lásd az alábbiakban.

0 0

Ez egy hoszt.

0..0	hoszt
------	-------

Ez egy hoszt ezen hálózaton.

1 1

Adatszórás a helyi hálózaton.

Hálózat	1..1
---------	------

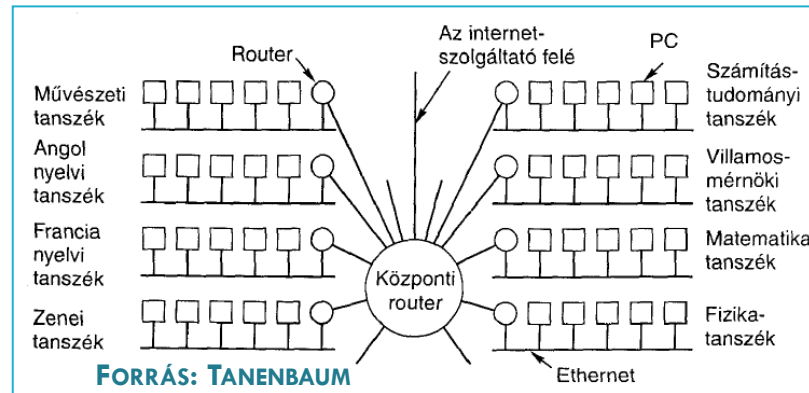
Adatszórás egy távoli hálózaton.

0 1 1 1 1 1 1 1	(bármilyen)
-----------------	-------------

Visszacsatolás.

IP cím – alhálózatok

5



- Az azonos hálózatban lévő hosztok ugyanazzal a hálózatszámmal rendelkeznek.
- Egy hálózat belső felhasználás szempontjából több részre osztható, de a külvilág számára egyetlen hálózatként jelenik meg.

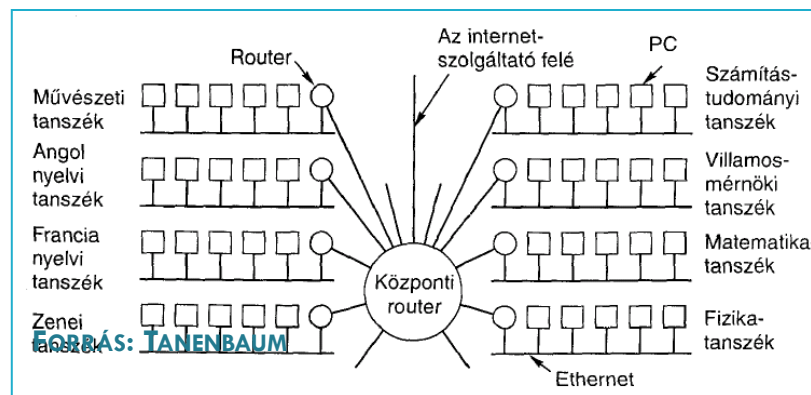
■ Alhálózat (avagy angolul *subnet*)

IP cím – alhálózatok

6

AZONOSÍTÁS

- alhálózati maszk (avagy angolul *subnet mask*) ismerete kell a routernek
 - Két féle jelölés *IP-cím jellegű* vagy *a fix pozíciók száma*.
- A forgalomirányító táblázatba a router-eknél (*hálózat,0*) és (*saját hálózat, hoszt*) alakú bejegyzések.
- Ha nincs találat, akkor az alapértelmezett router felé továbbítják a csomagot.



IP cím – CIDR

7

- IP címek gyorsan fogytak. 1996-ban kötötték be a 100.000-edik hálózatot.
 - ▣ Az osztályok használata sok címet elpazarolt. (B osztályú címek népszerűsége)
- **Megoldás:** osztályok nélküli környezetek közötti forgalomirányítás (CIDR).
 - ▣ Például 2000 cím igénylése esetén 2048 méretű blokk kiadása.
- Forgalomirányítás megbonyolódik:
 - ▣ Minden bejegyzés egy 32-bites maszkkal egészül ki.
 - ▣ Egy bejegyzés inentől egy hármassal jellemezhető: (*ip-cím, alhálózati maszk, kimeneti vonal*)
 - ▣ Új csomag esetén a cél címből kimaszkolják az alhálózati címet, és találat esetén a leghosszabb illeszkedés felé továbbítják.
- Túl sok bejegyzés keletkezik.
 - ▣ Csoportos bejegyzések használata.

CIDR címzés példa

8

Mi történik, ha a router egy 135.46.57.14 IP cím felé tartó csomagot kap?

/22-ES CÍM ESETÉN

```
10001011 00101110 00111001 00001110
AND 11111111 11111111 11111100 00000000
10001011 00101110 00111000 00000000
```

Kimaszkolás eredménye

/23-ES CÍM ESETÉN

```
10001011 00101110 00111001 00001110
AND 11111111 11111111 11111110 00000000
10001011 00101110 00111000 00000000
```

- Vagyis 135.46.56.0/22-as vagy 135.46.56.0/23-as bejegyzést kell találni, azaz jelen esetben a 0.interface felé történik a továbbítás.

Cím/maszk	Következő ugrás
135.46.56.0/22	0.interface
135.46.60.0/23	1.interface
192.53.40.0/23	1.router
Alapértelmezett	2.router

CIDR bejegyzés aggregálás példa

9

- Lehet-e csoportosítani a következő bejegyzéseket, ha feltesszük, hogy a *következő ugrás* mindegyiknél az *1.router*:
57.6.96.0/21, 57.6.104.0/21, 57.6.112.0/21, 57.6.120.0/21?

```
00111001 00000110 01100 000 00000000
00111001 00000110 01101 000 00000000
00111001 00000110 01110 000 00000000
00111001 00000110 01111 000 00000000
```

- Azaz az (57.6.96.0/19, 1.router) bejegyzés megfelelően csoportba fogja a 4 bejegyzést.

Forgalomirányítási tábla példa

10

```
Kernel IP routing table
Destination      Gateway          Genmask          Flags Metric Ref    Use Iface
0.0.0.0          157.181.161.254 0.0.0.0          UG      0      0      0 eno1
157.181.161.0    0.0.0.0          255.255.255.0    U      0      0      0 eno1
172.17.0.0        0.0.0.0          255.255.0.0      U      0      0      0 docker0
172.24.0.0        0.0.0.0          255.255.0.0      U      0      0      0 br-772d81d6d979
192.168.0.0       0.0.0.0          255.255.255.0    U      0      0      0 eno2
192.168.122.0     0.0.0.0          255.255.255.0    U      0      0      0 virbr0
```

NAT

11

- Gyors javítás az IP címek elfogyásának problémájára. (hálózati címfordítás)

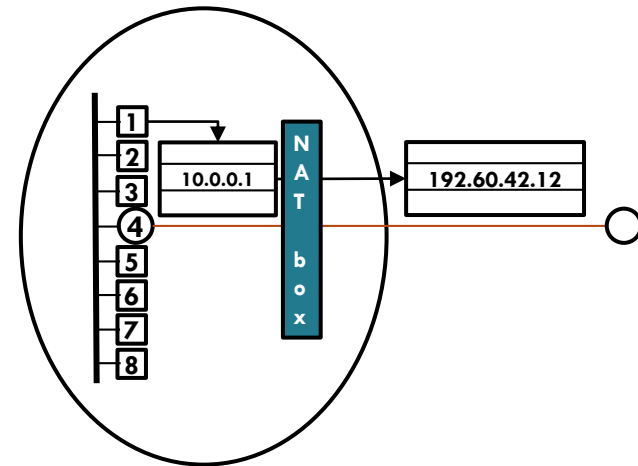
ALAPELVEK

- Az internet forgalomhoz minden cégnek egy vagy legalábbis kevés IP-címet adnak. A vállalaton belül minden számítógéphez egyedi IP-címet használnak a belső forgalomirányításra.
- A vállalaton kívüli csomagokban a címfordítást végzünk.
- 3 IP-címtartományt használunk:
 - ▣ 10.0.0.0/8, azaz 1 6 777 216 lehetséges hoszt;
 - ▣ 172.16.0.0/12, azaz 1 084 576 lehetséges hoszt;
 - ▣ 192.168.0.0/16, azaz 65 536 lehetséges hoszt;
- NAT box végzi a címfordítást

NAT

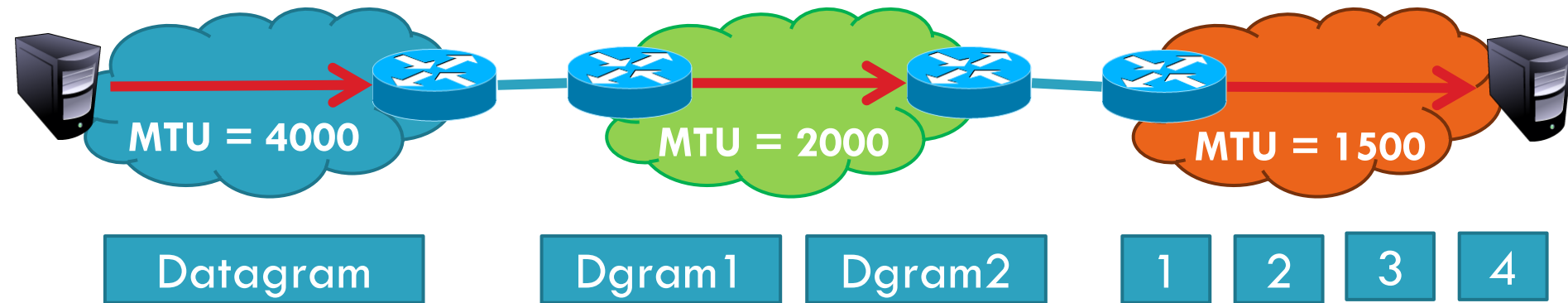
12

- Hogyan fogadja a választ?
 - ▣ A *port* mezők használata, ami mind a TCP, mind az UDP fejlécben van
 - ▣ Kimenő csomagnál egy mutatót tárolunk le, amit beírunk a *forrás port* mezőbe. 65536 bejegyzésből álló fordítási táblázatot kell a *NAT box*-nak kezelni.
 - ▣ A fordítási táblázatban benne van az eredeti IP és forrás port.
- **Ellenérvek:** sérti az IP architekturális modelljét, összeköttetés alapú hálózatot képez, rétegmodell alapelveit sérti, kötöttség a TCP és UDP fejléchez, szöveg törzsében is lehet az IP, szűkös port tartomány



IP Fragmentation – IP Fragmentáció (darabolás)

13

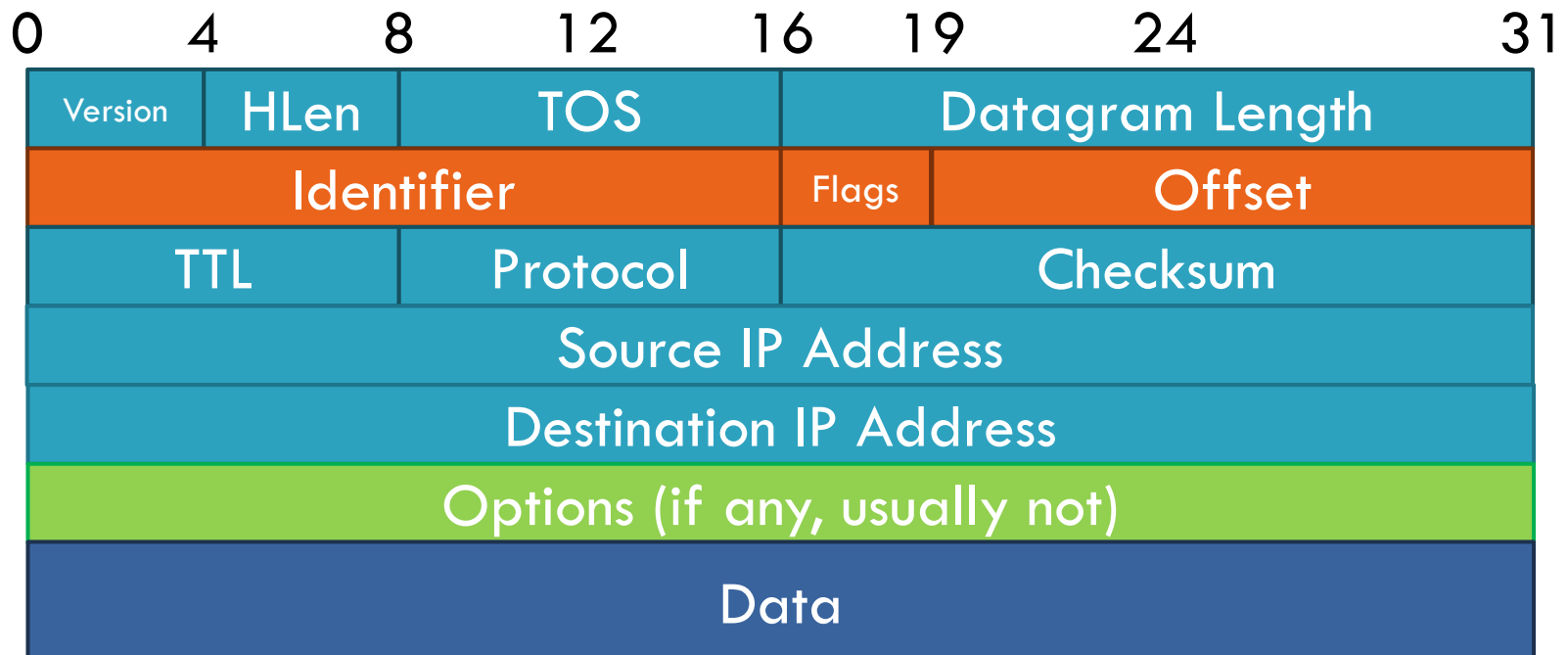


- ❑ Probléma: minden hálózatnak megvan a maga MTU-ja
 - ▣ MTU: Maximum Transmission Unit – lényegében a maximális használható csomag méret egy hálózatban
 - ▣ DARPA/Internet alapelv: hálózatok heterogének lehetnek
 - ▣ A minimális MTU nem ismert egy adott útvonalhoz
- ❑ IP esetén: fragmentáció
 - ▣ Vágjuk szét az IP csomagot, amikor az MTU csökken
 - ▣ Állítsuk helyre a darabokból a csomagot a fogadó állomásnál

IP fejléc: 2. szó

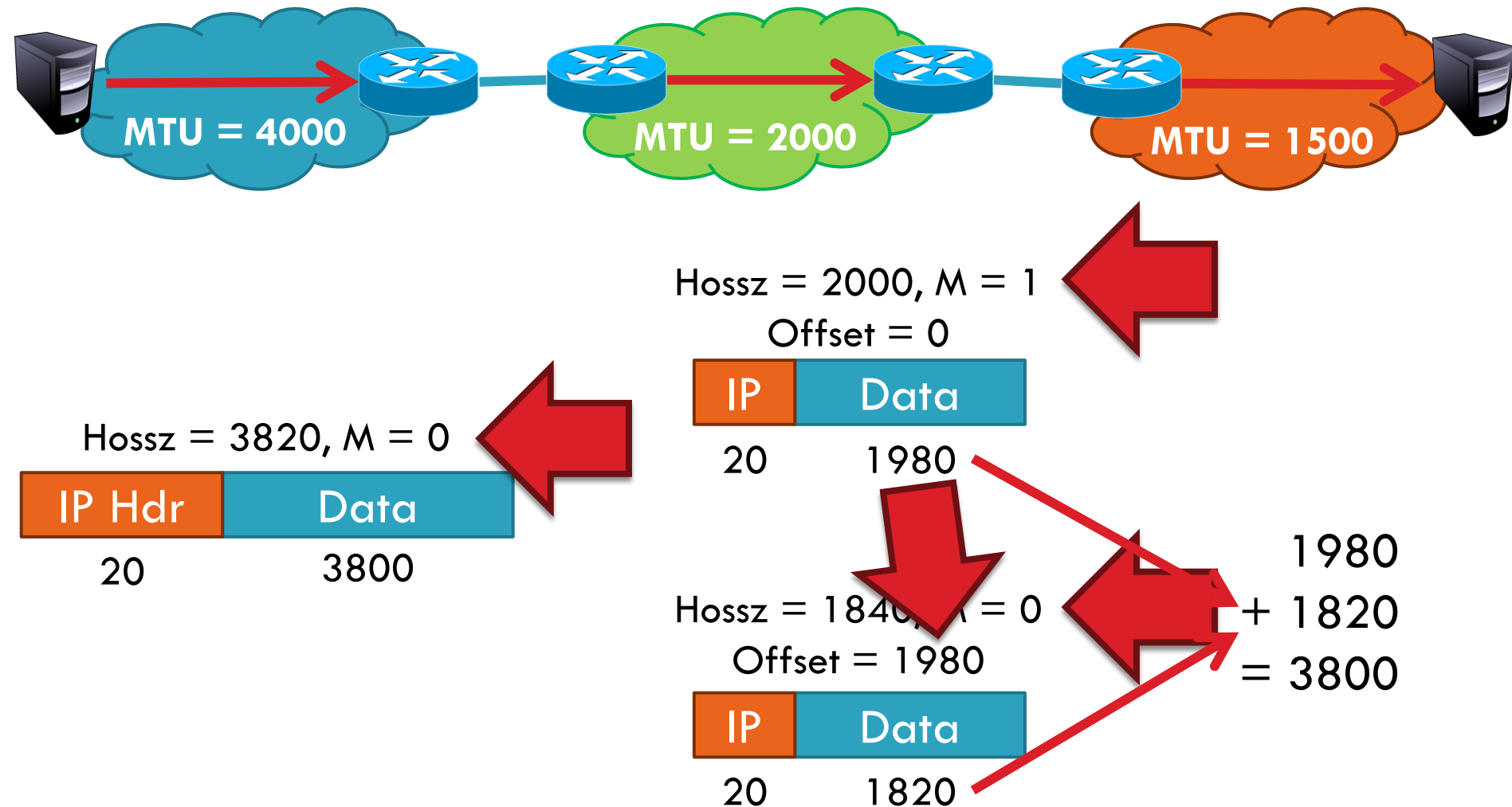
14

- ❑ Identifier (azonosító):
 - ▣ egyedi azonosító minden IP datagramhoz (csomaghoz)
- ❑ Flags (jelölő bitek):
 - ▣ M flag, értéke 0, ha ez az utolsó darab/fragment, különben 1
- ❑ Offset (eltolás):
 - ▣ A darab/fragment első bájtjának pozíciója



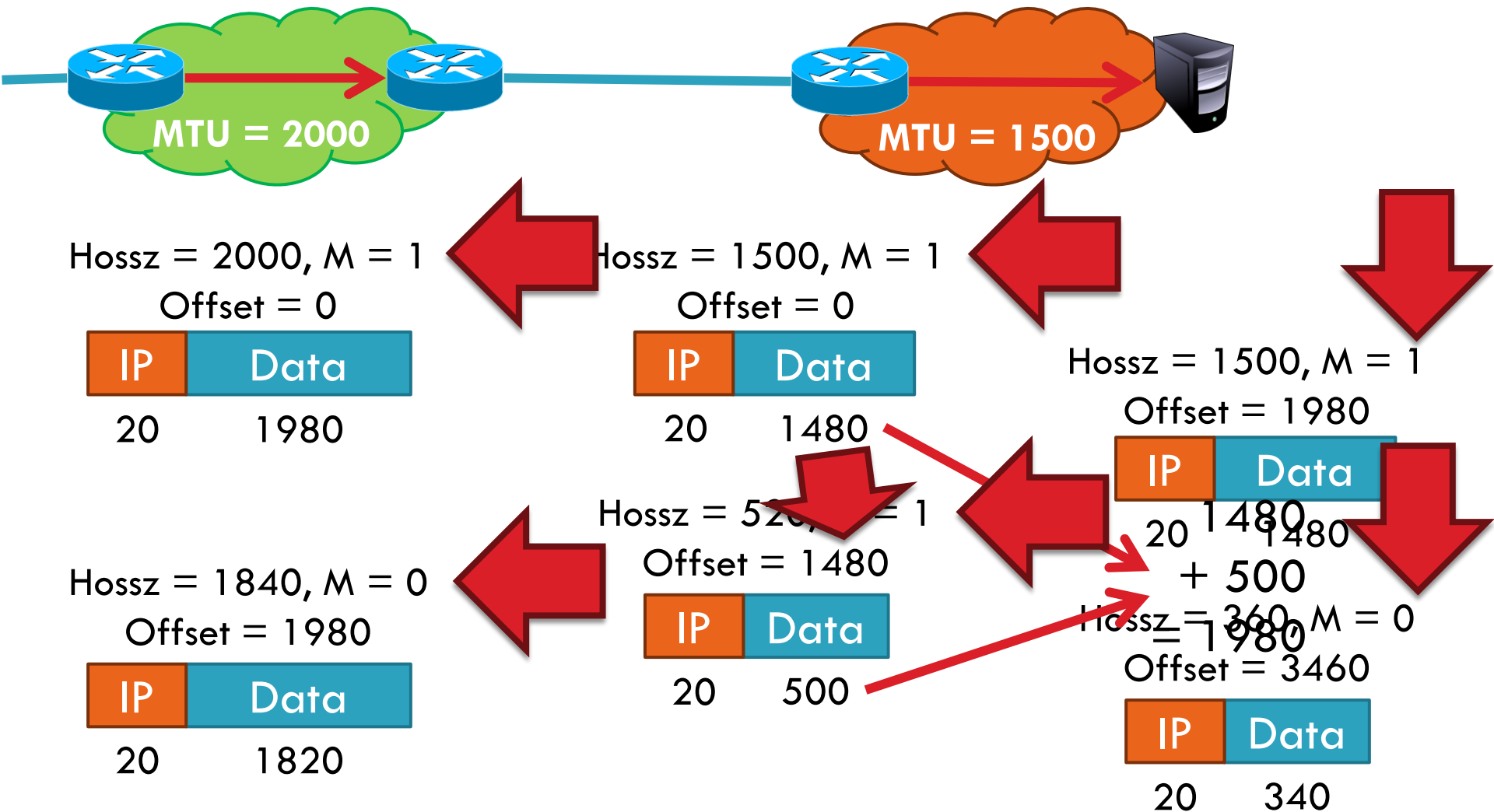
Példa

15



Példa

16



IP csomag helyreállítása

17

Hossz = 1500, $M = 1$, Offset = 0

IP	Data
20	1480

Hossz = 520, $M = 1$, Offset = 1480

IP	Data
20	500

Hossz = 1500, $M = 1$, Offset = 1980

IP	Data
20	1480

Hossz = 360, $M = 0$, Offset = 3460

IP	Data
20	340

- A végponton történik
- $M = 0$, akkor ebből a darabból tudjuk a teljes adatmennyiséget
 - ▣ $\text{Hossz} - \text{IPHDR_hossz} + \text{Offset}$
 - ▣ $360 - 20 + 3460 = 3800$
- Kihívások:
 - ▣ Nem sorrendben beérkező darabok
 - ▣ Duplikátumok
 - ▣ Hiányzó darabok
- Memória kezelés szempontjából egy rémálom...

Fragmentáció

18

□ Az Internet esetén

□ Elosztott és heterogén

- Minden hálózat maga választ MTU-t

□ Kapcsolat nélküli datagram/csomag alapú protokoll

- Minden darab tartalmazza a továbbításhoz szükséges összes információt
- A darabok függetlenül kerülnek leszállításra, akár különböző útvonalon keresztül

□ Legjobb szándék elve szerint (best effort)

- A router-ek és a fogadó is eldobhat darabokat
- Nem követelmény a küldő értesítése a „hibáról”

□ A legtöbb feladat a végpontra hárul

- Csomag helyreállítása a darabokból

Fregmantáció a valóságban

19

- ❑ A fragmentáció költséges
 - ▣ Memória és CPU költség a csomag visszaállításához
 - ▣ Ha lehetséges, el kell kerülni
- ❑ MTU felderítő protokoll
 - ▣ Csomagküldés a “don’t fragment” flag bittel
 - ▣ Folyamatosan csökkentjük a csomag méretét, amíg egy meg nem érkezik
 - ▣ Lehetséges “can’t fragment” hiba egy routertől, ami közvetlenül tartalmazza az adott hálózatban használt MTU-t
- ❑ Darabok kezelését végző router
 - ▣ Gyors, specializált hardver megoldás
 - ▣ Dedikált erőforrás a darabok kezeléséhez

IPv6

Fogyó IPv4 címek

21

- ❑ Probléma: az IPv4 címtartomány túl kicsi
 - ❑ $2^{32} = 4,294,967,296$ lehetséges cím
 - ❑ Ez kevesebb mint egy emberenként
- ❑ A világ egy részén már nincs kiosztható IP blokk
 - ❑ IANA az utolsó /8 blokkot 2011-ben osztotta ki

Régió	Regional Internet Registry (RIR)	Utolsó IP blokk kiosztása
Asia/Pacific	APNIC	April 19, 2011
Europe/Middle East	RIPE	September 14, 2012
North America	ARIN	13 Jan 2015 (Projected)
South America	LACNIC	13 Jan 2015 (Projected)
Africa	AFRINIC	17 Jan 2022(Projected)

IPv6

22

- IPv6, 1998(!)-ban mutatták be
 - ▣ 128 bites címek
 - ▣ $4.8 * 10^{28}$ cím/ember
- Cím formátum
 - ▣ 16 bites értékek 8 csoportba sorolva (':'-tal elválasztva)
 - ▣ Minden csoport elején szereplő nulla sorozatok elhagyhatók
 - ▣ Csupa nulla csoportok elhagyhatók, ekkor '::'

2001:0db8:0000:0000:0000:ff00:0042:8329

2001:db8:0:0:0:ff00:42:8329

2001:db8::ff00:42:8329

IPv6

23

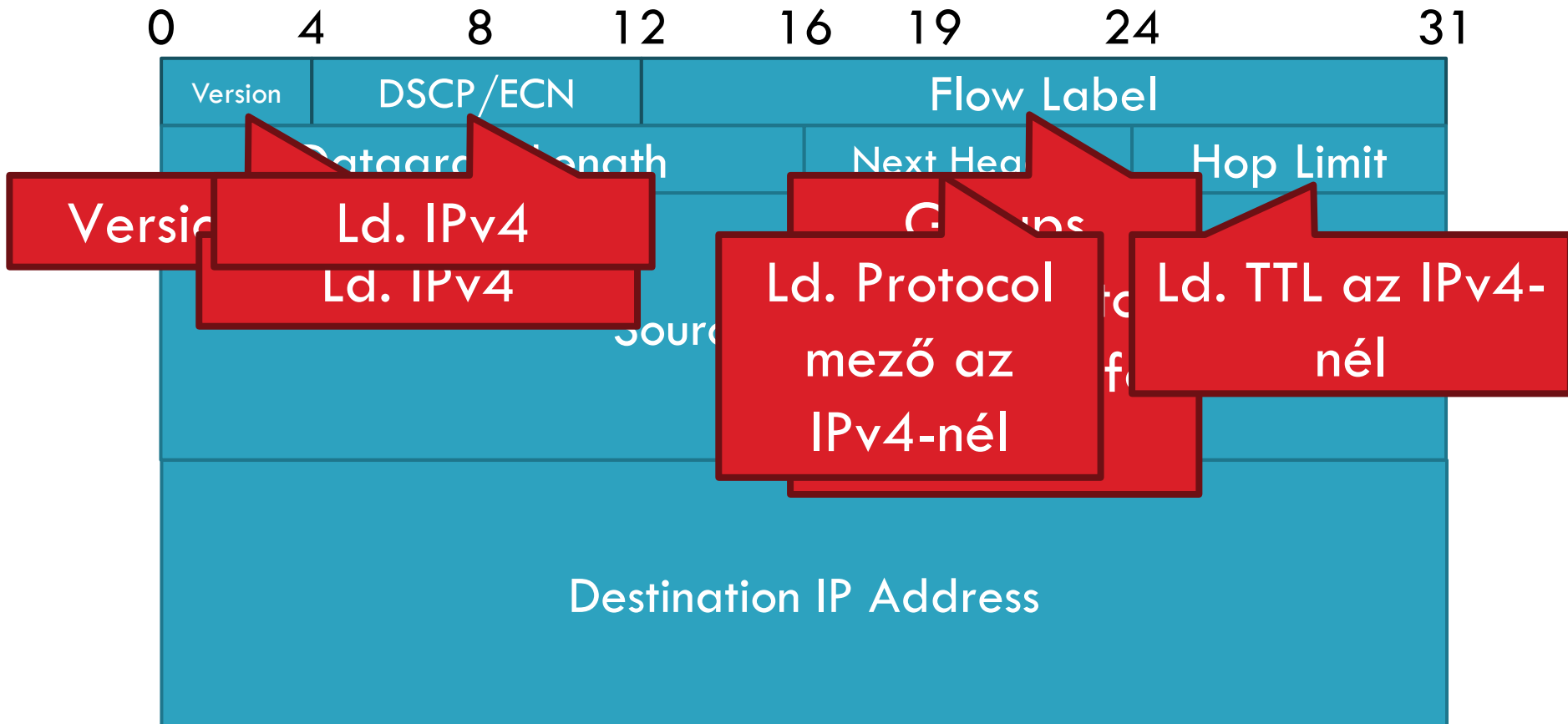
- Ki tudja a localhost IPv4 címét?
 - ▣ 127.0.0.1

- Mi ez az IPv6 esetén?
 - ▣ ::1

IPv6 Fejléc

24

- Az IPv4-nél látott kétszerese (320 bit vs. 160 bit)



Különbségek az IPv4-hez képest

25

- ❑ Számos mező hiányzik az IPv6 fejlécből
 - ▣ Fejléc hossza – beépült a Next Header mezőbe
 - ▣ Checksum – nem igazán használták már korábban se...
 - ▣ Identifier, Flags, Offset
 - IPv6 routerek nem támogatják a fragmentációt
 - Az állomások MTU felderítést alkalmaznak
- ❑ Az Internet felhasználás súlypontjainak megváltozása
 - ▣ Napjaink hálózatai sokkal homogénebbek, mint azt kezdetben gondolták
 - ▣ Azonban a routing költsége és bonyolultsága domináns

Teljesítmény növekmény

26

- ❑ Nincsenek ellenőrizendő kontrollösszegek (checksum)
- ❑ Nem szükséges a fragmentáció kezelése a routerekben
- ❑ Egyszerű routing tábla szerkezet
 - ▣ A cím tér nagy
 - ▣ Nincs szükség CIDR-re (de aggregáció szükséges)
 - ▣ A szabványos alhálózat méret 2^{64} cím
- ❑ Egyszerű auto-konfiguráció
 - ▣ Neighbor Discovery Protocol

További IPv6 lehetőségek

27

□ Forrás Routing

- ▣ Az állomás meghatározhatja azt az útvonalat, amelyen a csomagjait továbbítani szeretné

□ Mobil IP

- ▣ Az állomások magukkal vihetik az IP címüket más hálózatokba
- ▣ Forrás routing használata a csomagok irányításához

□ Privacy kiterjesztések

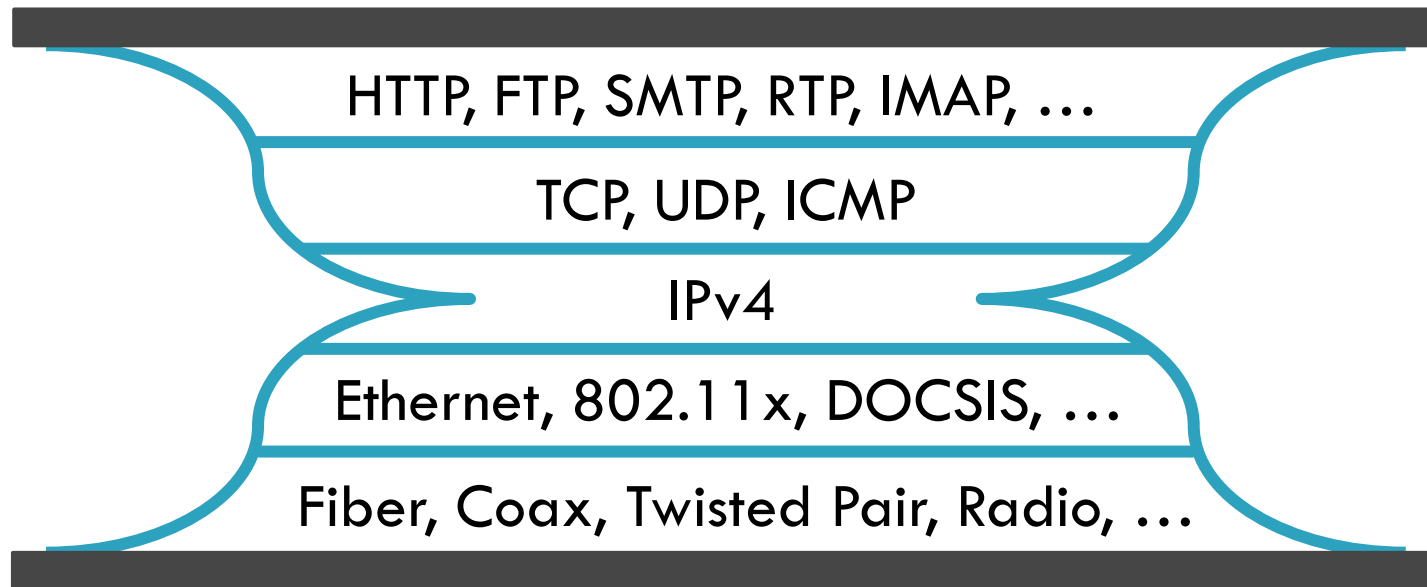
- ▣ Véletlenszerűen generált állomás azonosítók
- ▣ Megnehezíti egy IP egy adott állomáshoz való kapcsolását

□ Jumbograms

- ▣ 4Gb-es datagramok küldése

Bevezetési nehézségek

28



- ❑ IPv6 bevezetése a teljes Internet frissítését jelentené
 - ▣ Minden router, minden hoszt
 - ▣ ICMPv6, DHCPv6, DNSv6
- ❑ 2013: 0.94%-a a Google forgalmának volt IPv6 feletti
- ❑ 2015: ez 2.5%

<https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>

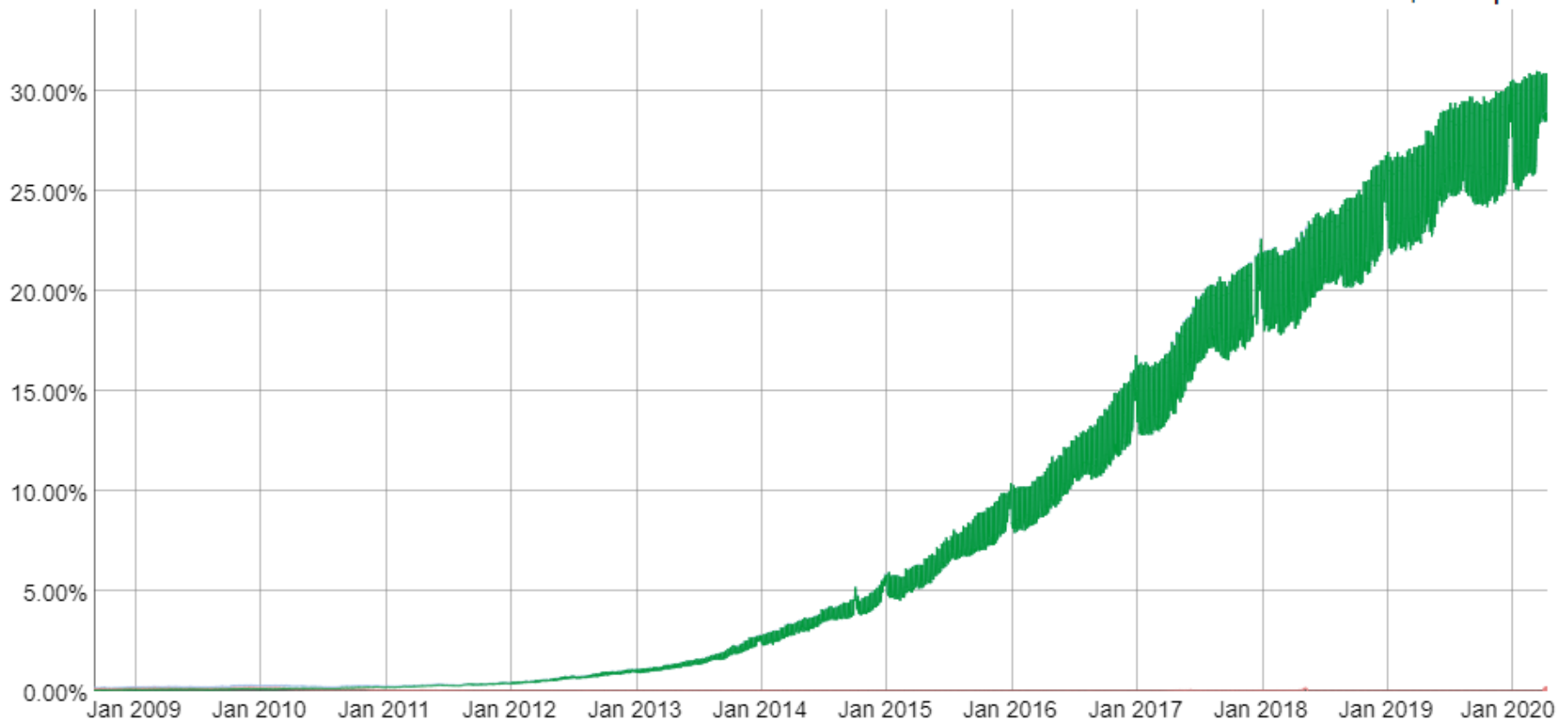
29

IPv6 Adoption

IPv6 Adoption

We are continuously measuring the availability of IPv6 connectivity among Google users. The graph shows the percentage of users that access Google over IPv6.

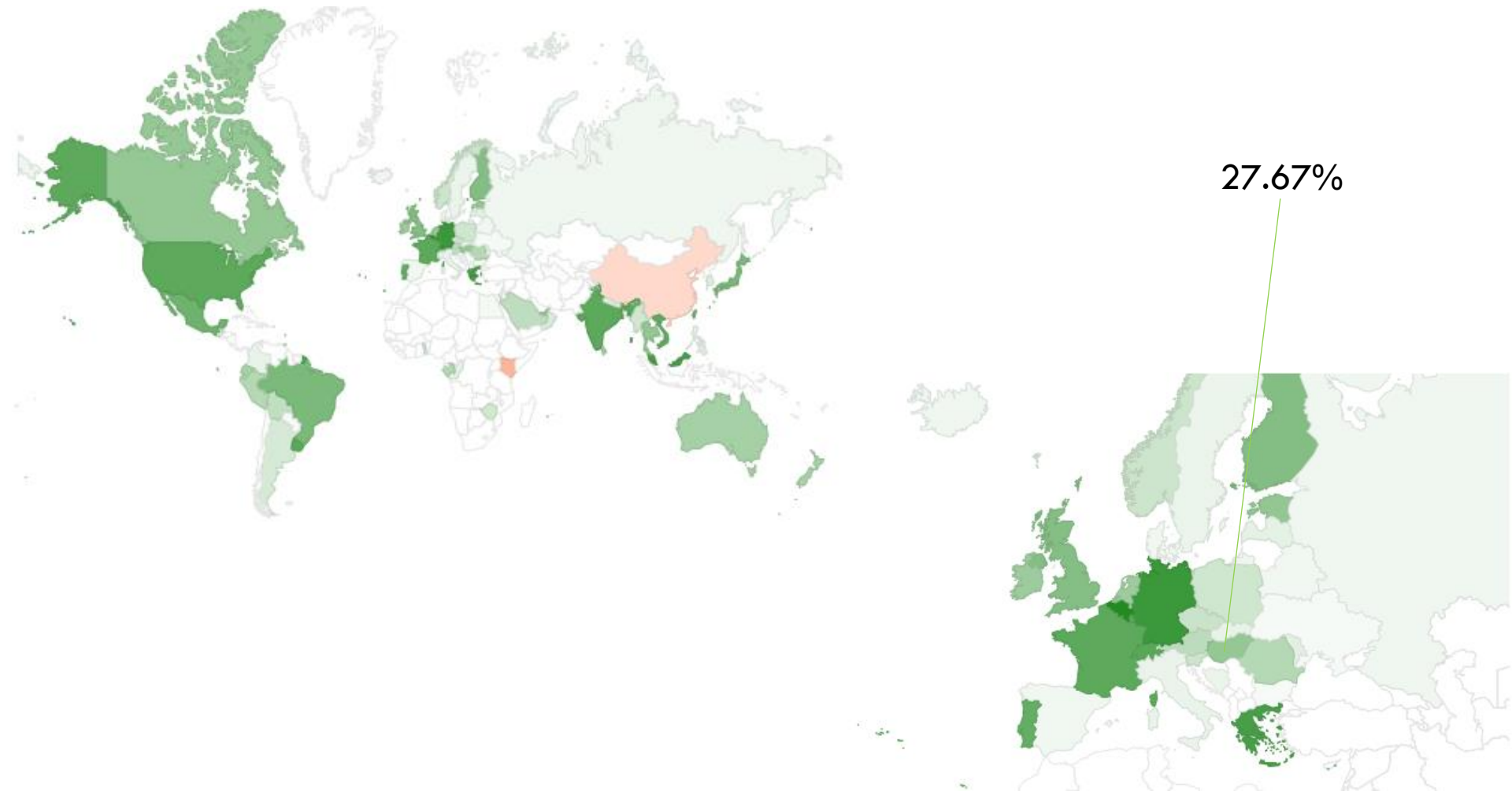
Native: 28.73% 6to4/Teredo: 0.00% Total IPv6: 28.73% | 2020. ápr. 14.



<https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>

30

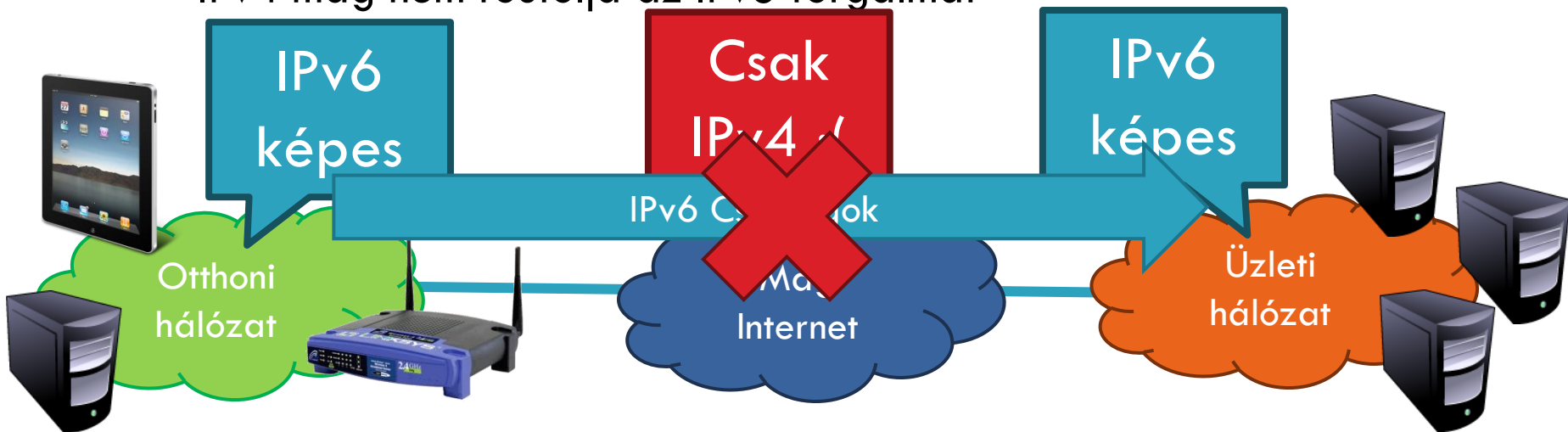
IPv6 Adoption



Átmenet IPv6-ra

31

- Hogyan történhet az átmenet IPv4-ről IPv6-ra?
 - ▣ Napjainkban a legtöbb végpont a hálózat széléken támogatja az IPv6-ot
 - Windows/OSX/iOS/Android mind tartalmaz IPv6 támogatást
 - Az itteni vezeték nélküli access point-ok is valószínűleg IPv6 képesek
 - ▣ Az Internet maga a probléma
 - IPv4 mag nem routolja az IPv6 forgalmat



Átmeneti megoldások

32

- Azaz hogyan routoljunk IPv6 forgalmaz IPv4 hálózat felett?
- Megoldás
 - ▣ Használjunk **tunneleket** az IPv6 csomagok becsomagolására és IPv4 hálózaton való továbbítására
 - ▣ Számos különböző implementáció
 - 6to4
 - IPv6 Rapid Deployment (6rd)
 - Teredo
 - ...

Routing 2. felvonás

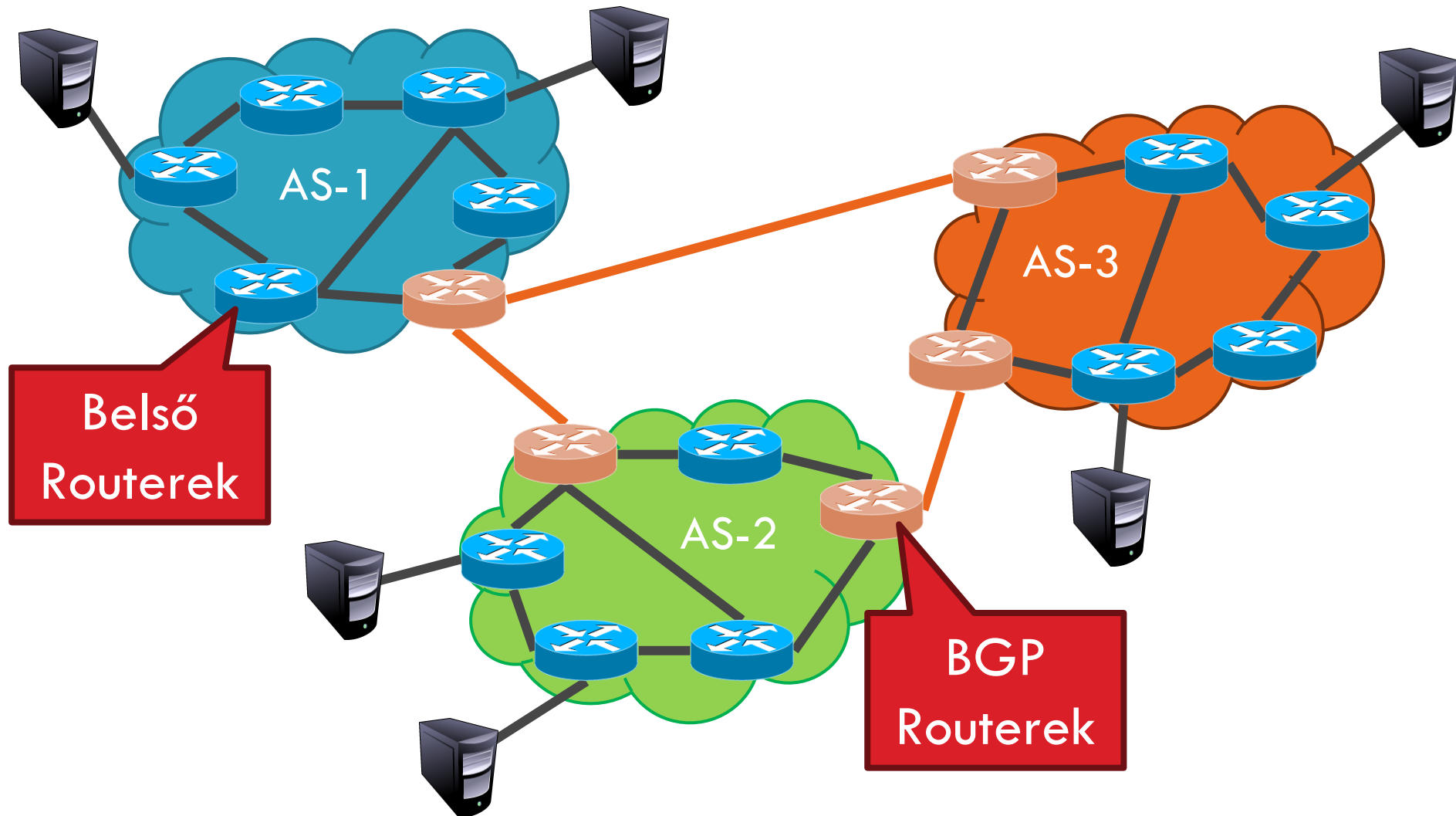
Újra: Internet forgalom irányítás

34

- ❑ Az Internet egy két szintű hierarchiába van szervezve
- ❑ Első szint – autonóm rendszerek (AS-ek)
 - ▣ AS – egy adminisztratív tartomány alatti hálózat
 - ▣ Pl.: ELTE, Comcast, AT&T, Verizon, Sprint, ...
- ❑ AS-en belül ún. **intra-domain** routing protokollokat használunk
 - ▣ Distance Vector, pl.: Routing Information Protocol (RIP)
 - ▣ Link State, pl.: Open Shortest Path First (OSPF)
- ❑ AS-ek között ún. **inter-domain** routing protokollokat
 - ▣ Border Gateway Routing (BGP)
 - ▣ Napjainkban: BGP-4

AS példa

35



Miért van szükség AS-ekre?

36

- ❑ A routing algoritmusok **nem elég hatékonyak** ahhoz, hogy a teljes Internet topológián működjenek
- ❑ Különböző szervezetek **más-más politika** mentén akarnak forgalom irányítást (policy)
- ❑ Lehetőség, hogy a szervezetek **elrejtsek a belső hálózatuk szerkezetét**
- ❑ Lehetőség, hogy a szervezetek **eldöntsék**, hogy mely más szervezeteken keresztül forgalmazzanak

- Egyszerűbb az útvonalak számítása
- Nagyobb rugalmasság
- Nagyobb autonómia/függetlenség

AS számok

37

- Minden AS-t egy AS szám (ASN) azonosít
 - ▣ 16 bites érték (a legújabb protokollok már 32 bites azonosítókat is támogatnak)
 - ▣ 64512 – 65535 más célra foglalt
- Jelenleg kb. 40000 AS szám létezik
 - ▣ AT&T: 5074, 6341, 7018, ...
 - ▣ Sprint: 1239, 1240, 6211, 6242, ...
 - ▣ ELTE: 2012
 - ▣ Google 15169, 36561 (formerly YT), + others
 - ▣ Facebook 32934
 - ▣ Észak-amerikai AS-ek → <http://ftp.arin.net/info/asn.txt>

Inter-Domain Routing

38

- ❑ A globális összeköttetéshez szükséges!!!
 - ▣ Azaz minden AS-nek ugyanazt a protokollt kell használnia
 - ▣ Szemben az intra-domain routing-gal
- ❑ Milyen követelmények vannak?
 - ▣ Skálázódás
 - ▣ Rugalmas útvonal választás
 - Költség
 - Forgalom irányítás egy hiba kikerülésére
- ❑ Milyen protokollt válasszunk?
 - ▣ link state vagy distance vector?
 - ▣ Válasz: A BGP egy **path vector (útvonal vektor)** protokoll

Border Gateway Protocol

39

ÁLTALÁNOS

AS-ek közötti (*exterior gateway protocol*).

Eltérő célok vannak forgalomirányítási szempontból, mint az AS-eken belüli protokollnál.

Politikai szempontok szerepet játszhatnak a forgalomirányítási döntésben.

NÉHÁNY PÉLDA FORGALOMIRÁNYÍTÁSI KORLÁTOZÁSRA

- Ne legyen átmenő forgalom bizonyos AS-eken keresztül.
- Csak akkor haladjunk át Albánián, ha nincs más út a célhoz.
- Az IBM-nél kezdődő illetve végződő forgalom ne menjen át a Microsoft-on.
- A politikai jellegű szabályokat kézzel konfigurálják a BGP-routeren.
- A BGP router szempontjából a világ AS-ekből és a közöttük átmenő vonalakból áll.

DEFINÍCIÓ

- Két AS összekötött, ha van köztük a BGP-router-eiket összekötő él.

Border Gateway Protocol

40

HÁLÓZATOK CSOPORTOSÍTÁSA AZ ÁTMENŐ FORGALOM SZEMPONTJÁBÓL

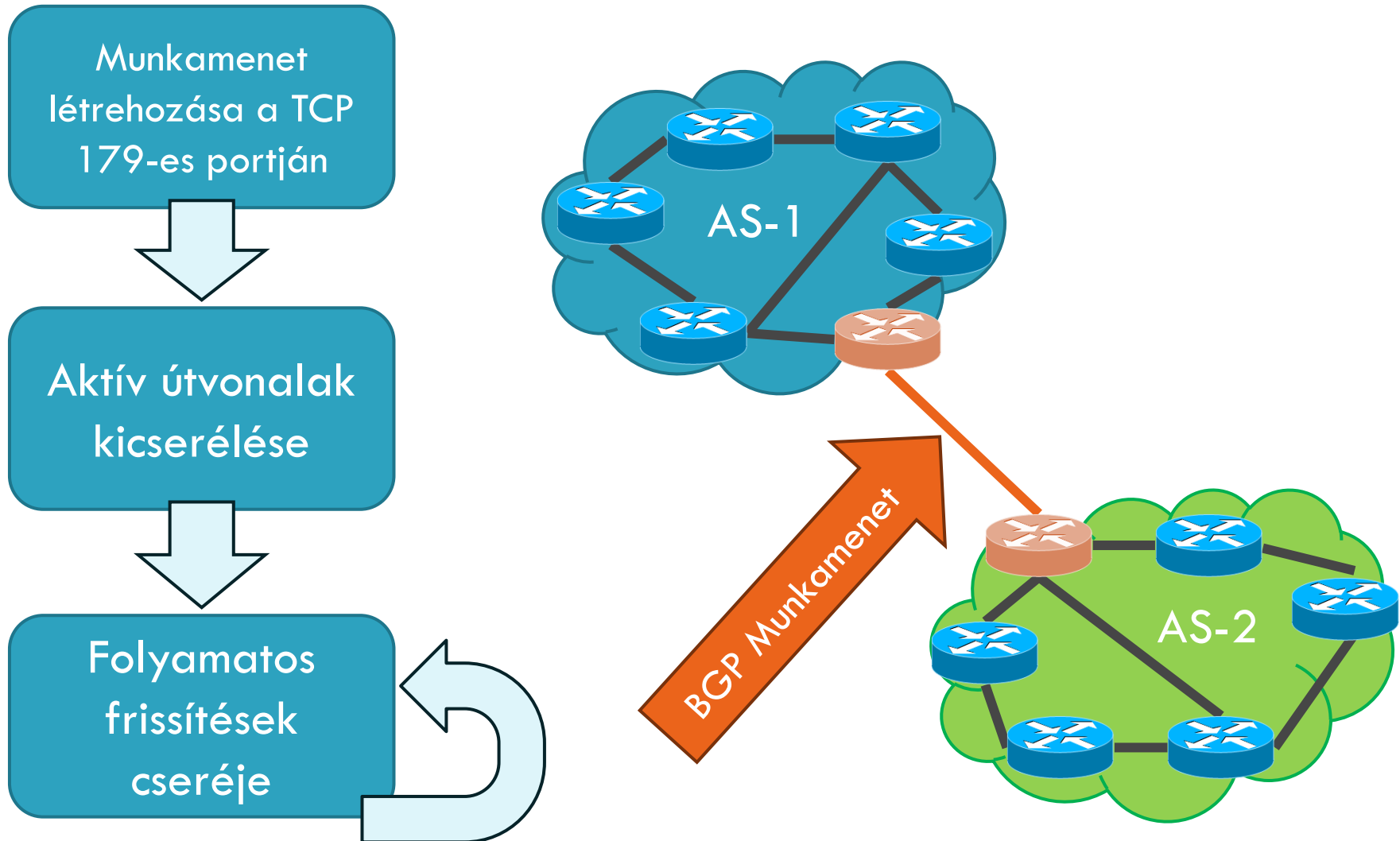
1. **Csonka hálózatok**, amelyeknek csak egyetlen összeköttetésük van a BGP gráffal.
2. **Többszörösen bekötött hálózatok**, amelyeket használhatna az átmenő forgalom, de ezek ezt megtagadják.
3. **Tranzit hálózatok**, amelyek némi megkötéssel, illetve általában fizetség ellenében, készek kezelni harmadik fél csomagjait.

JELLEMZŐK

- A BGP router-ek páronként TCP-összeköttetést létrehozva kommunikálnak egymással.
- A BGP alapvetően távolságvektor protokoll, viszont a router nyomon követi a használt útvonalat, és az útvonalat mondja meg a szomszédjainak.

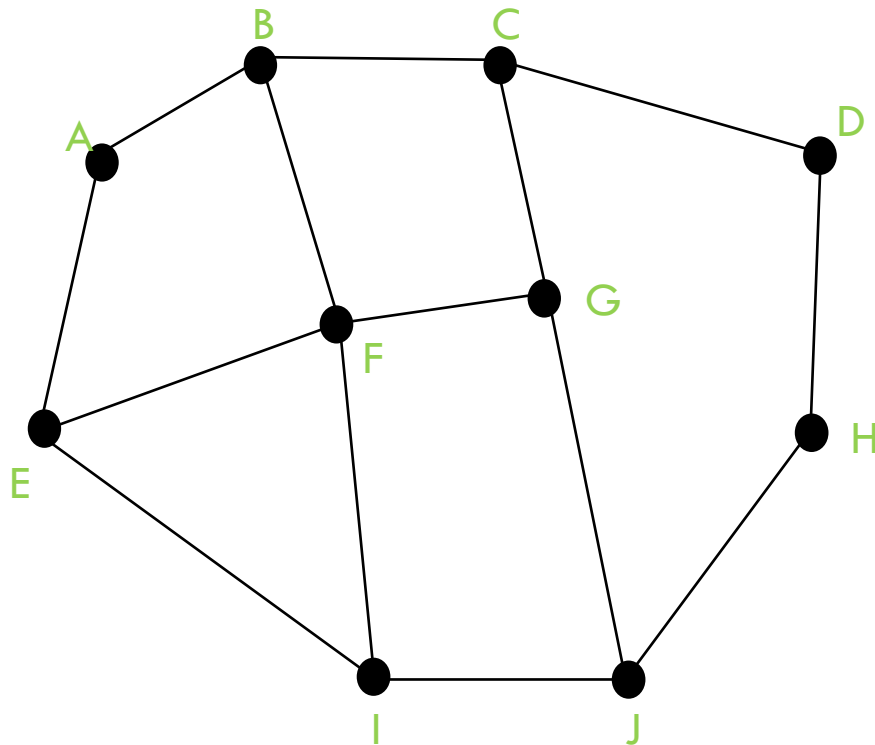
BGP egyszerűsített működése

41



Border Gateway Protocol

42



A *F* által a szomszédjaitól kapott *D*-re vonatkozó információ az alábbi:

B-től: „Én a *BCD*-t használom”

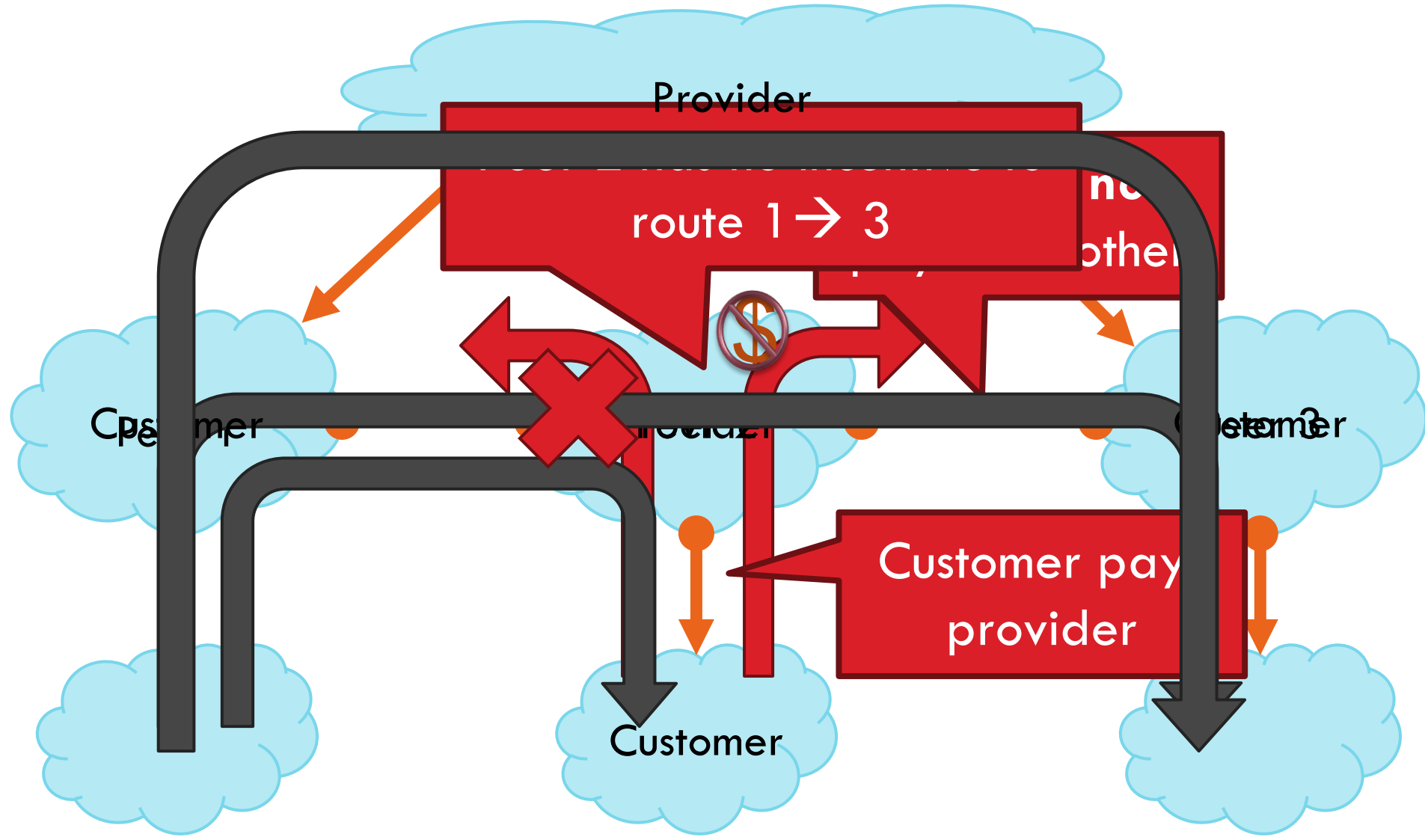
G-től: „Én a *GCD*-t használom”

I-től: „Én a *IFGCD*-t használom”

E-től: „Én a *EFGCD*-t használom”

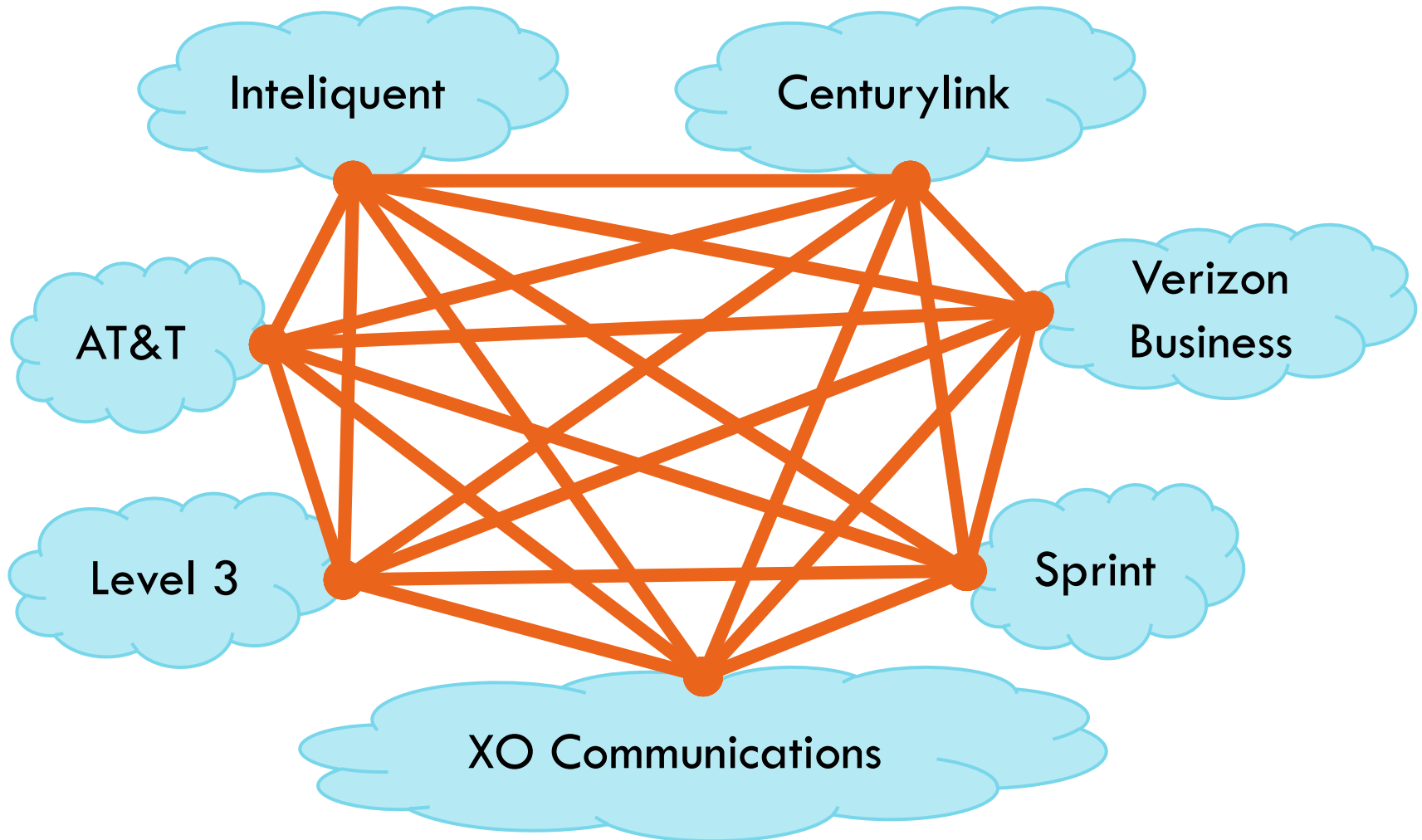
BGP kapcsolatok

43



Tier-1 ISP Peering

44



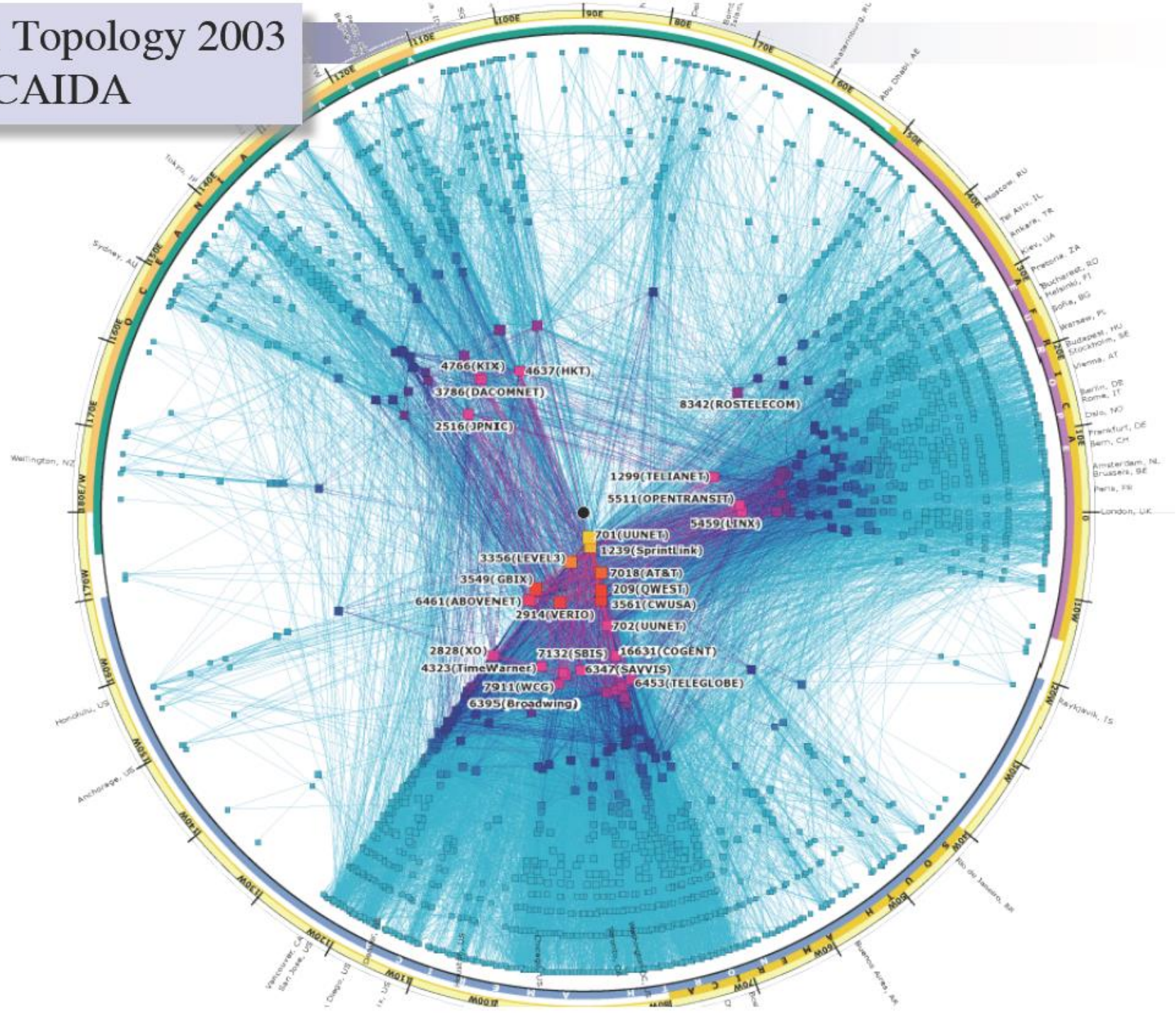
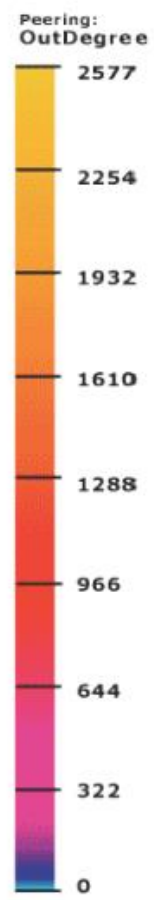
Tier-1 ISP Peering

45



AS-level Topology 2003

Source: CAIDA

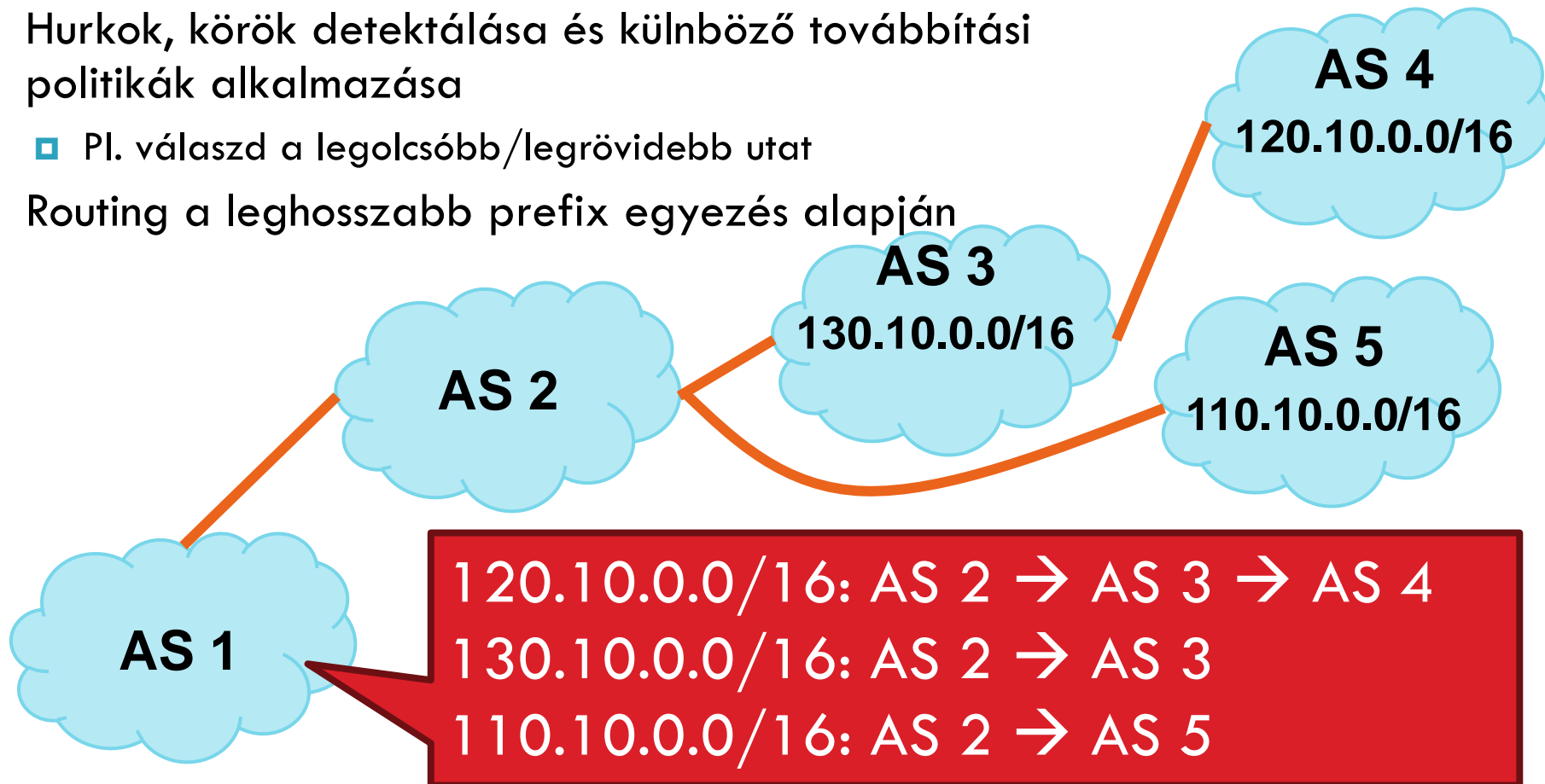


Útvonalvektor protokoll

Path Vector Protocol

47

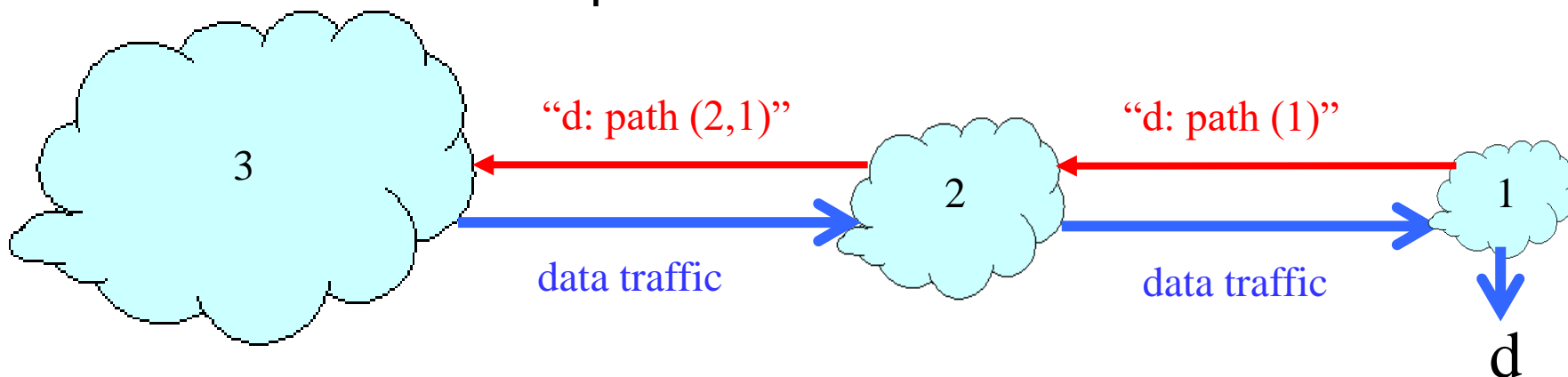
- AS-útvonat: AS-ek sorozata melyeken áthalad az útvonat
 - ▣ Hasonló a távolságvektorhoz, de további információt is tartalmaz
- Hurkok, körök detektálása és különböző továbbítási politikák alkalmazása
 - ▣ Pl. válaszd a legolcsóbb/legrövidebb utat
- Routing a leghosszabb prefix egyezés alapján



Útvonalvektor protokoll

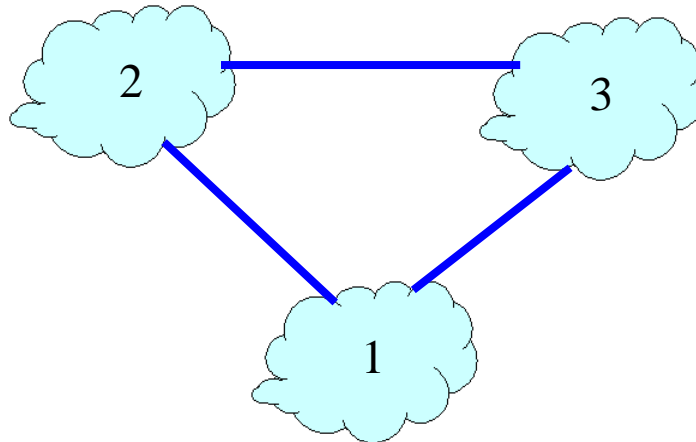
Path Vector Protocol

- A távolságvektor protokoll kiterjesztése
 - ▣ Rugalmas továbbítási politikák
 - ▣ Megoldja a végtelenig számolás problémáját
 - ▣ Útvonalvektor: Célállomás, következő ugrás (nh), AS útvonal
- Ötlet: a teljes útvonalat meghirdeti
 - ▣ Távolságvektor: távolság metrika küldése célállomásonként
 - ▣ Útvonalvektor: a teljes útvonal küldése célállomásonként



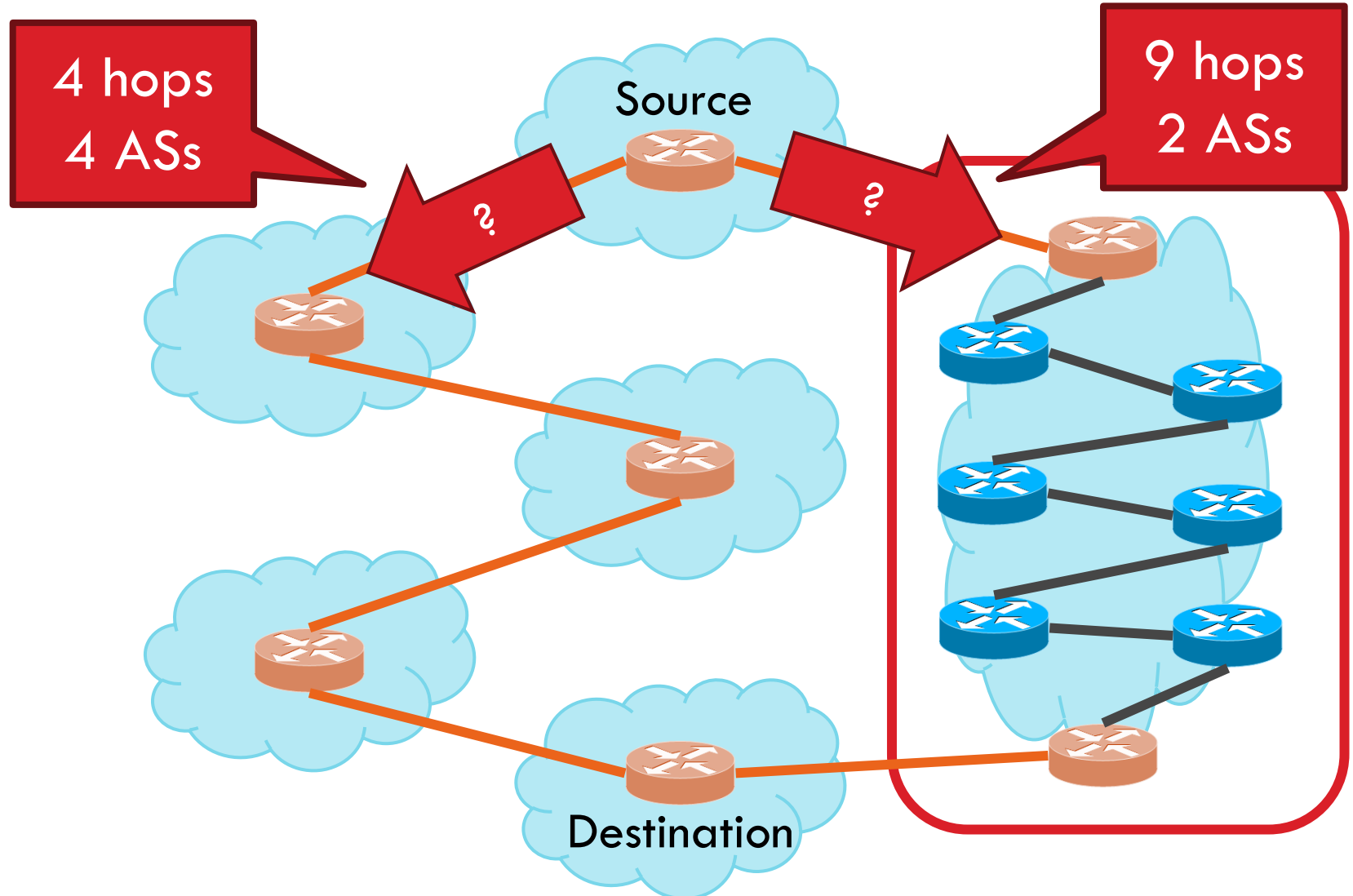
Rugalmas forgalomirányítás

- ❑ Minden állomás hely/saját útválasztási politikát alkalmaz
 - ▣ Útvonal kiválasztás: Melyik útvonalat használjuk?
 - ▣ Útvonal export: Melyik útvonalat hirdessük meg?
- ❑ Példák
 - ▣ A 2. állomás által preferált útvonal: “2, 3, 1” (nem a “2, 1”)
 - ▣ Az 1. állomás nem hagyja, hogy a 3. állomás értesüljön az “1, 2” útvonalról



Shortest AS Path \neq Shortest Path

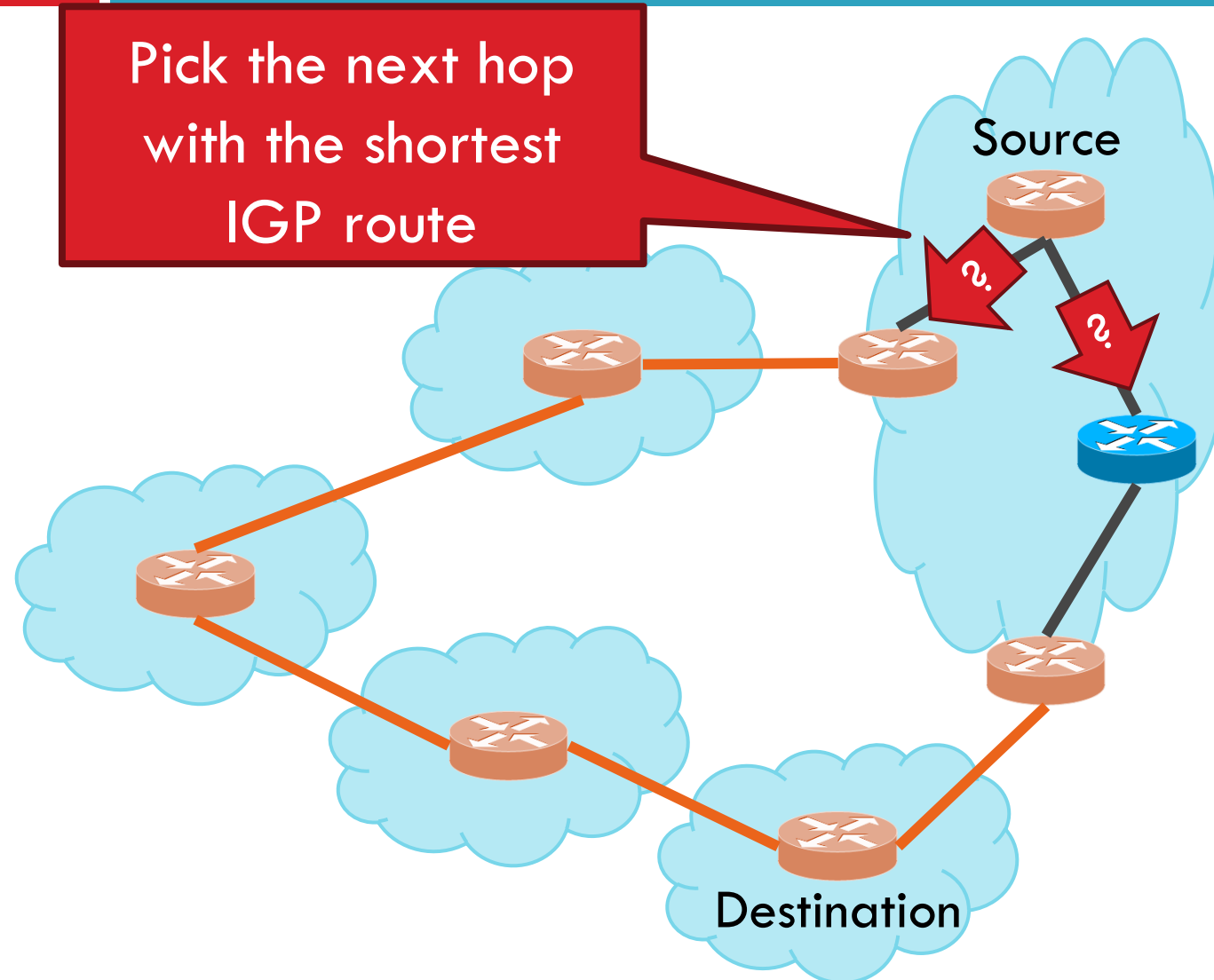
50



Hot Potato Routing

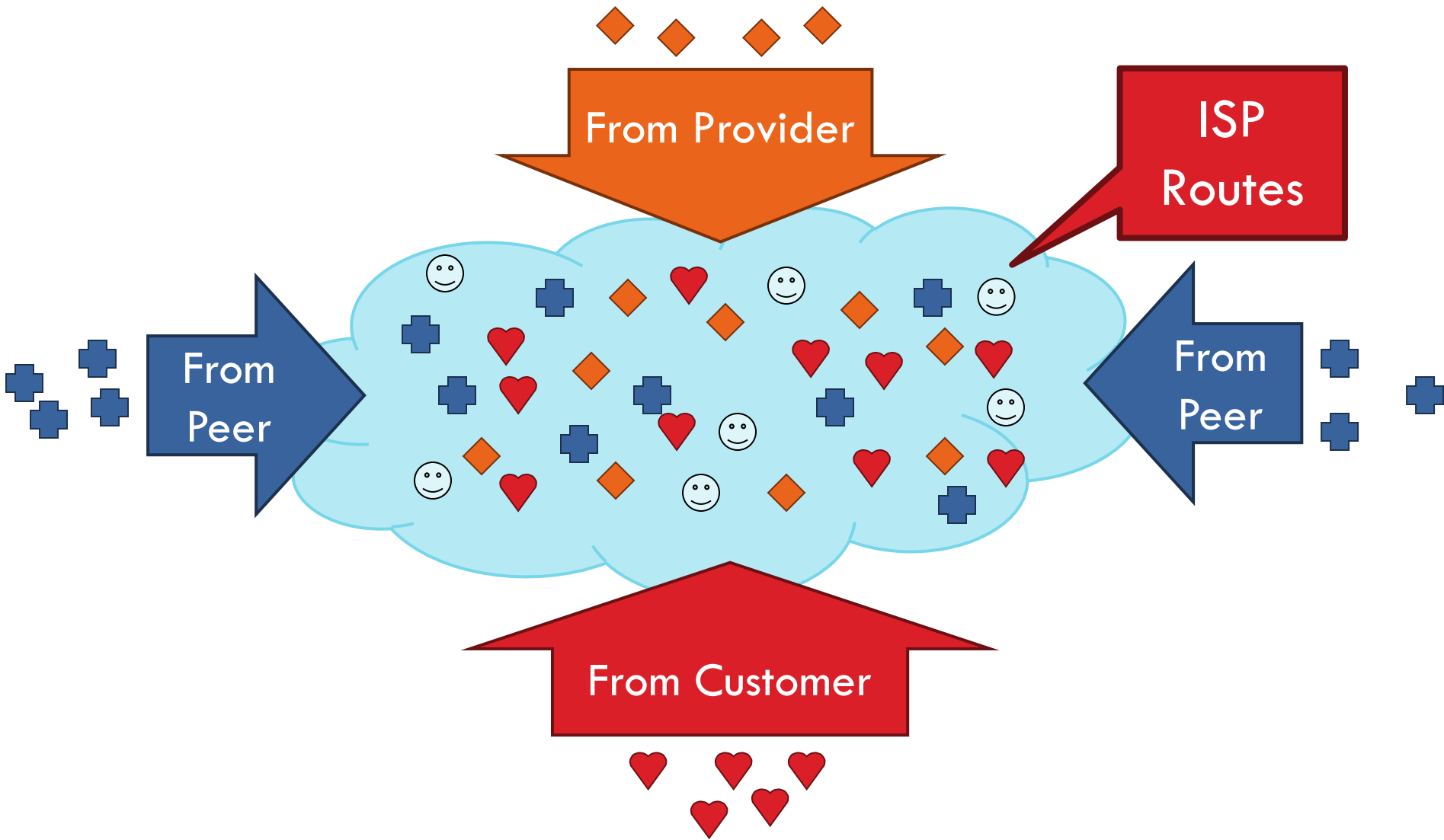
51

Pick the next hop with the shortest IGP route



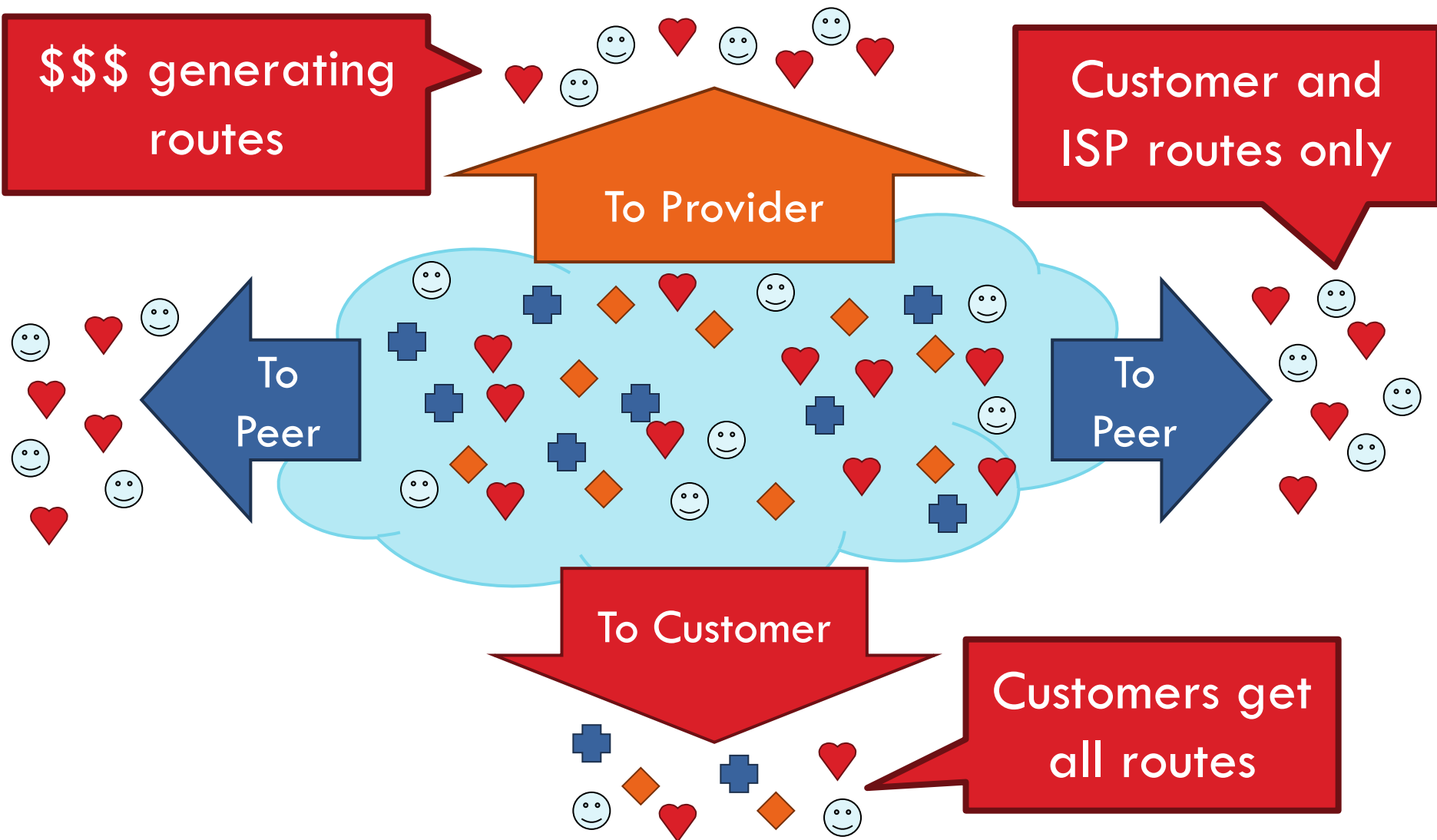
Importing Routes

52



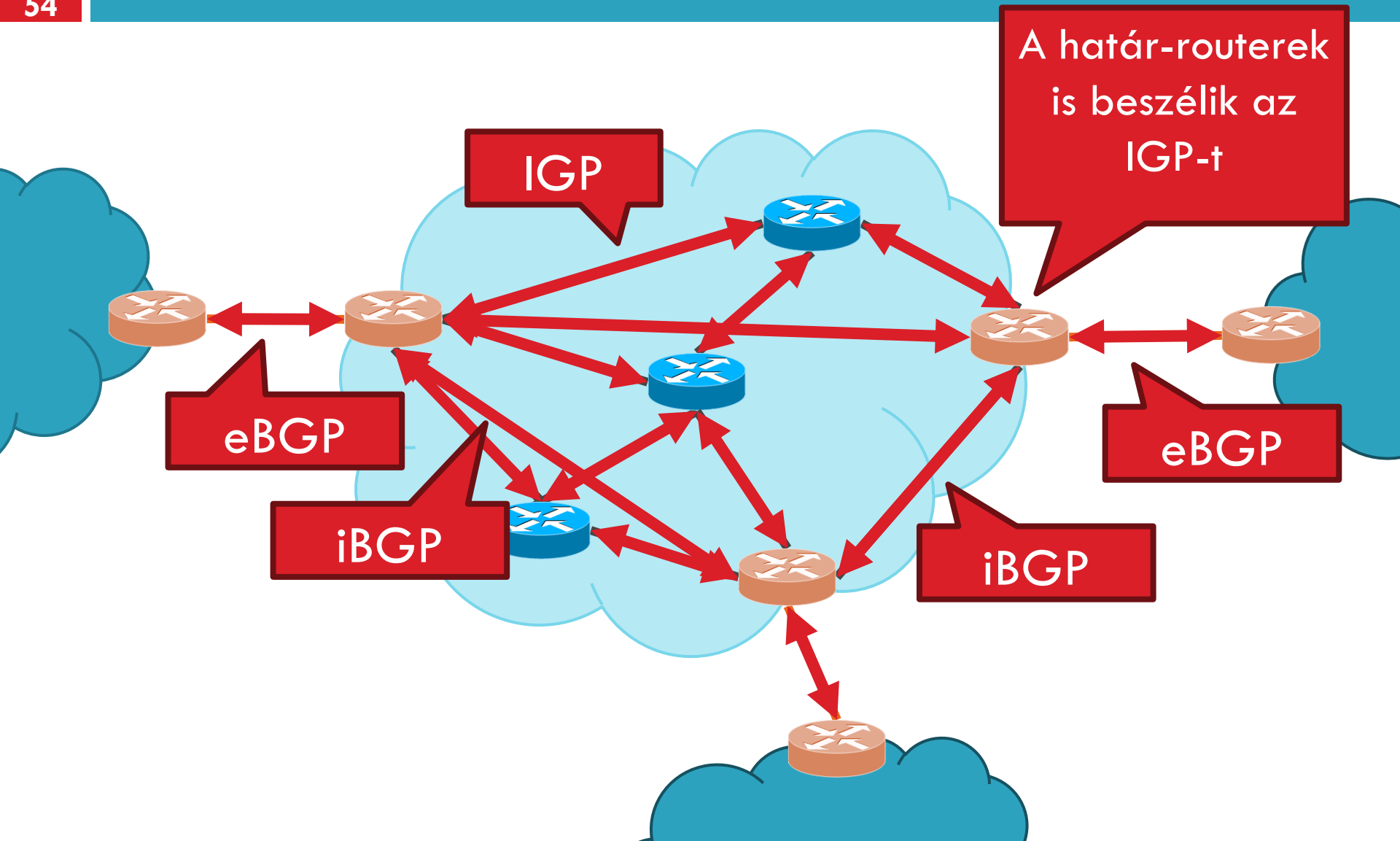
Exporting Routes

53



BGP

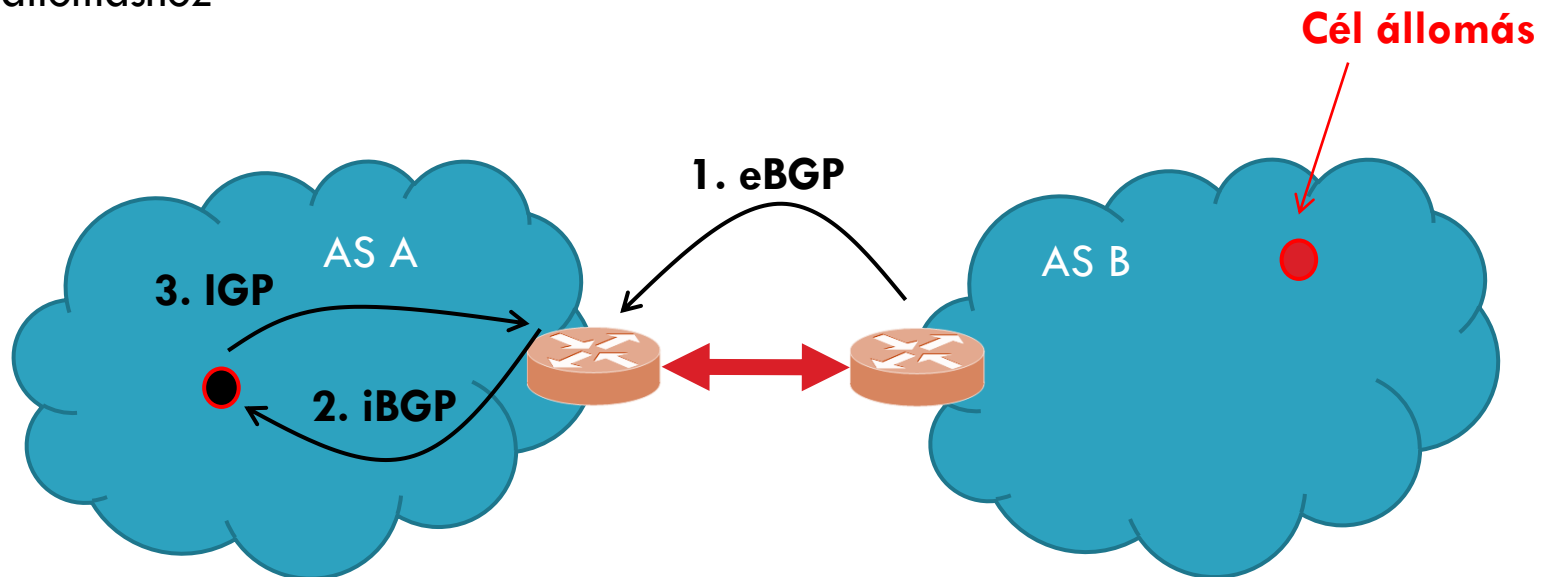
54



IGB – iBGP – eBGP

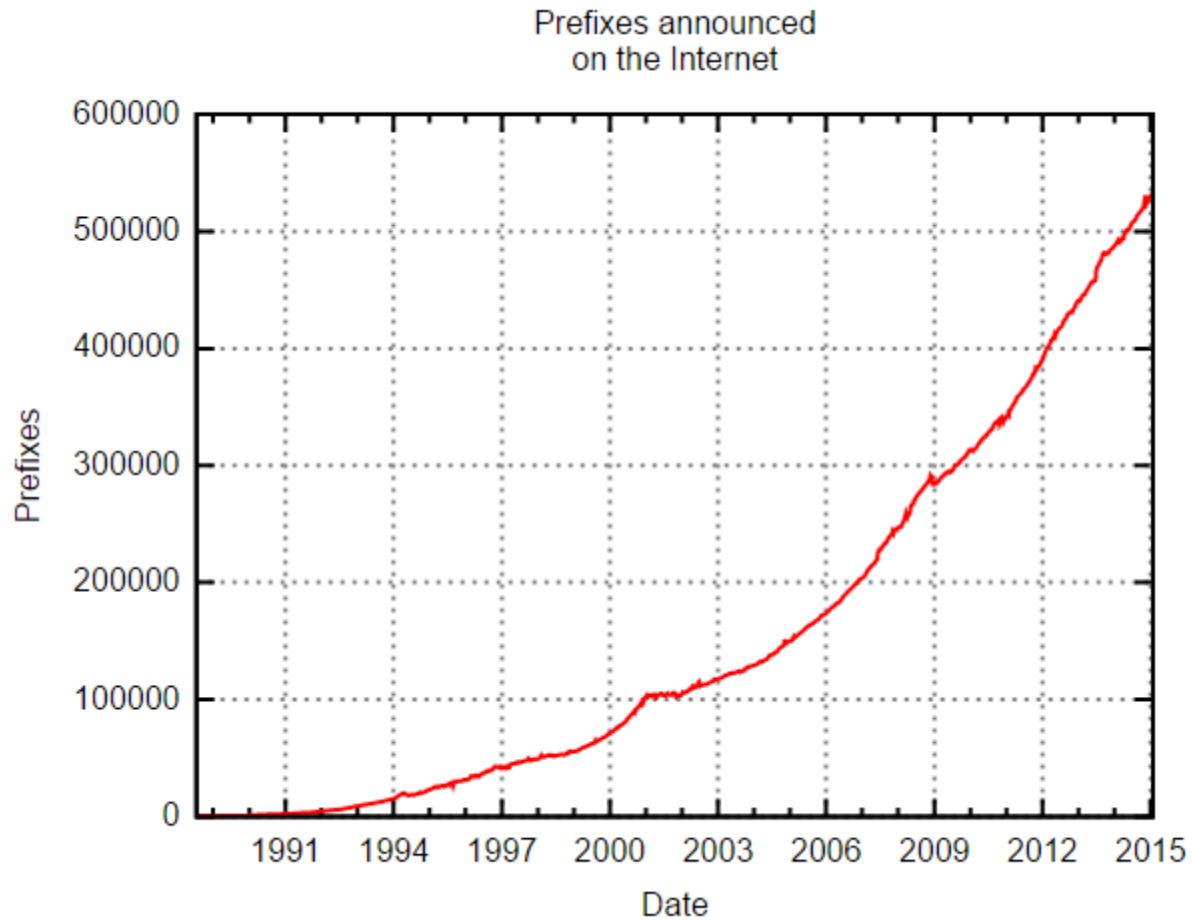
55

- eBGP: Routing információk cseréje autonóm rendszerek között
- IGP: útválasztás egy AS-en belül belső célállomáshoz
- iBGP: útválasztás egy AS-en belül egy külső célállomáshoz
- 1. eBGP – A megismeri az útvonal a célhoz, ehhez eBGP-t használunk
- 2. iBGP – A-ban levő router megtanulja a célhoz vezető utat az iBGP segítségével (a köv. ugrás a határ router)
- 3. IGP – IGP segítségével eljuttatja a csomagot az A határrouteréig



Forrás: wikipedia

56



Köszönöm a figyelmet!