

A modern building with a distinctive orange and silver facade, featuring large rectangular panels and a curved section. The building is set against a clear blue sky.

Hálózati Technológiák és Alkalmazások

Vida Rolland, BME TMIT

2019. október 22.



Routing - Router

- **Routing (útválasztás)**
 - Folyamat, mely során a hálózati protollok csomagjai a célállomáshoz jutnak
 - A routing tábla és a megvalósított protollok szerint a routerek meghatározzák a beérkező csomagok útvonalát
- **Router (útválasztó)**
 - Útválasztást végző csomópont
 - Egymással kommunikálnak
 - A szomszédoktól szerzett információkat gyűjtik és tárolják
 - **Útválasztó táblákat** hoznak létre és tartanak karban
 - Tartalmuk: <célcím, kimenő interfész> párok



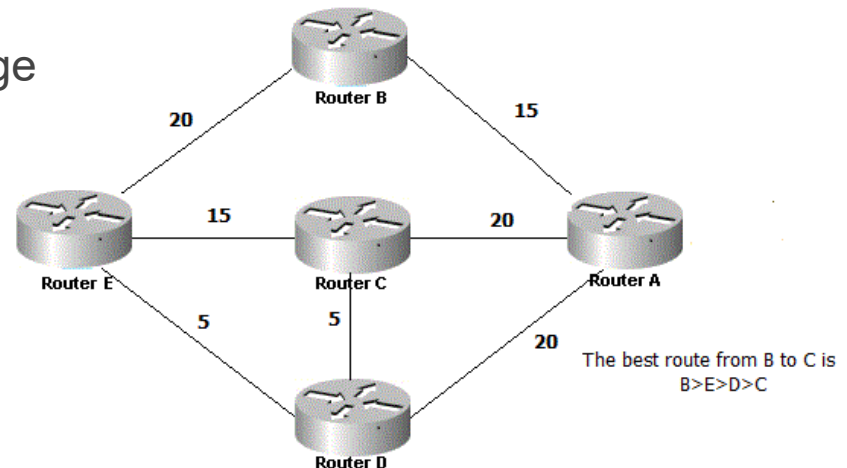
Router

- Router lehet
 - operációs rendszer routing modulja
 - dedikált eszköz (nem csak szoftver, hanem hardver támogatottsággal is rendelkezik) - gyorsabb
 - Cisco, Juniper, Alcatel-Lucent, HP, Huawei, NEC, etc.
- **Router kapacitása**
 - hány csomagot képes továbbítani időegység alatt (packet/s - PPS)
 - Pl. HP 8800 router – 864 Mpps (2012), 3M bejegyzés a routing táblában



Routerek feladata

- Az optimális útvonal kiválasztása az adott csomag számára
- Alábbi szempontok (metrikák) szerint:
 - az út hossza (hány linken vezet át)
 - költség
 - az adott útvonal terheltsége
 - sávszélesség
 - megbízhatóság
 - késleltetés



IP Routing – útvonal keresés

- Routing protokoll által gyűjtött információk alapján
- Több alternatív útvonal lehet
 - A legjobb útvonal tárolva a **forwarding** táblában
- A döntéseket periodikusan frissíti, vagy ha változik a topológia (event driven)
- Döntések:
 - topológia, szabályok és metrikák (hop count, filtering, delay, bandwidth, etc.)

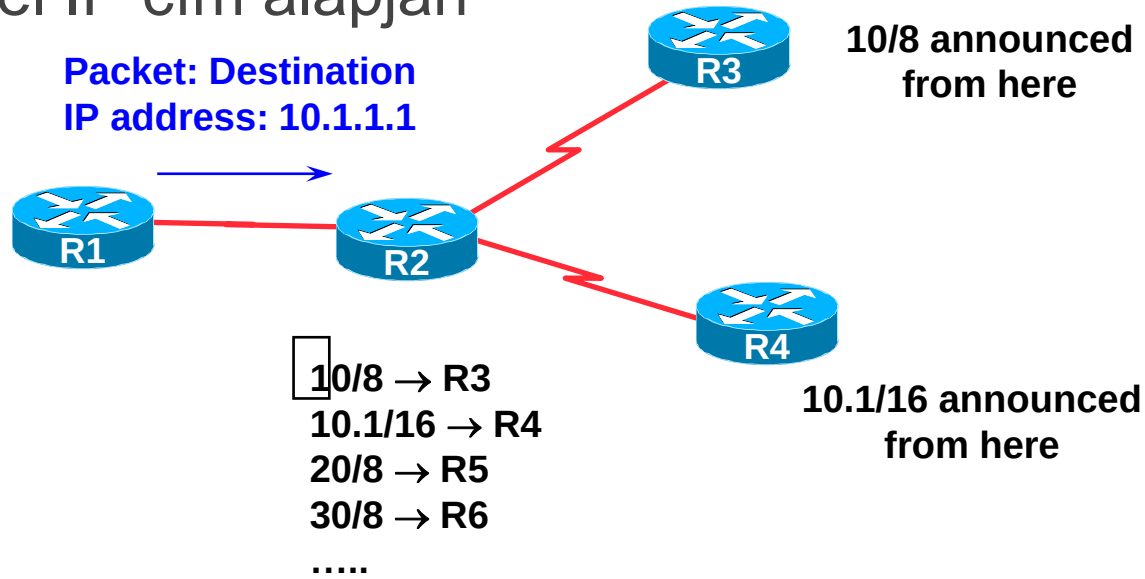
IP route „lookup”-a legjobb útvonal kiválasztása

- Cél IP cím alapján történik
- **“longest prefix match”** routing
 - A pontosabb (hosszabb prefix-el rendelkező) útvonalat választja
 - **Példa:** ha a cél IP 10.1.1.1/32, akkor inkább annak a routernek küldjük aki 10.1/16 prefix-el jelentette mint annak aki 10/8-al.

IP route lookup

- Cél IP cím alapján

Packet: Destination
IP address: 10.1.1.1

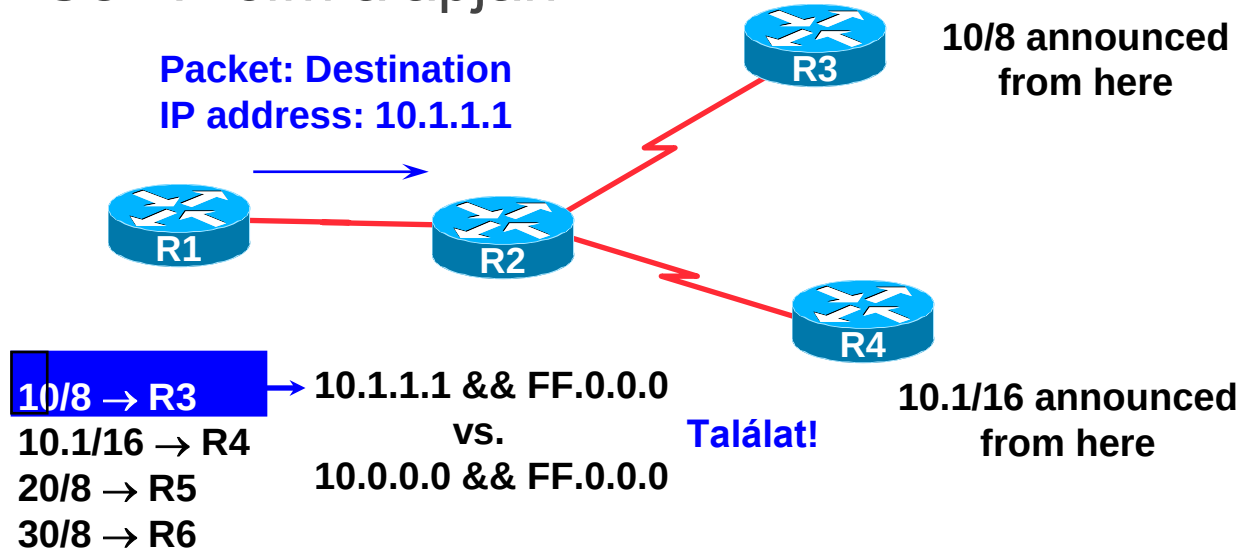


R2' s IP routing table

Hálózati technológiák és alkalmazások

„leghosszabb találát” routing

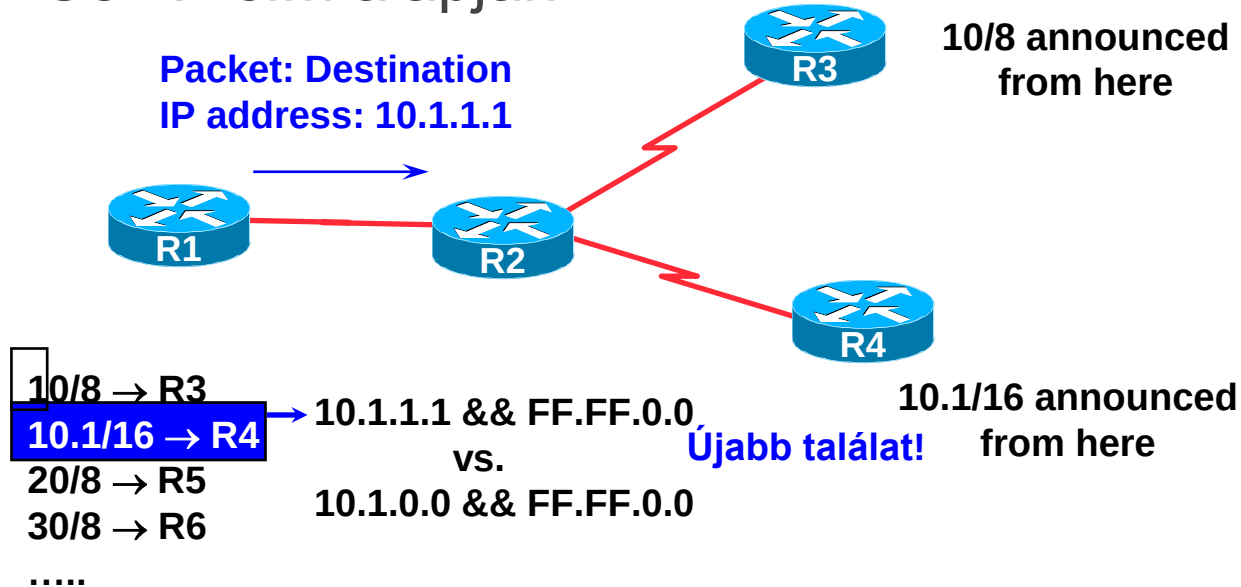
- Cél IP cím alapján



.....
R2's IP routing table
2019.10.22

„leghosszabb találat” routing

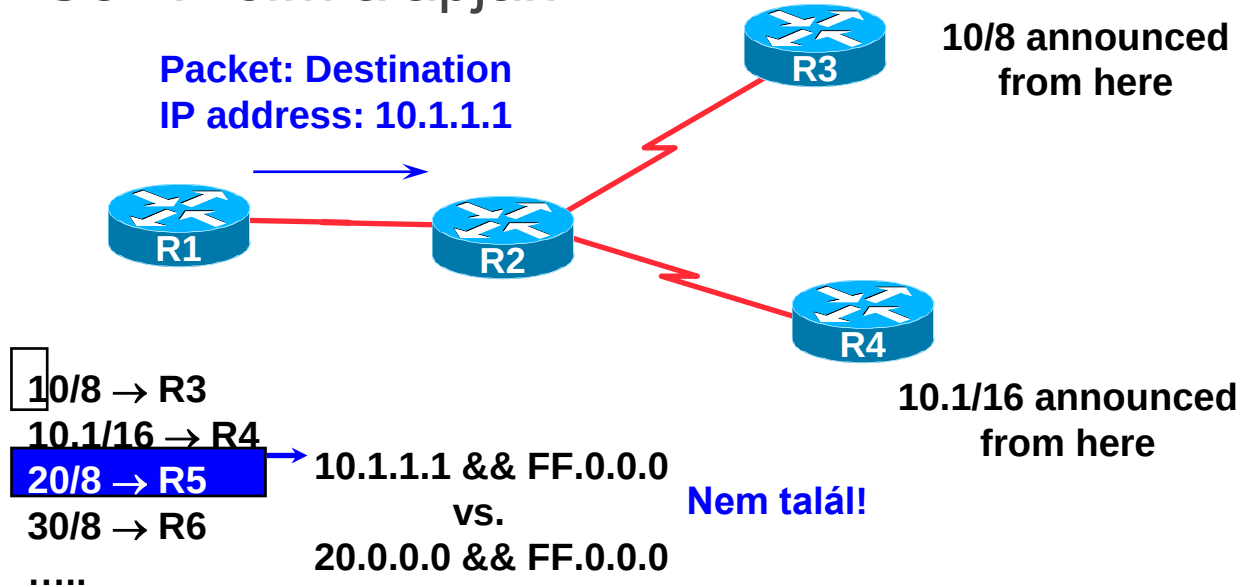
- Cél IP cím alapján



R2's IP routing table
2019.10.22

„leghosszabb találát” routing

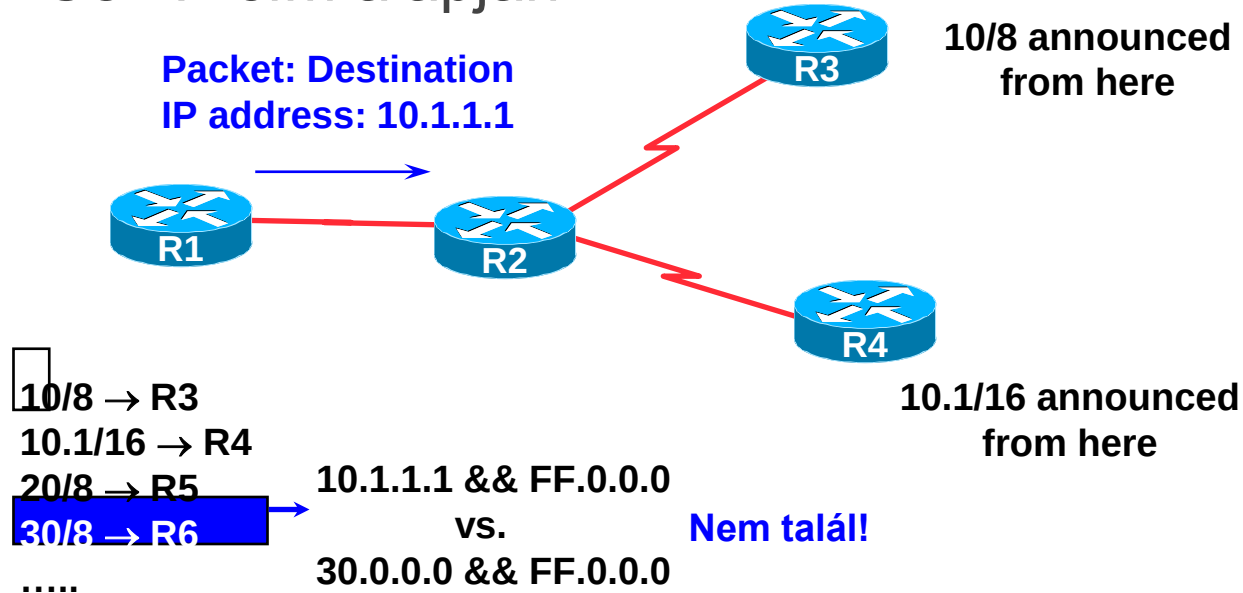
- Cél IP cím alapján



R2's IP routing table
2019.10.22

„leghosszabb találát” routing

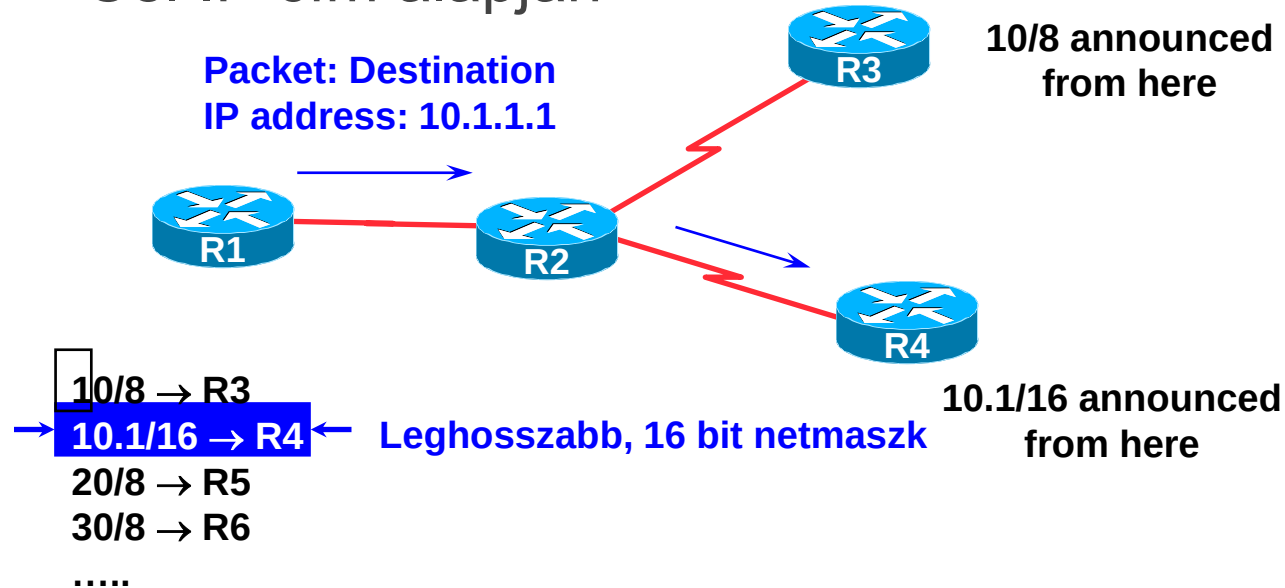
- Cél IP cím alapján



R2's IP routing table
2019.10.22

„leghosszabb találát” routing

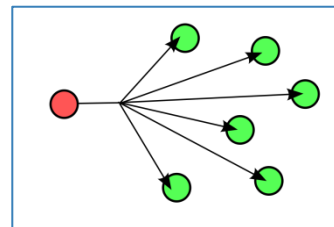
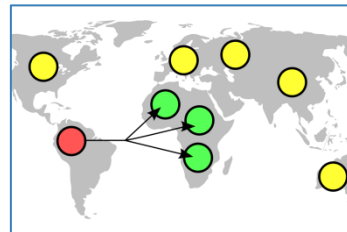
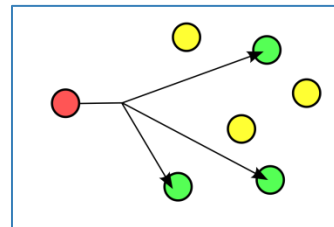
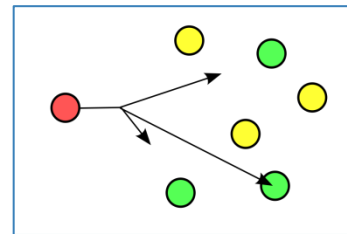
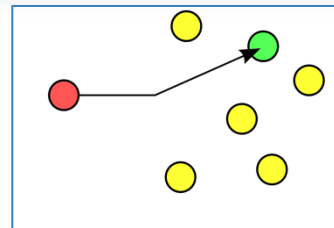
- Cél IP cím alapján



R2's IP routing table
2019.10.22

Útválasztási szemantika

- **Unicast** – csomag küldése egy adott célcsomópontnak
- **Anycast** – csomag küldése bárkinek (pl. a legközelebbi csomópontnak) egy adott csoportból
- **Multicast** – csomag küldése egy csoportnak
- **Geocast** – csomag küldése egy adott földrajzi területre
- **Broadcast** – csomag küldése minden csomópontnak a hálózatban



Routing működés

- Az ISP-k lehetnének közvetlen kapcsolatban
 - Nem skálázható
- Inkább az elérhetőségüket tudatják a környező routerekkel
 - A lokális IP registry-től kapott IP cím tartomány információkat
 - Aggregáltan
- Ezeket az információkat tovább terjesztik a routerek
 - **Route Advertisement**

Routing protokollok

- A Routers “routing protokollokat” használnak az információcserére
 - **IGP**-t a saját hálózatukon belül
 - **EGP**-t a különböző ISP-k (AS-ek) között

Mi is az IGP?

- **I**nterior **G**ateway **P**rotocol
- egy Autonomous System-en belül
- Belső infrastruktúráról terjeszt információkat
- Gyakrabban használt IGP-k:
 - **OSPF**
 - **ISIS**
 - **RIP**

Minek az IGP? Nem lenne elég csak 1 szint?

- Az ISP-k közötti hálózat skálázhatóságát javítja
 - Hierarchia
 - A hálózati hibák lokálisak maradnak, gyorsabb helyreállítás
 - ISP autonómia, mindenki olyan IGP-t implementál, amelyet szeret
 - Csak a hálózaton belül kell útvonalat keresni, gyorsabb működés

Mi az EGP?

- **E**xterior **G**ateway **P**rotocol
- Autonomous System-ek közötti információcserére szolgál
- Független az IGP-től
 - De felhasználhatja az összegyűjtött információkat
- Jelenleg az EGP szerepét a **BGP** protokoll játssza

Routing protokollok osztályozása

- **Statikus:**
 - a routing tábla manuális kitöltése
 - automatikusan soha nem frissítődik
- **Dinamikus:**
 - a routerek egymás között kommunikálva a hálózat topológiájának megfelelően állítják elő az útvonalválasztó táblát
- **Egyutas:**
 - minden célpont felé csak egy utat tárol
- **Többutas:**
 - minden célpont felé több (esetleg minden) utat tárol.
 - Ezek a protokollok képesek load balancing-ra (terhelés megosztás)

Routing protokollok osztályozása

- **Lapos (flat)**
 - minden router minden lehetséges célpontról tud
 - Régebben (kisebb hálózatok)
- **Hierarchikus**
 - a router-ek nem minden célpont felé ismerik az utat
 - egy ismeretlen címzettnek szánt csomagot egy előre meghatározott irányba (default route) küldenek
 - ez routing információk egy szélesebb körével rendelkezik
 - routing táblák mérete kezelhető marad
- **Intra-domain**
 - valamely területen (domain) belüli útvonalválasztásért felelős
- **Inter-domain**
 - a területek (domain) közötti útvonalválasztásért felelős

Routing protokollok osztályozása

- **Hop-by-hop:**
 - minden router autonóm módon határozza meg a továbbítás irányát
 - az így működő routerek csak olyan utakat hirdetnek (szomszédjaiknak), melyeket maguk is használnak
- **Source routing:**
 - a feladó határozza meg az útvonalat (pl. IP fejléc)
 - a routerek csupán az elérhetőségi információkat terjesztik
 - magukat a csomagokat a csomagba beleírt útvonal szerint kapcsolják
- A két megoldás között léteznek átmenetek

Routing protokollok osztályozása

- **Távolság vektor (distance vector) protokollok**
 - csak a szomszédos routerek kommunikálnak
 - minden router elmondja összes szomszédjának:
 - mekkora költségű utat ismer egy adott célponthoz
 - arról nem szól, hogy az út merre vezet
 - a routerek begyűjtik szomszédjaiktól ezeket a hirdetéseket és kiválasztják, hogy ki hirdette a legolcsóbb utat az adott célpontokhoz
 - a megfelelő csomagokat a legkedvezőbb irányba továbbítják
 - saját költségüket a legkedvezőbbekhez hozzáadva ők is hirdetik az adott célponthoz vezető utat

Routing protokollok osztályozása

- **Kapcsolat állapot (link state) protokollok**
 1. feltérképezik a hálózat topológiai gráfját
 2. ebben a gráfban keresik a legrövidebb utat.
- A routerek egymás között csak saját interfészeik állapotát beszélik meg
 - Kik a szomszédjaim, milyen költségük van a linkeknek közöttünk
 - Ezeket az információkat minden, a hálózatban lévő routerrel kicserélik
 - Ebből építi fel mindenki a saját (de egymással megegyező) topológiai gráfját

Distance-Vector Protokollok

- Bellman-Ford protokollok

Klasszikus Bellman-Ford algoritmus

d_{ij} := i - j link költsége (végtelen, ha nincs link)

- Tényleges ár, késleltetés, csomagvesztési ráta, stb.

Következmény: **additivitás**

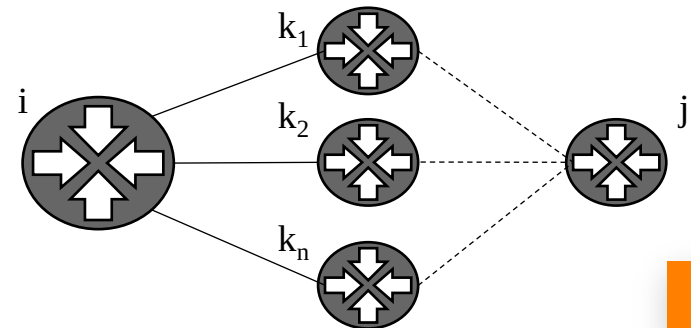
- egy útvonal költsége az azt alkotó linkek költségének összege

D_{ij} := minimum költség i és j között

Bellman egyenlet:

$D_{ii} = 0$, minden i -re

$D_{ij} = \min_k \{d_{ik} + D_{kj}\}$



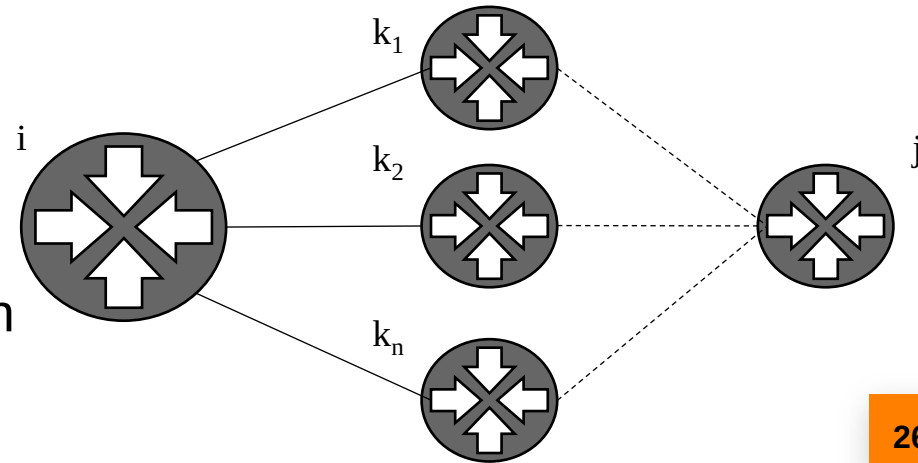
Elosztott Bellman-Ford Algoritmus

$D_{kj}^i(t)$ = minimális távolság k -tól j -ig, melyet i router lát a t időpillanatban

$D_{ii} = 0$, minden i -re

$D_{ij}(t) = \min_k \{ d_{ik} + D_{kj}^i(t) \}$

- önállóan működhet az algoritmus a routerekben



Distance-vector protokollok

- RIPv1 (RFC 1058, '88)
 - Routing Information Protocol
 - Rest In Pieces ☺
- RIPv2 (RFC 2453, '98)
- RIPng (RFC 2080, '97)
 - IPv6-os verzió
- EIGRP
 - Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
 - Cisco proprietary szabvány

Zárójel - IETF

- **IETF - Internet Engineering Task Force**

- Munkacsoportok, megbeszélések, levelező listák
- Szabványosítási folyamat
 - Internet Draft
 - RFC – Request for Comments



- **IRTF - Internet Research Task Force**

- Hosszú távú kutatás az internet jövőjét illetően



Distance Vector protokollok

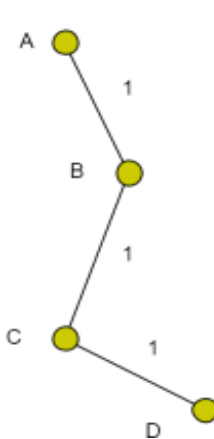
- Távolságvektorokat tárol az útvonalakról
- **Adathármasok:**
 - Cél (mi a célállomás)
 - Költség
 - Következő csomópont (merre küldje) – next hop
- Rendszeresen frissítik adataikat a közvetlen szomszédok
 - Frissítő üzenet (2 részből áll):
 - Cél, költség
 - Ha a router ilyenkor jobb utat talál egy célhoz, frissíti tábláját, 2 ok miatt:
 - Kisebb költségű utat talál
 - Szomszéd költsége megváltozik

Jellemzők

- Egyszerű, de nem tökéletes:
 - A kapcsolatok ára változhat
 - Kapcsolatok meg is szakadhatnak
 - Egy megszakadt kapcsolat ára végtelen
 - Egy olyan egész érték, mely nagyobb bármilyen lehetséges valós értéknél (RIP-nél 16)
 - A routerek topológia változás esetén nem egyszerre frissítik táblázataikat
 - Periodikus időközönként (pl. 30 s) frissítő üzenet
 - Ha 6 frissítés elmarad, az ár végtelen
 - A szomszédok is frissítik a bejegyzéseiket
 - Konvergál, de lassan
 - Csak kis hálózatokban használható

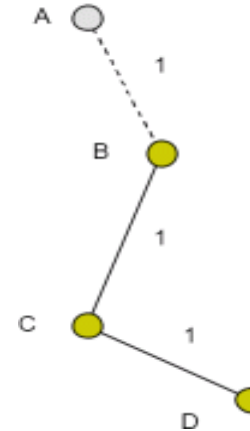
Végtesenig számolás

- A routerek a célcím költségek hirdetésekor végtesenig inkrementálhatnak



B	C	D
1	2	3

Távolság A felé



B	C	D
3	2	3

B	C	D
3	4	3

B	C	D
5	4	5

Megakadályozás

- **Split horizon módszer**
 - ha C B-től megismer egy utat, akkor az azt kiterjesztő utat B-vel már nem közli
- **Poisoned Reverse módszer**
 - Végtelen elérhetőség hirdetése az adott linken elérhető csomópontokhoz
 - ha C B-től megismer egy utat, akkor az azt kiterjesztő utat B-nek végtelen költségű útként jelzi

Link-state protokollok működése

A link-state protokollok működése 2 részből áll:

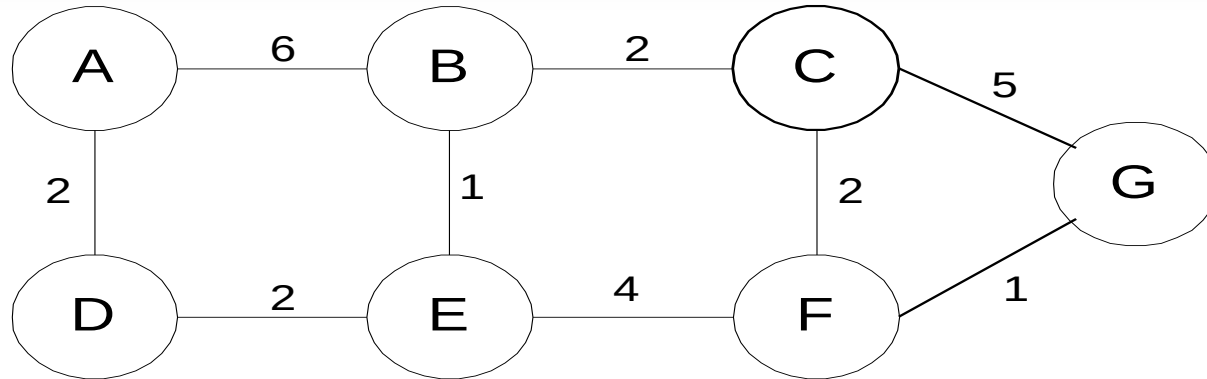
1. Minden állomás felderíti a hálózat topológiáját

- Hálózati topológia leírása a link állapot leíró rekordokban
 - Link állapot leíró rekordokat kell terjeszteni

2. A kapott gráfban megkeresi a legrövidebb útvonalat és az ahhoz tartozó első állomást

- Fontos!
 - A routerekben lévő topológia megegyezzen
 - Az optimális út kiválasztása ugyanúgy történjen
 - ha A router B felé számolja az optimális utat, B meg A router felé – hurok!

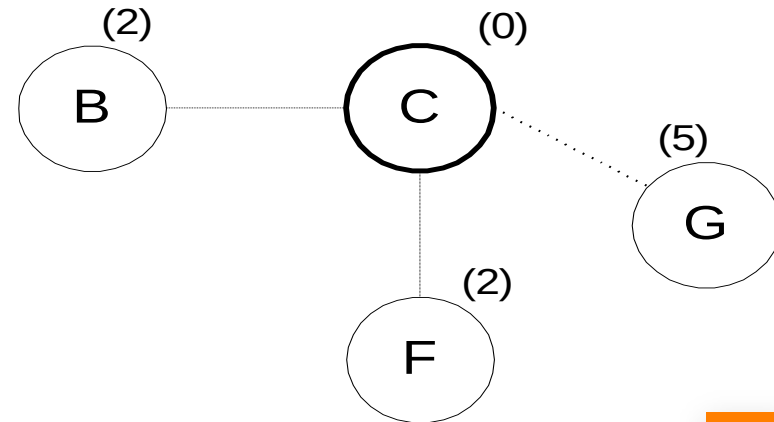
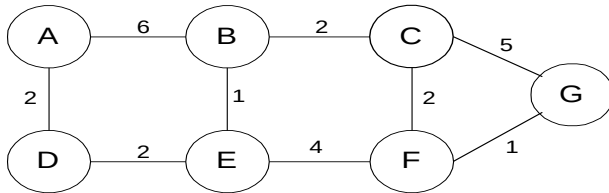
Link State Database



Link state Database						
A	B	C	D	E	F	G
B/6	A/6	B/2	A/2	B/1	C/2	C/5
D/2	C/2	F/2	E/2	D/2	E/4	F/1
	E/1	G/5		F/4	G/1	

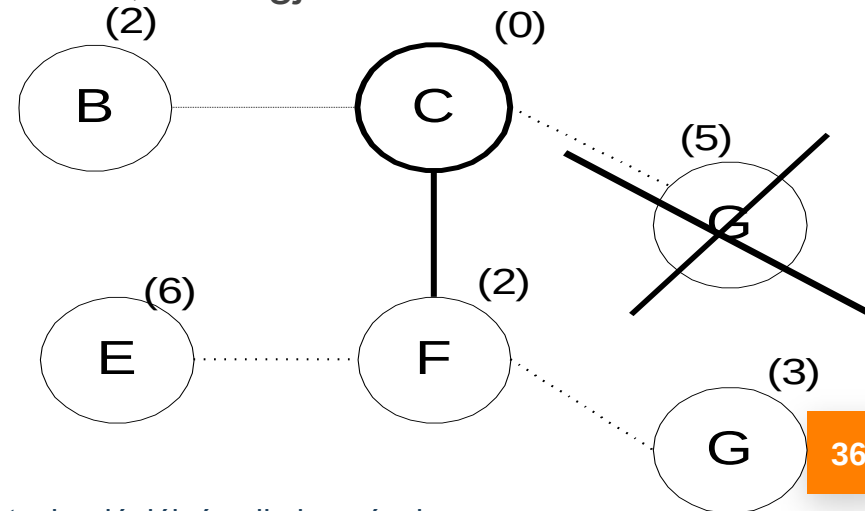
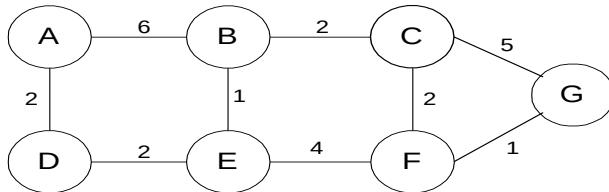
Dijkstra algoritmus

- Az útvonalválasztás Dijkstra algoritmus alapján
 - Legyen C a gyökér
 - Számoljuk ki a szomszédokhoz vezető utak költségét



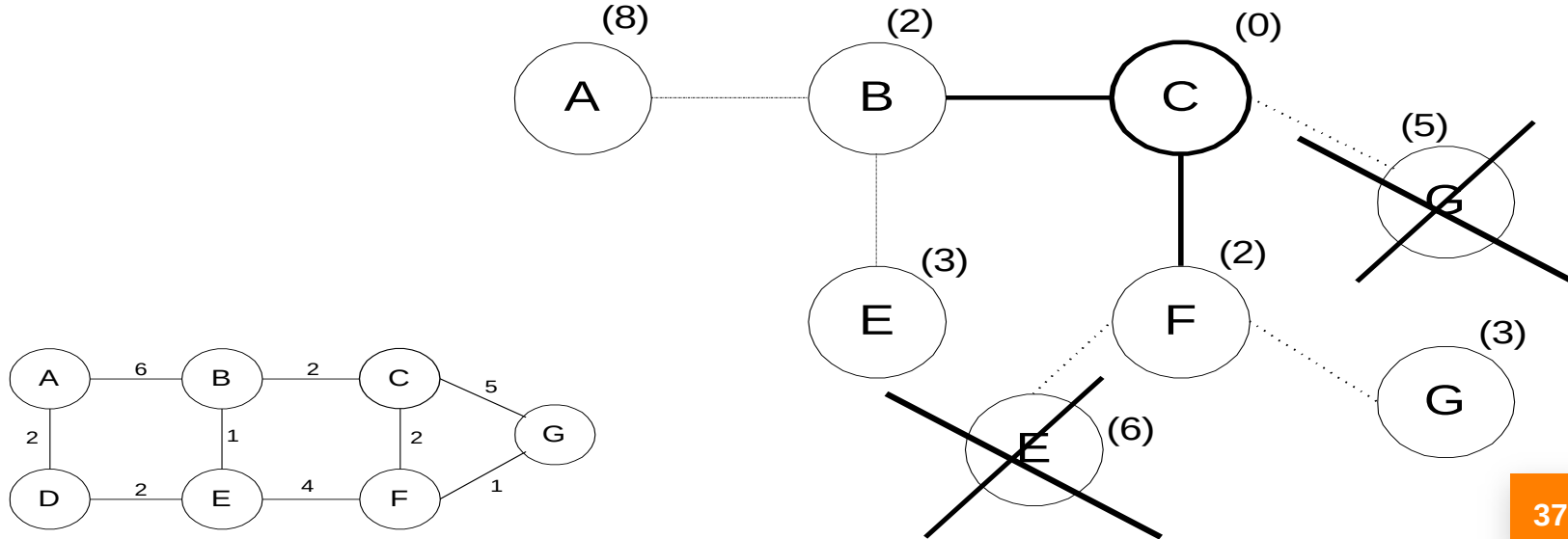
Dijkstra algoritmus 2

- Vegyük be F-et (legkisebb költségű, még nem elemzett csomópont) és számoljuk ki F szomszédjaihoz vezető utak költségét.
- Rövidebb út G-hez F-en keresztül, E megjelenik



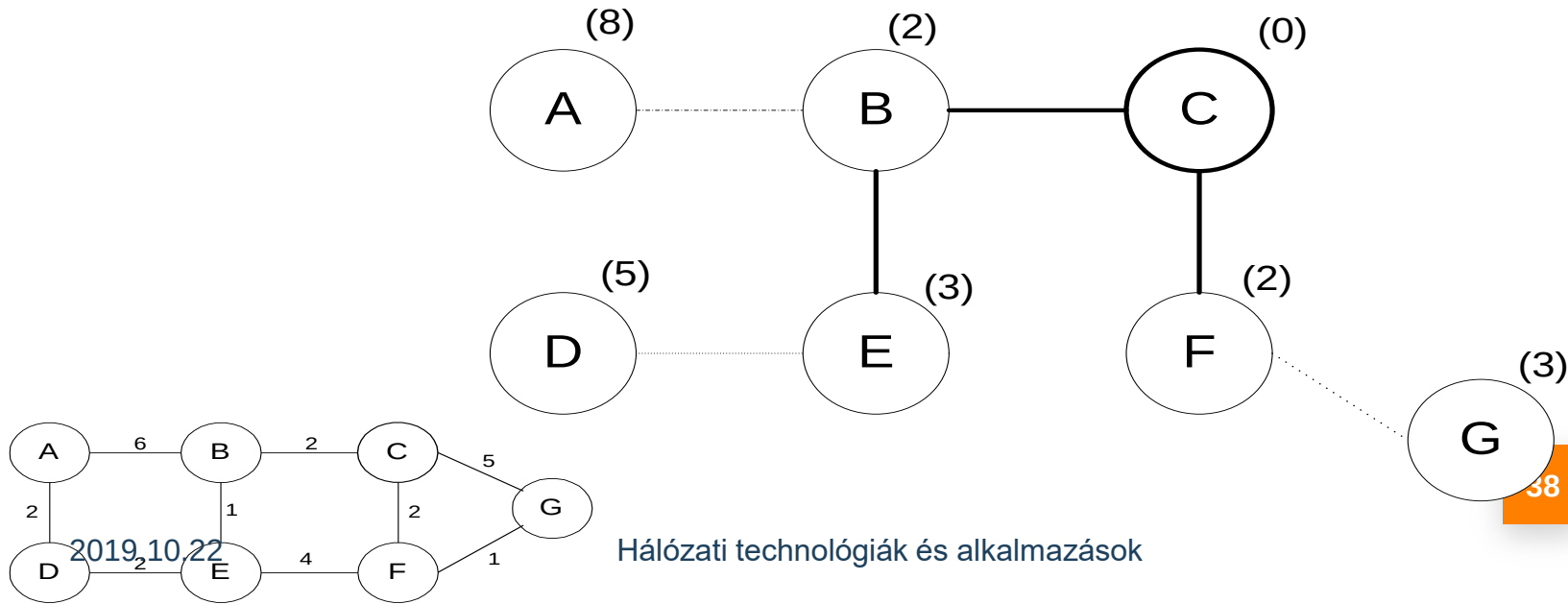
Dijkstra algoritmus 3

- Vegyük be B-t és számoljuk ki B szomszédainak költségét
- Rövidebb út E-hez B-n keresztül, A megjelenik



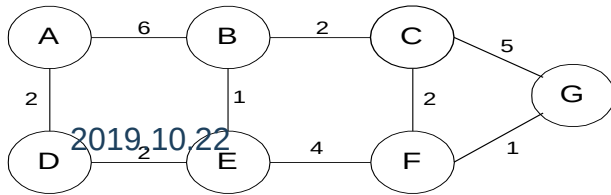
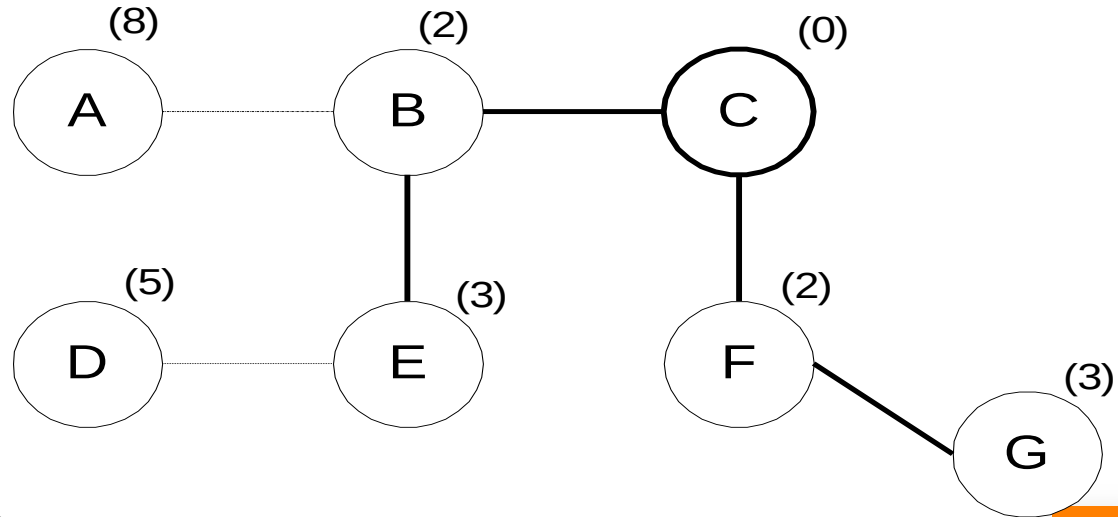
Dijkstra algoritmus 4

- Vegyük be E-t, és számoljuk ki E szomszédjainak költségét
- Nincs változás, D megjelenik



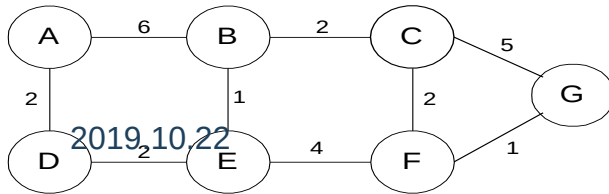
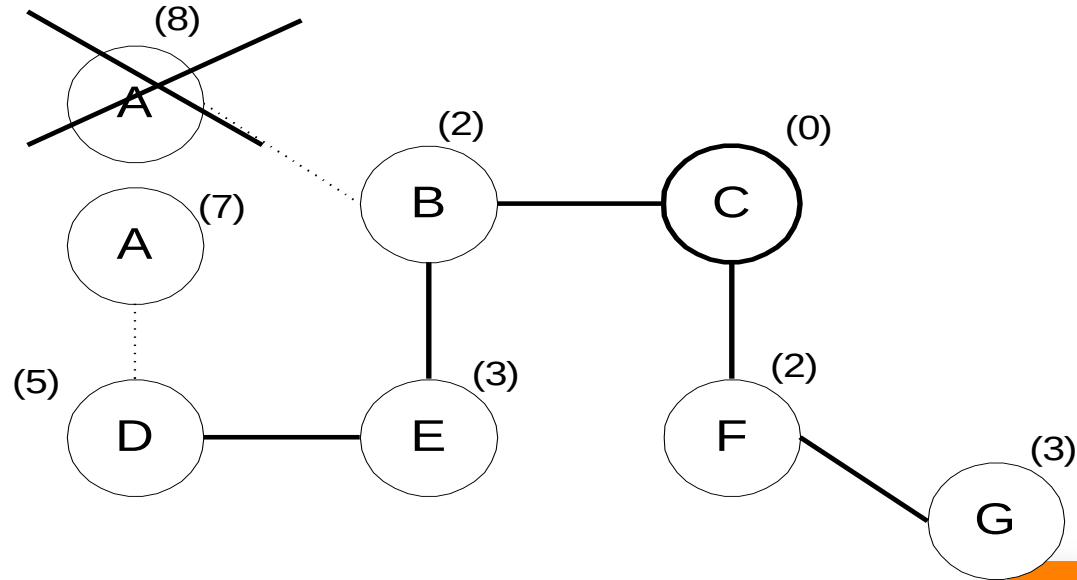
Dijkstra algoritmus 5

- Vegyük be G-t, és számoljuk ki G szomszédainak költségét
- Nincs változás



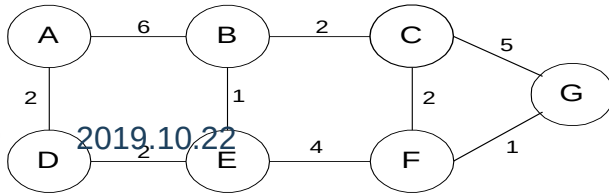
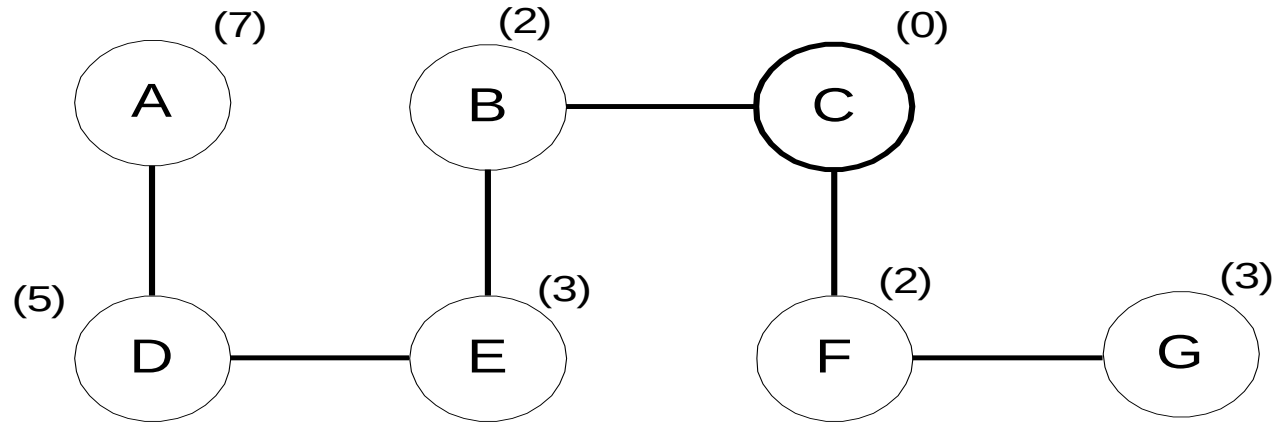
Dijkstra algoritmus 6

- Vegyük be D-t, és számoljuk ki D szomszédainak költségét
- Rövidebb út A-hoz!



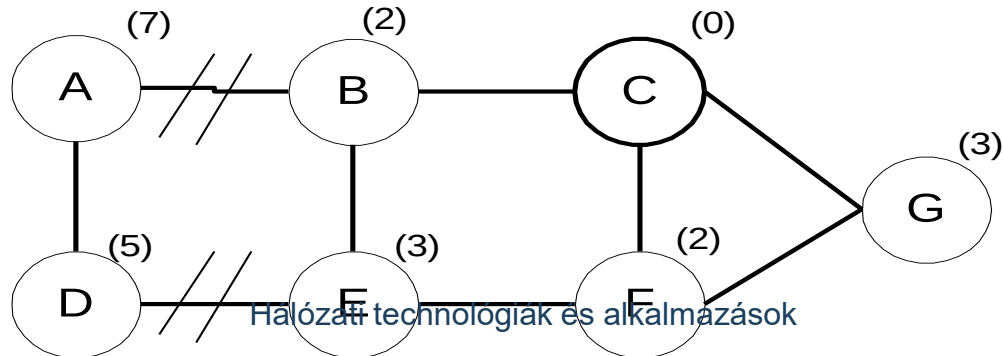
Dijkstra algoritmus 7

- Vegyük be A-t és számold ki A szomszédjainak költségét
- Nincs több szomszéd
- Befejezés



Hibás link következménye

- A-B és D-E linkek megsérülnek
 - hálózat kettészakad
 - két rész képtelen értesíteni egymást a változásokról
- A és D elérhetetlennek nyilvánítja a hálózat többi részét
- Hibás link megjavulása után a routerek szinkronizálják adatbázisukat
 - Topológia frissítés



Link-state protokollok

- **OSPF – Open Shortest Path First**
 - Első szabvány – RFC 1131 ('89)
 - OSPFv2 – RFC 2178 ('97)
 - OSPFv3 – RFC 2740 ('99)
 - IPv6-os verzió