



Tárgyak internete (Internet of Things - IoT)

Szenzorhálózatok és alkalmazásaik

VITMMA09 – Okos város MSc mellékspecializáció

Házi feladat emlékeztető

- **6 téma – 6 db. 4 fős csoport**
- A házi feladat elvégzése kötelező, a vizsgára jelentkezés feltétele
 - Jegyet nem kaptok rá, de azért lelkiismeretesen csináljátok meg 😊
- **Írásos dokumentáció**
 - Legalább 5 oldal, „normális” oldalszerkezettel
 - Hardver platform bemutatása
 - Szoftver platform bemutatása
 - Felmerülő nehézségek
 - Eredmények
- **Demo az utolsó gyakorlaton**

Tartalom

- Mit értünk a tárgyak internetén?
- Mire jó?
- Útválasztás az IoT-ben
 - Az RPL protokoll



Internet (of People)

- A hagyományos Internet is „tárgyakból” áll
 - PC-k, szerverek, útválasztók
- De **a végfelhasználó személyek generálják a tartalmat**, adatokat
 - Levelek, dokumentumok, weboldalak, fényképek, stb.
- Az embereknek korlátos **az idejük**, a **figyelmük** és a **pontosságuk**
 - Nem megfelelőek a való világ történéseinek követésére, adatok rögzítésére



Internet of Things (IoT)

- **Kevin Ashton (1999)**

- MIT Auto-ID, Procter & Gamble

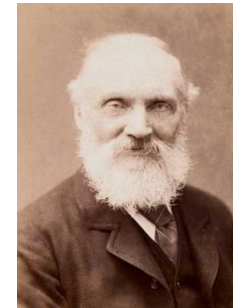


- **Adatgyűjtés emberi közreműködés nélkül**

- Intelligens, **egyéni azonosítóval ellátott eszközök**
 - Szenzorok, okos telefonok, járművek, stb.
 - **Monitoroznak és kommunikálnak**
 - A begyűjtött adatok felkerülnek a „felhőbe” (hálózat)
 - Elemzés, szűrés, aggregáció, adatbányászat
 - Értéknövelt szolgáltatások generálása

- **Nem a pusztá adat az érték, hanem annak feldolgozása**

- „Ha meg tudsz mérni valamit, és számokkal ki tudod fejezni, akkor tudsz csak igazán róla valamit” – Lord Kelvin



Mit értünk a tárgyak internetén?

”Okos dolgok” hálózata

- Mitől „okos” valami?
 - Van CPU-ja, memóriája, szenzorokkal érzékeli a környezetet
 - Képes kommunikálni



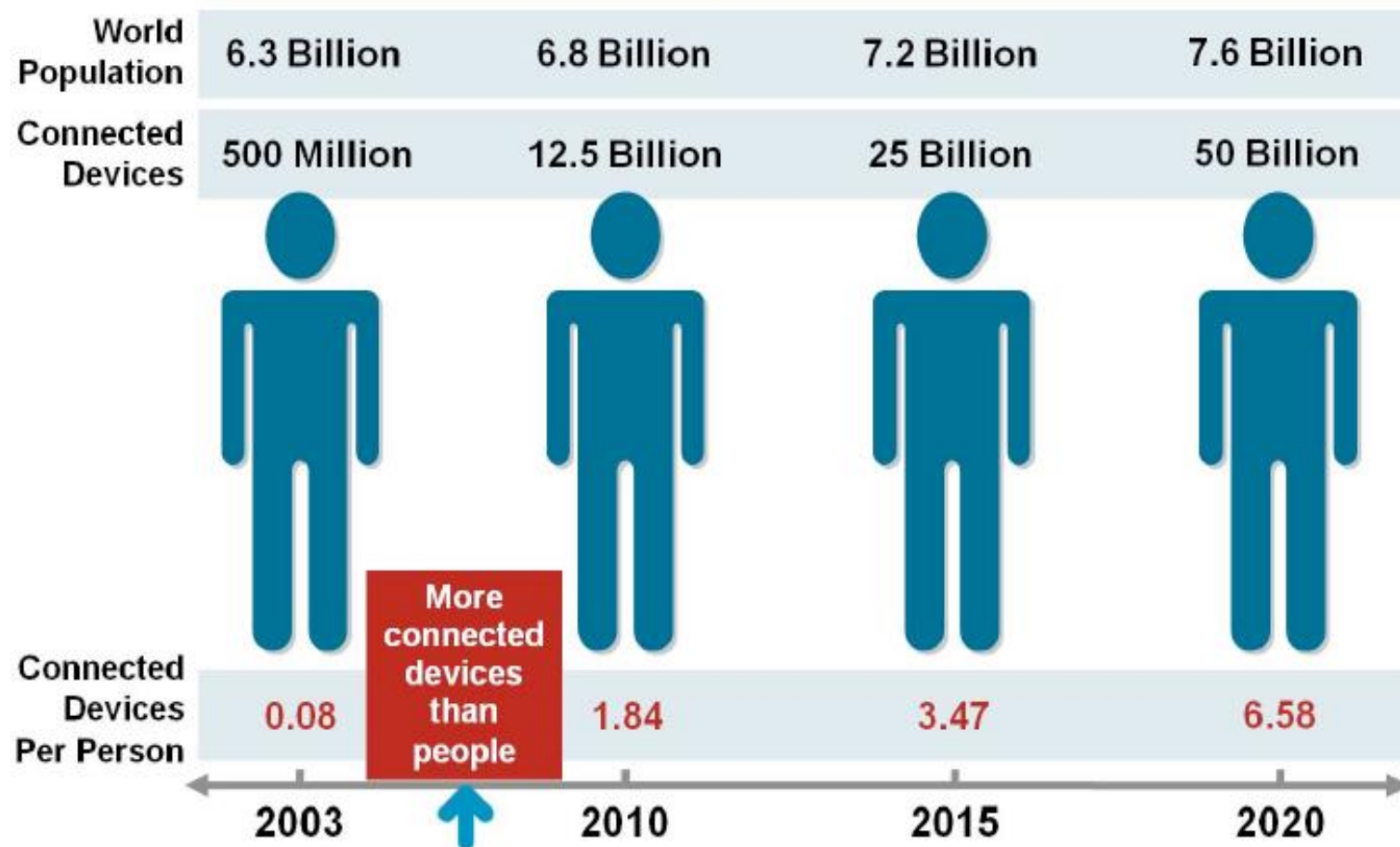
Az első IoT eszköz?

- Egy Coca-Cola automata a Carnegie Mellon University-n (**1982 !!**)
 - 10 centtel olcsóbb volt mint a többi automata
 - Mindenki oda járt, de idegesítő volt a campus másik feléről odasétálni és üresen találni, vagy épp frissen töltött meleg kólával
 - 4 diák - Mike Kazar, David Nichols, John Zsarnay, and Ivor Durham
 - Kössük az Internetre az automatát
 - Lekérdezhető az állapota
 - Égnek-e a rekeszeknek megfelelő Empty lámpák
 - Mennyi idő telt el az utolsó feltöltéstől (lehültek-e már)
 - A legnagyobb forgalmú automata egész Pennsylvania-ban



Hány eszköz?

- Cisco, Ericsson előrejelzések – 50 milliárd eszköz 2020-ra



Source: Cisco IBSG, April 2011

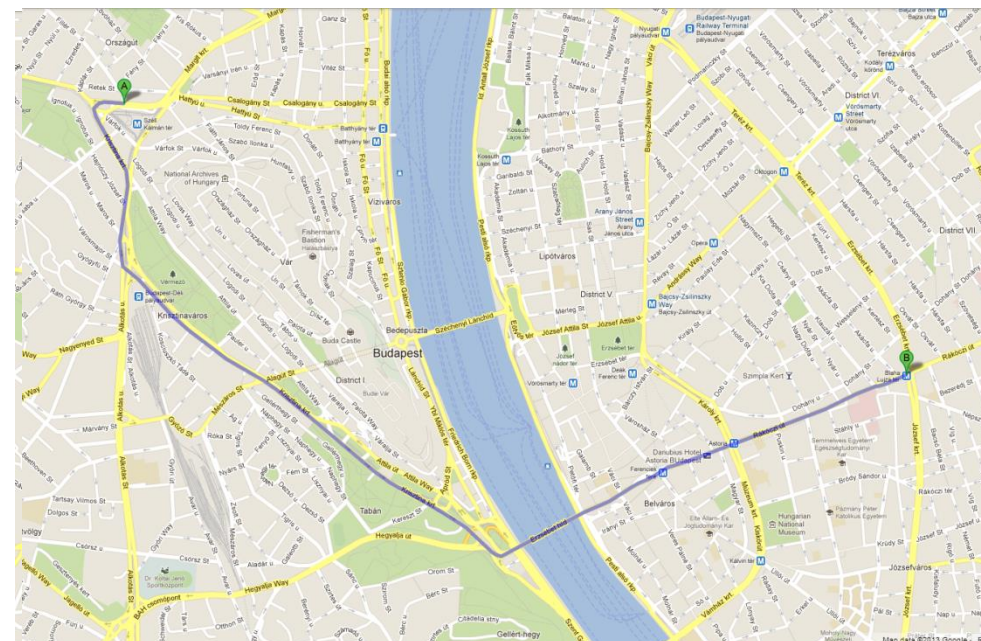
Kapcsolódó fogalmak

- Ubiquitous networking / computing
 - Mindenütt jelenlevő hálózatok
 - Mark Weiser, Xerox Palo Alto Research Center, 1998
- Pervasive networks
 - Mindent átható, átszövő hálózatok
- Everyware
- Disappearing computing
- Ambient networks and services
 - A felhasználót körülölelő hálózatok és szolgáltatások
- Internet of Everything (Cisco)



Mire jó?

- **Kontextus-függő, személyre szabott alkalmazások és szolgáltatások**
- **Merre menjek a Blaháról a Széll Kálmán térre?**
 - Nem mindig a legrövidebb útvonal a legjobb
 - **A kontextustól függ**
 - Éjjel, gyalog - a biztonság a fontos
 - Nappal, biciklivel – a legtöbb bicikli sáv
 - Csúcsforgalomban, autóval – a legkisebb forgalom
 - Csúcsforgalomban, gyalog – a legjobb levegő minőség
 - Hideg téli időben, gyalog – a legkevésbé szeles út
 - ...



Mire jó?



<https://www.youtube.com/watch?v=i5AuzQXBsG4>

Privacy (gubójog, önnöntér)

Az emberek alapvetően nem szeretik a „Nagy testvért”



Viszont ha hasznos szolgáltatásokat kapnak, elfelejtik a félelmüket

Az IoT kihívásai

- Az IoT elemei nagyon heterogének
 - Komoly erőforrásokkal rendelkező eszközök
 - **Okos telefonok, autók, okos kóla automata**
 - Folyamatos tápellátás, vagy könnyen újratölthető akkumulátor
 - Nincs méretkorlátozás
 - Nagy számítási kapacitás, sok memória
 - Többfajta rádiós vagy vezetékes kommunikációs interfész, közvetlen csatlakozás az internetre
 - Korlátozott erőforrásokkal rendelkező eszközök
 - **Szenzorok**
 - Korlátozott CPU, memória, **nagyon korlátozott energia**
 - Általában csak egy rádiós interfész, az is alvó állapotban az idő nagy részében
 - Nincs közvetlen csatlakozás az Internetre



IoT routing

- A korlátozott erőforrású eszközöknek is biztosítani kell a hálózati elérést
 - Elküldhessék az adataikat (a felhőbe)
 - Lekérdezhetőek legyenek távolról
- Többugrásos (multi-hop) kommunikáció és útválasztás (routing)
 - A hagyományos routing alkalmazások túl sok erőforrást igényelnek
 - Cél a gyors, megbízható adatátvitel
- **LLN – Low Power and Lossy Networks**
 - Alapvetően megbízhatatlan kapcsolatok, kis átviteli sebesség, nagy csomagvesztés
 - Kis teljesítményű antennák, barátságtalan környezet (eső, hó, fagy, stb.), interferenciák, mobilitás
 - Cél az energiahatékonyság, nem a kommunikáció hatékonysága
 - Nem gond, ha nincs folyamatos kapcsolat, vagy ha elvesznek csomagok
 - Felügyelet nélküli működés éveken keresztül – self-configuration, self-management

IoT routing

- Hagyományos hálózatokban ha egy kapcsolat megszakad, gyorsan új útvonalat kell találni
 - Minél kisebb legyen a csomagvesztés
 - Pl. IP/MPLS Fast Reroute az OSPF-ben
- **Az LLN-ben a kapcsolatok megszakadása gyakori, de tranziens állapot**
 - Ha reagálnánk rá, instabillá válna a hálózat, túl nagy jelzésforgalom („control plane overhead”)

- Hagyományos hálózatokban nagy adatforgalom (video, VoIP), nincs (igazán) lehetőség pufferelésre ha a kapcsolat megszakad
- **Az LLN-ben kis adatforgalmak, egy tranziens kapcsolatkiesést könnyen át lehet hidalni puffereléssel vagy lokális átirányítással**
 - Nem kell a teljes topológiát újrakonfigurálni

- Hagyományos hálózatoknál statikus metrikák, az útvonalak stabilitásának biztosítására
- **Az LLN-ben dinamikus, időben változó metrikák**
 - A hálózat képes adaptálódni

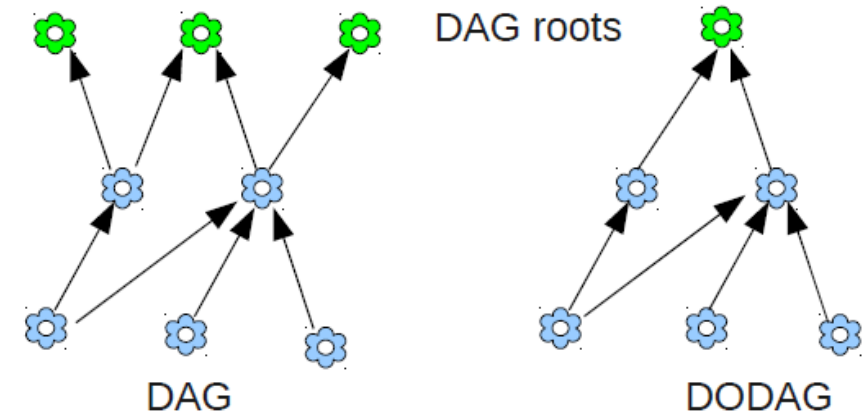
LLN vs. WSN

- Egy vezeték nélküli szenzorhálózat (WSN) egy speciális LLN

WSN	LLN
Homogén hálózat, egyforma szenzorok	Heterogén hálózat, különböző eszközök
Egy adott céllal kihelyezett eszközök, egy adott alkalmazás igényei szerint működnek	Különböző feladatokat végző eszközök, együttműködés csak az internet elérése miatt
P2MP vagy MP2P kommunikáció (a nyelő és a szenzorok között)	P2MP, MP2P és P2P kommunikáció is (két IoT eszköz között)
Általában nincs IP támogatás	IP alapú kommunikáció

RPL – IPv6 Routing Protocol for Low Power Lossy Networks

- IETF ROLL WG – **R**outing **O**ver **L**ow power **L**ossy (2008)
 - RPL protokoll (ejtsd: Ripple) – RFC 6550 (2012)
- IPv6-os távolság vektor alapú útválasztó protokoll
 - DAG - **D**irected **A**cyclic **G**raph
 - Irányított gráf hurkok nélkül
 - DODAG - **D**estination **O**riented **D**irected **A**cyclic **G**raph
 - Olyan DAG melyben csak egy gyökér van



RPL – IPv6 Routing Protocol for Low Power Lossy Networks

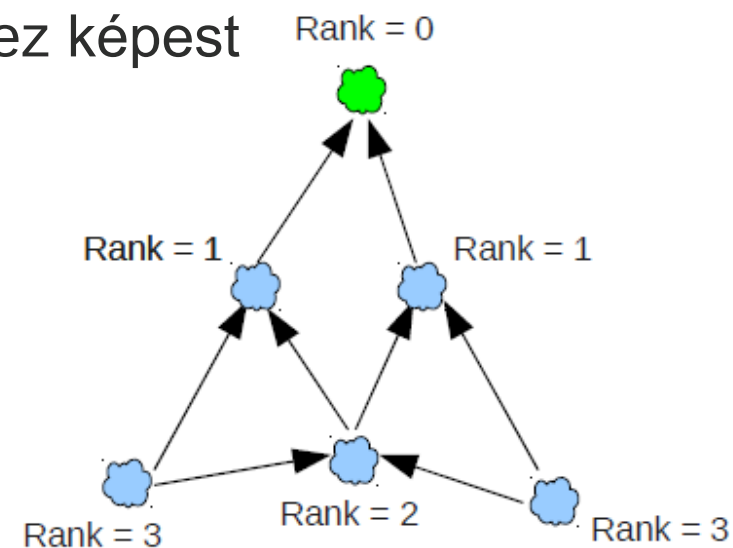
- Az RPL egy DODAG-ot épít
 - Több metrikát és megkötést figyelembe vevő objektív függvény (objective function – OF) alapján
 - Egyszerre több OF is létezhet, mindegyik alapján más-más DODAG épül
 - Pl. 1) A legkisebb **ETX*** (metrika), de csak titkosított kapcsolatokon keresztül (megkötés)
 - 2) A legkisebb késleltetés (metrika), de csak napelemes eszközökön keresztül (megkötés)

* ETX – Expected Transmission Count

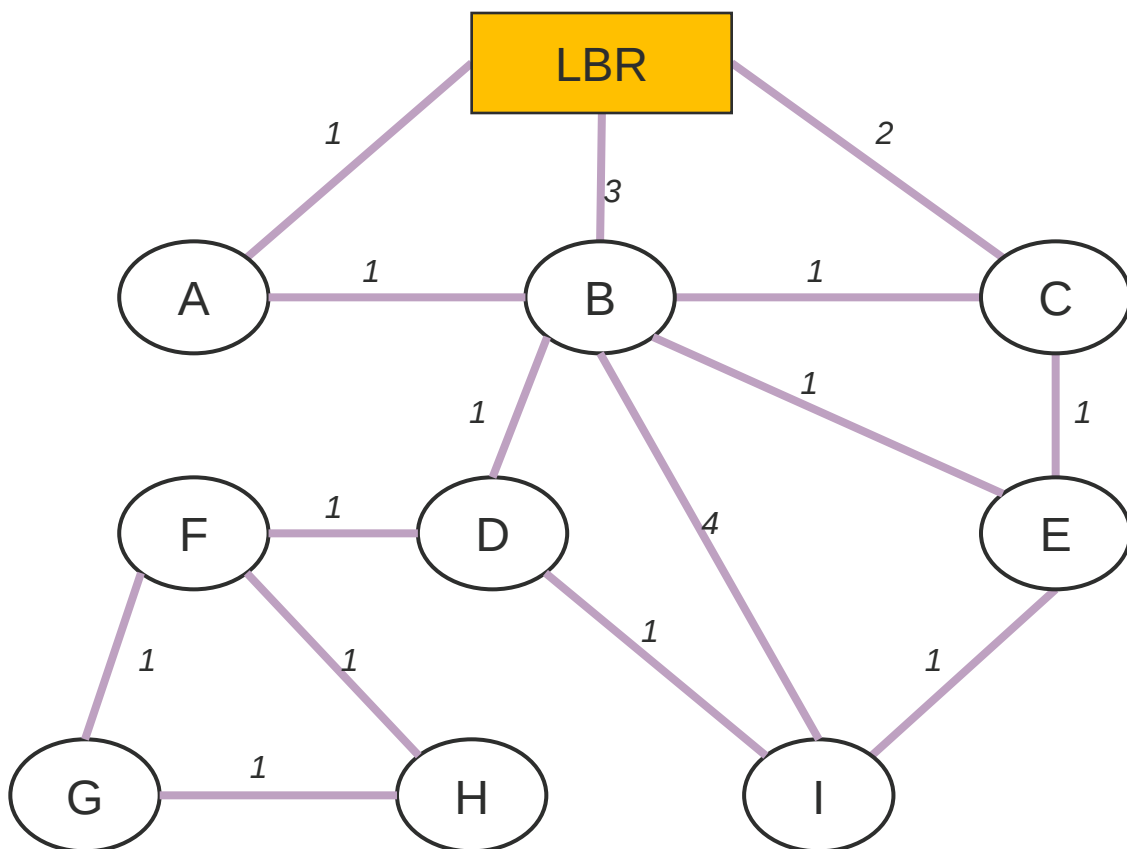
- A rádiós kapcsolat minőségét mutatja - hányszor kell **valószínűleg** elküldeni egy csomagot, hogy az hibátlanul megérkezzen
- 1 és ∞ között változik, egy várható érték, a múltbeli tapasztalatok alapján
- Mivel az LLN-ben a rádiós kapcsolatok megbízhatatlanok, az ETX érték folyamatosan változhat

DODAG építés

- A DODAG építése egy gyökérnél kezdődik – LBR (LLN Border Router)
 - Kapcsolódási pont a külvilághoz (internethez)
 - Több LBR is lehet a hálózatban
- **Rank** – egy csomópont relatív pozíciója a hálózatban az LBR-hez képest
 - Szükséges a hurkok elkerüléséhez
- Új ICMPv6 jelzésüzenetek az RPL-hez
 - DIO – DODAG Information Object
 - DAO – DODAG Destination Advertisement Object
 - DIS – DODAG Information Solicitation

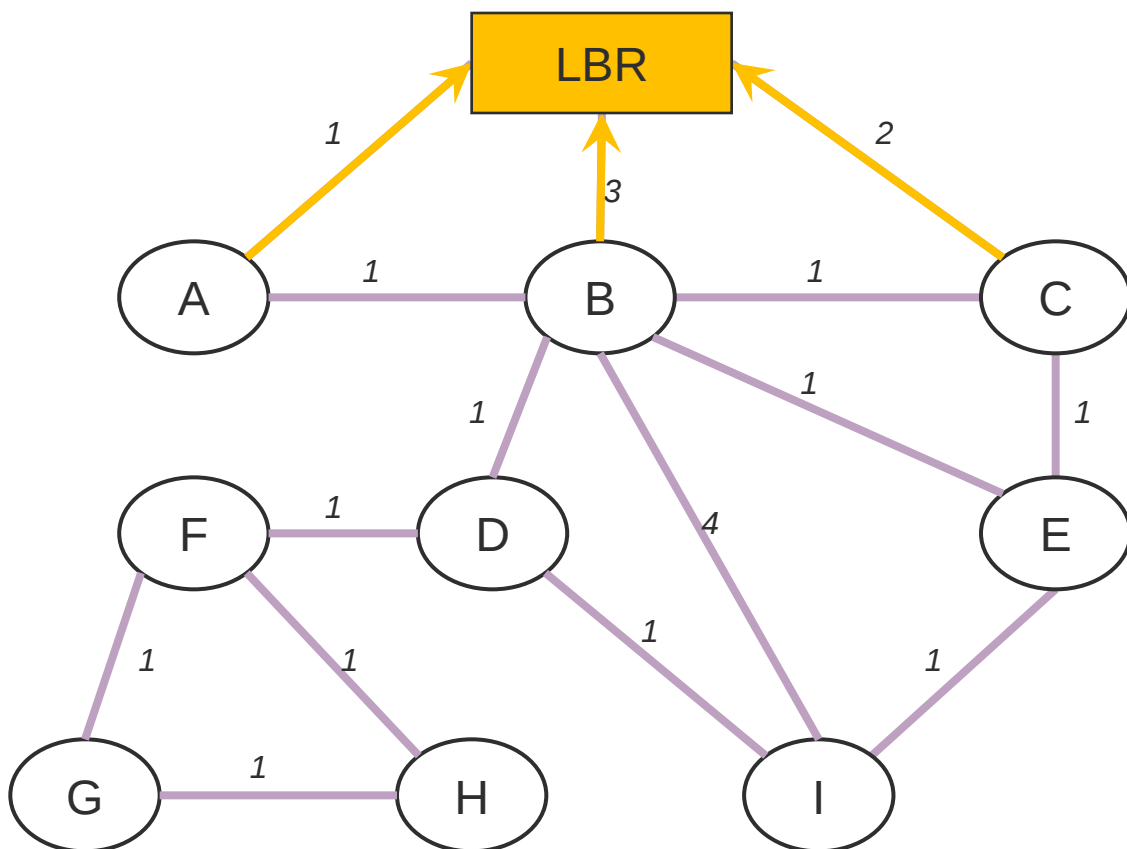


DODAG építés



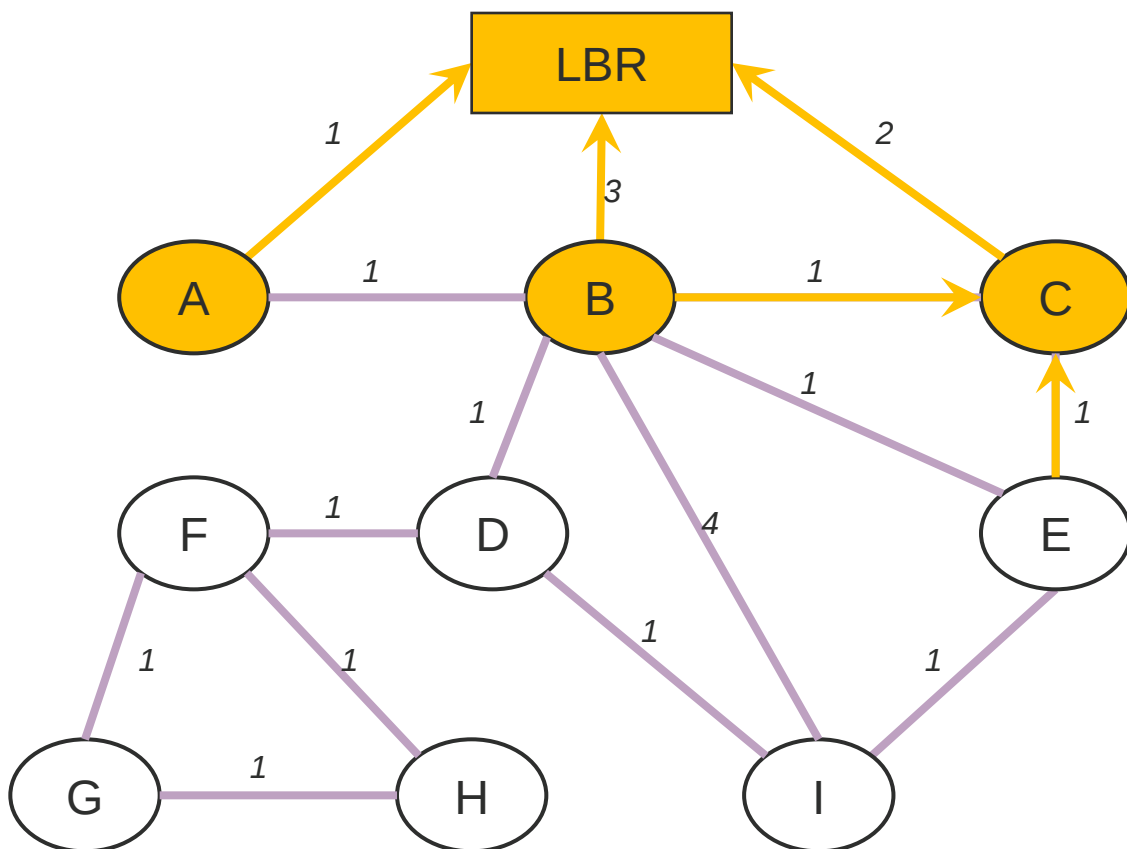
- Élek – LLN kapcsolatok
- Értékek – pl. ETX
 - Az ETX értékek változhatnak
 - Átlagot számolva biztosítható a viszonylagos stabilitás
- Cél (OF) – minimalizálni az ETX-et

DODAG építés



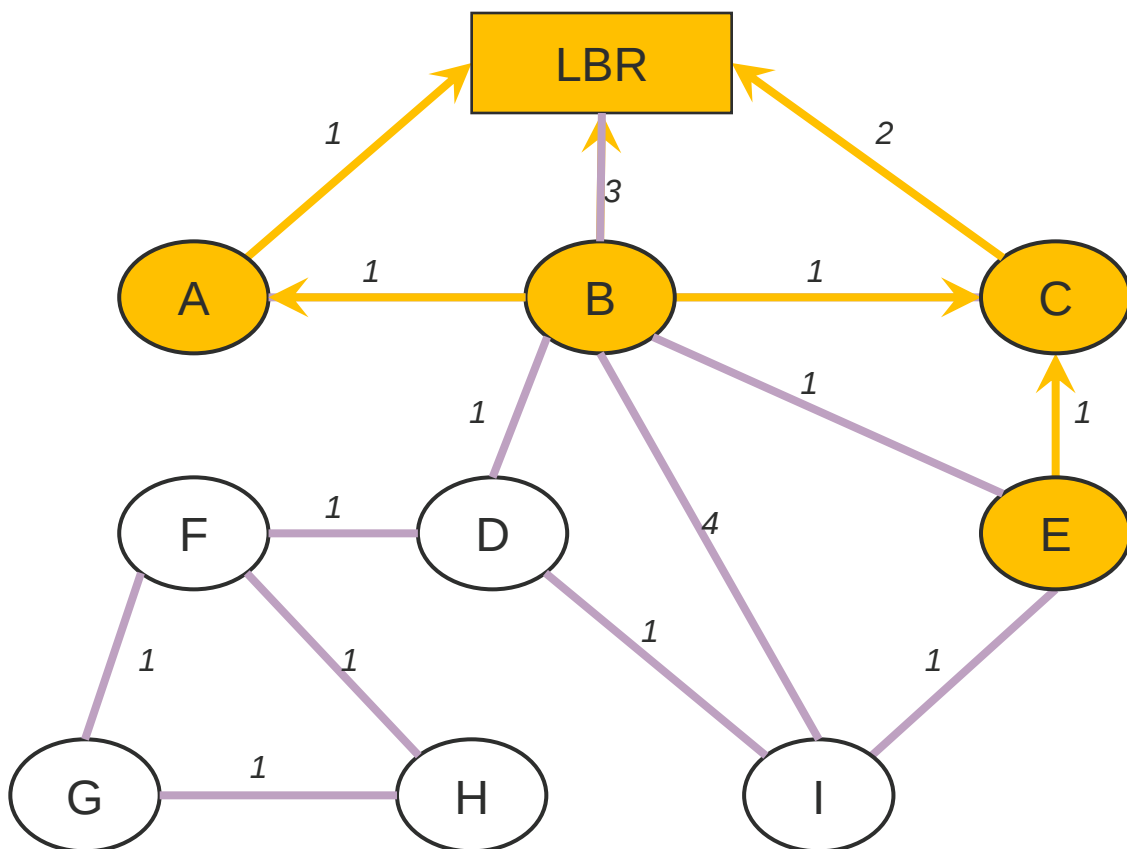
- Az LBR kiküld szomszédjainak egy DIO üzenetet
 - Link local multicast
- Az A, B, C csomópontok megkapják, és kezelik
 - Egyszerre több DIO-t is kaphatnak több LBR-től
 - Az OF és más kritériumok alapján eldöntik, hogy belépjenek-e a DODAG-ba
 - Ha igen, akkor az LBR-t szülőnek jelölik

DODAG építés



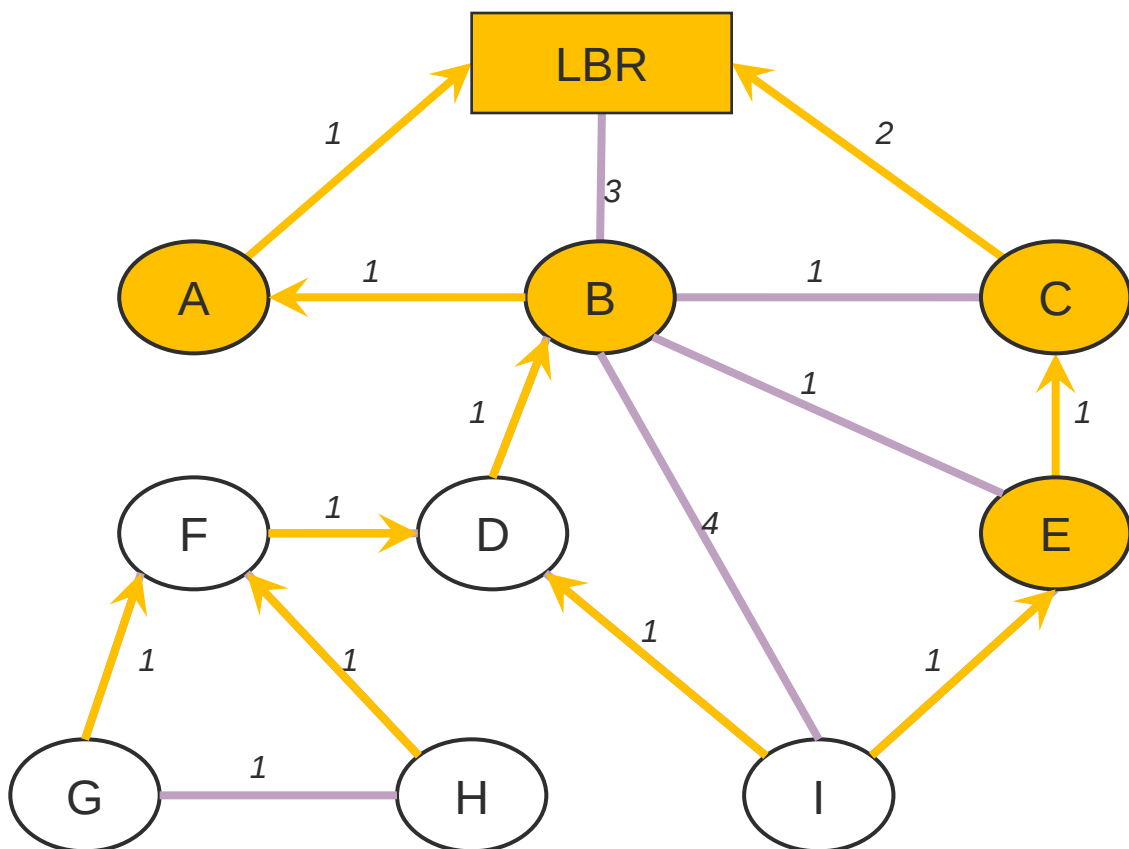
- A C csomópont DIO időzítője lejár
- C egy multicast DIO üzenetet küld szomszédjainak
- Az LBR figyelmen kívül hagyja, mert egy mélyebb csomóponttól (rank) jött
 - $\text{Rank}(\text{LBR}) = 0$, $\text{Rank}(\text{C}) = 1$
 - Szükséges a hurkok elkerülésére
- B bejegyzí C-t mint egy alternatív DODAG szülő
- E belép a DODAG-ba, C-t bejegyzí szülőnek

DODAG építés



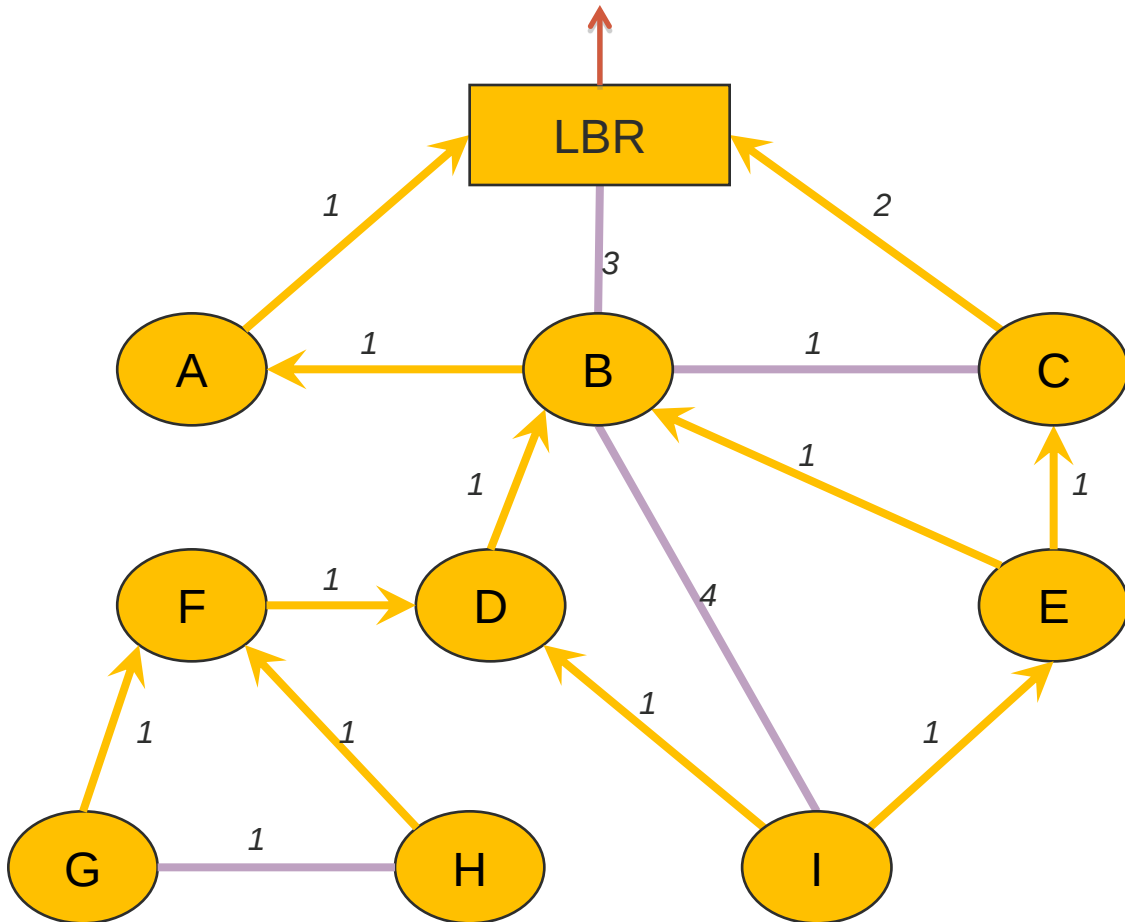
- Az A csomópont DIO időzítője lejár
- A multicast DIO üzenetet küld szomszédjainak
- Az LBR figyelmen kívül hagyja
- B bejegyzi A-t alternatív szülőnek
- Mivel jobb OF (ETX) érték van az A-n keresztül, ezért B törli az LBR-t és C-t szülői közül

DODAG építés



- A DODAG építés folytatódik...
- A DODAG folyamatos karbantartása is történik

MP2P (Multi-Point to Point) forgalom



- MP2P forgalom a DODAG mentén, minden csomópontból az LBR felé
 - UPWARD routing
- Az LBR kapcsolódhat más hálózatokhoz (az Internethez)
- A csomópontok párhuzamosan több DODAG-ban is részt vehetnek

P2MP (Point to Multi-Point) forgalom

- Forgalom lefele irányban – DOWNWARD routing
 - Routing információt kell kiépíteni
- **DAO (DODAG Destination Advertisement) üzenetek**
 - Ha egy csomópont belép a DODAG-ba, küld egy DAO-t a szüleinek
 - Kezdeményezheti az LBR is, vagy bármelyik közbenső csomópont a DODAG-ban
 - Jelzi a lefele haladó DIO üzenetben
 - A DAO időzítők (DelayDAO) úgy vannak beállítva, hogy a DODAG-ban lentebb levő csomópontoknál hamarabb járnak le
 - A DAO üzenetben jelzik milyen hálózati prefix érhető el rajtuk keresztül

P2MP (Point to Multi-Point) forgalom

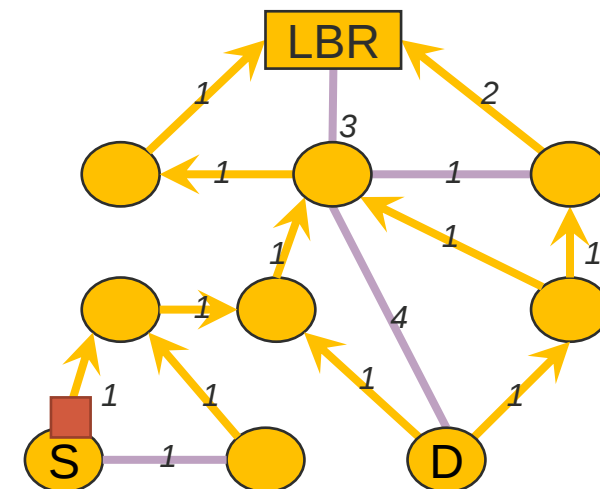
- Az LLN csomópontok nem biztos, hogy tudnak tárolni routing bejegyzéseket
 - Ha igen – **storing mode**
 - Ha lehet aggregálja a gyerekeitől kapott prefixet a sajátjával, és ezt küldi majd tovább
 - Ha nem – **non-storing mode**
 - Source-routing: a DAO üzenet tárolja az útvonalat
- Vagy storing mode, vagy non-storing, a vegyes megoldást nem szabványosították
 - Bár eredetileg szerepelt az elképzelésekben
- Előnyök és hátrányok
 - Storing mode-ban bejegyzéseket kell tárolni, de rövid üzenetek
 - Non-storing mode-ban nem kell semmit tárolni, de hosszú üzenetek, sok energia elküldeni őket

P2P (Point-to-Point) forgalom

- A DODAG bármely két S (Source) és D (Destination) csomópontja között

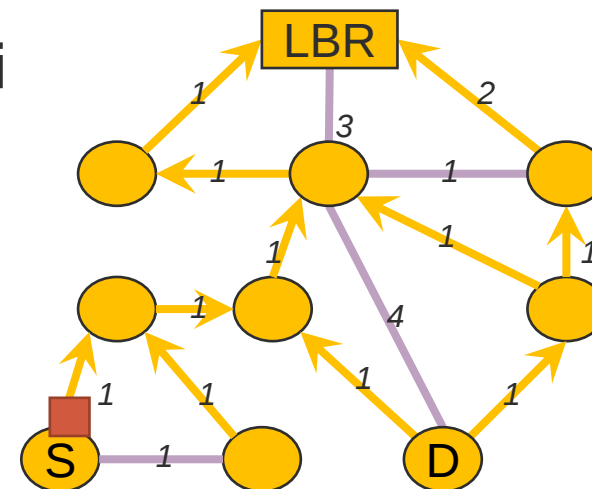
- Ha non-storing mode:

- Az S-től fel kell menni a DODAG mentén az LBR-hez
- Az LBR-től aztán source routing a D-hez

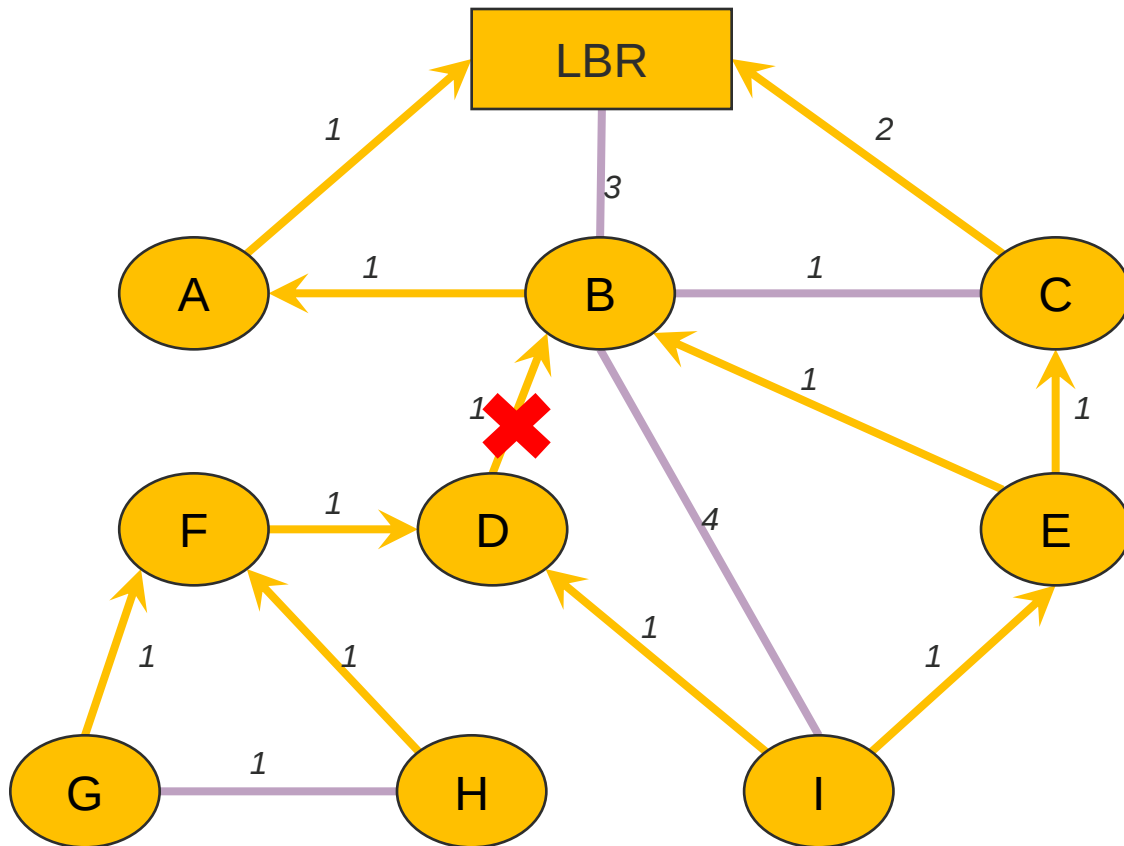


- Ha storing mode:

- Az első közös ősnél rögtön a D felé le lehet vágni

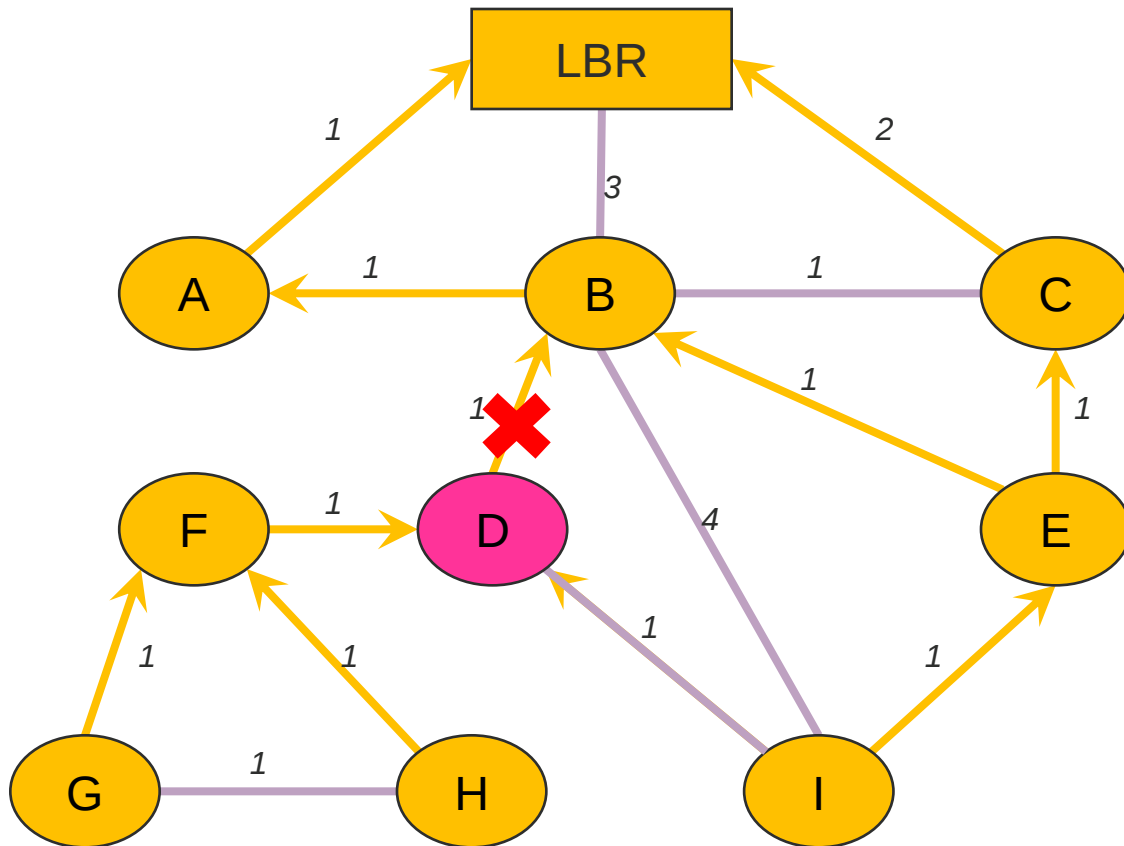


DODAG karbantartása



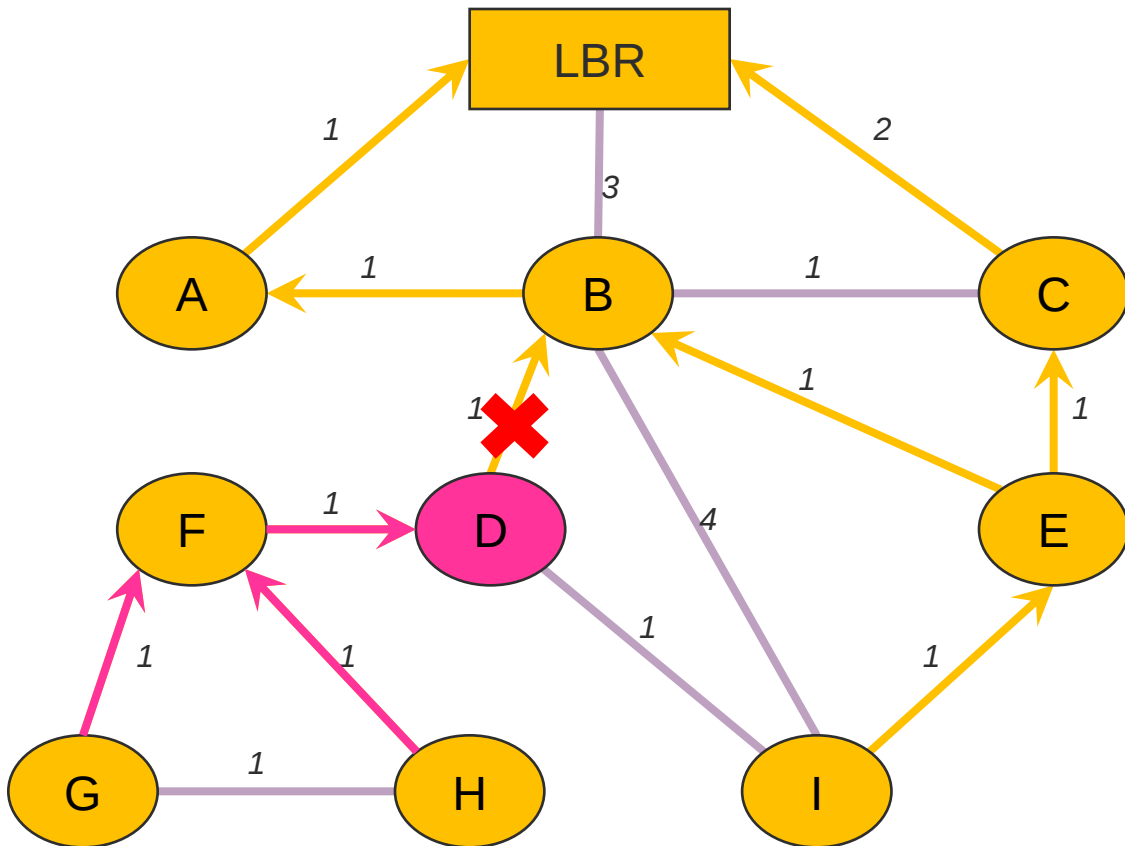
- **Grounded DODAG** (kicövekelt)
 - Egy olyan DODAG mely megfelel egy bizonyos OF-nek, meghatározott metrikákat és megkötéseket figyelembe véve
- **Floating DODAG** (lebegő)
 - Egy olyan DODAG mely nem felel meg a követelményeknek
 - Átmeneti állapot, ezt a DIO üzenetben lehet jelezni a G (Grounded) bit beállításával
- Mi történik ha B és D között a kapcsolat megszakad?
- D törli B-t a szülei közül
- Mivel D-nek nincs más szülője, egy lebegő (floating) DODAG gyökere lesz

DODAG karbantartása



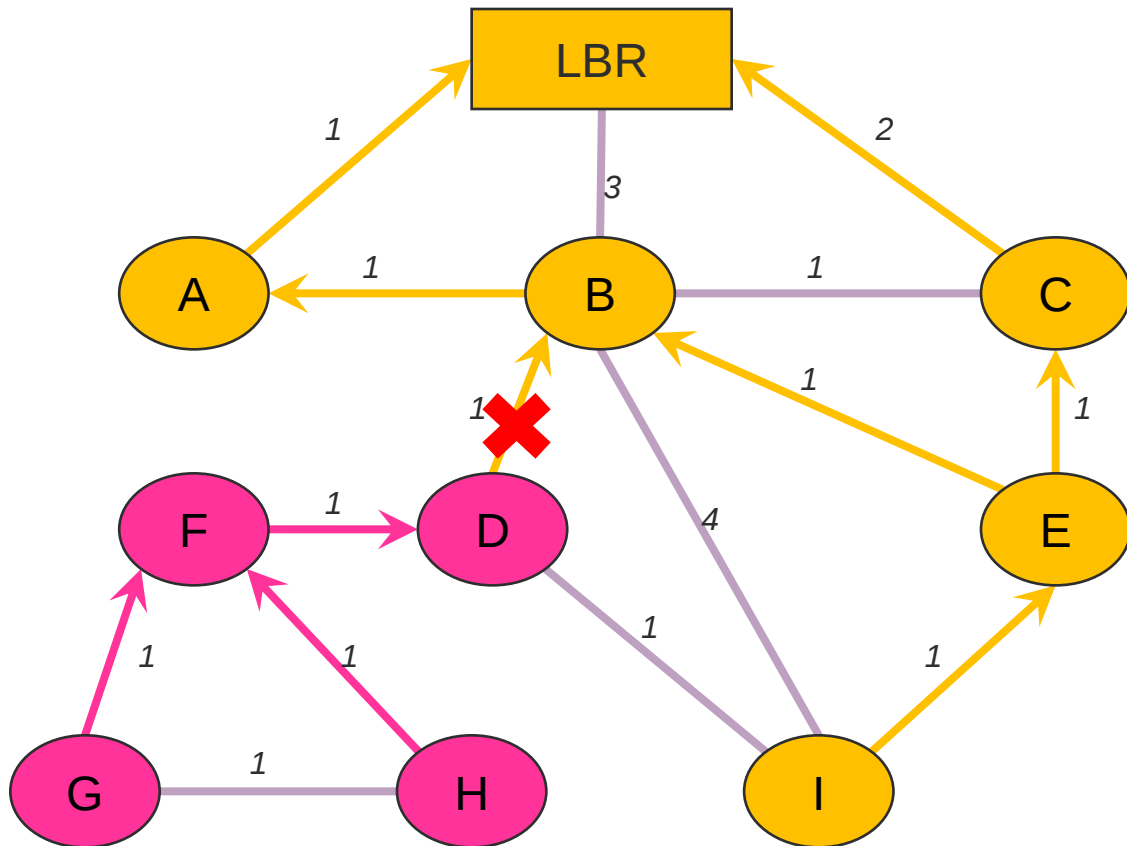
- D küld egy multicast DIO üzenetet a szomszédjainak, értesítve őket a változásról
- Az I csomópontnak van egy alternatív szülője (E), továbbra is csatlakozik rajta keresztül az LBR gyökerű Grounded DODAG-hoz
- Mivel D már nem tagja ennek a DODAG-nak, I törli a szülői közül

DODAG karbantartása



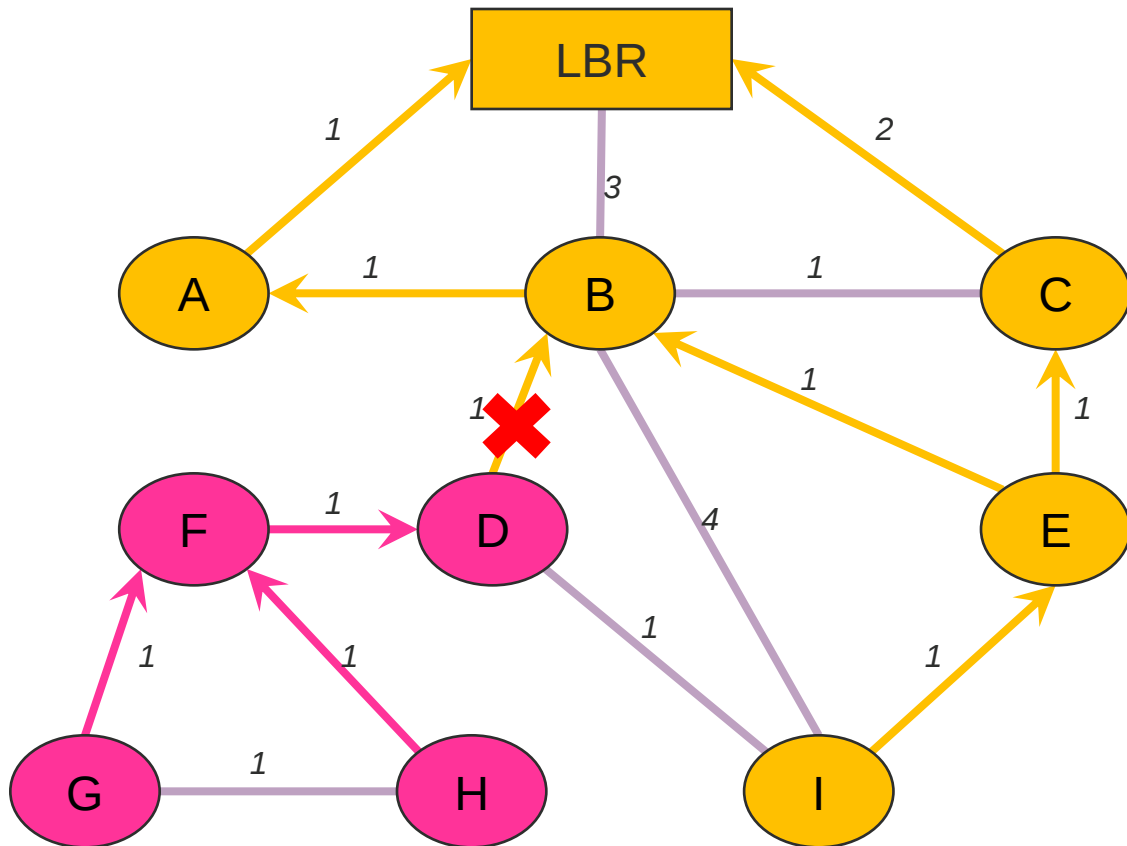
- F nem tud az LBR DODAG-jában maradni (nincs alternatív szülője) ezért marad D-vel a lebegő DODAG-ban
- F multicast DIO üzenetet küld a szomszédjainak
- G és H szintén követik F-et a lebegő DODAG-ban

DODAG karbantartása



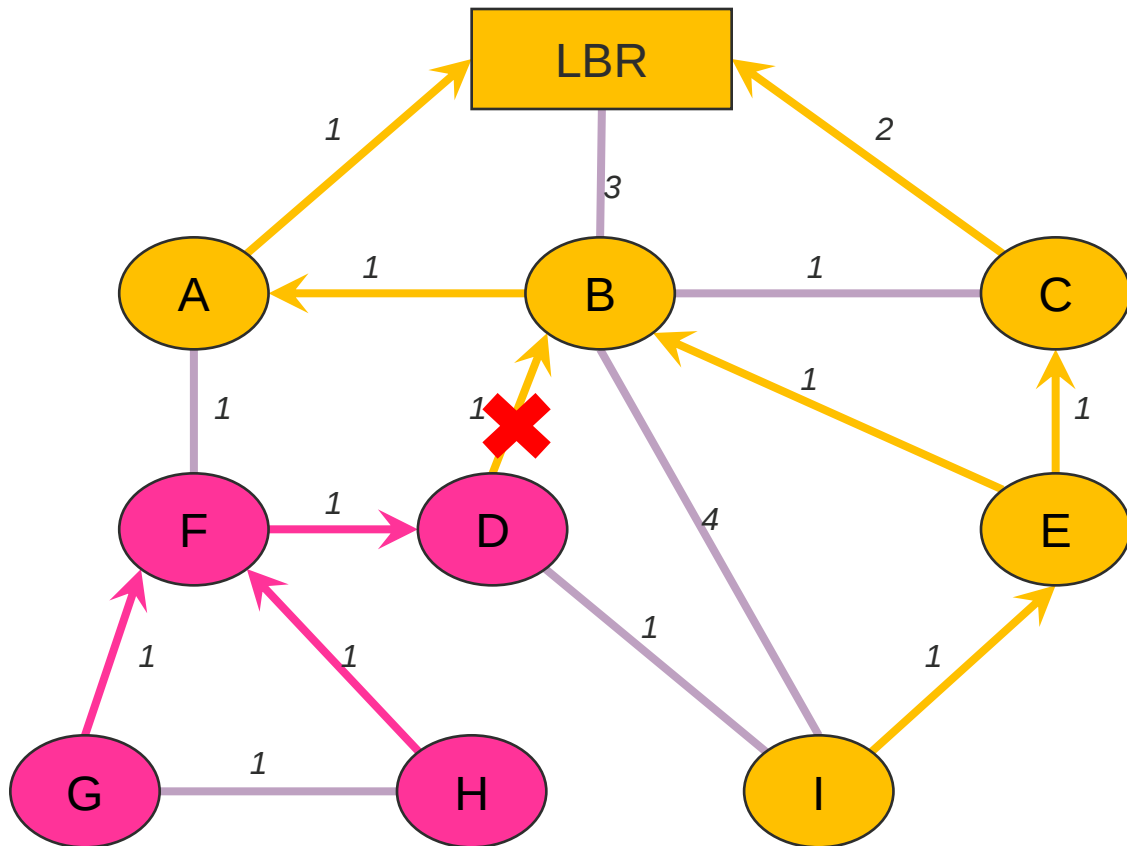
- Kialakult egy lebegő DODAG, melynek D a gyökere
- Az LBR-hez kapcsolódó összes útvonalat törlik
- A lebegő DODAG megpróbál újra csatlakozni a grounded DODAG-hoz...

DODAG karbantartása



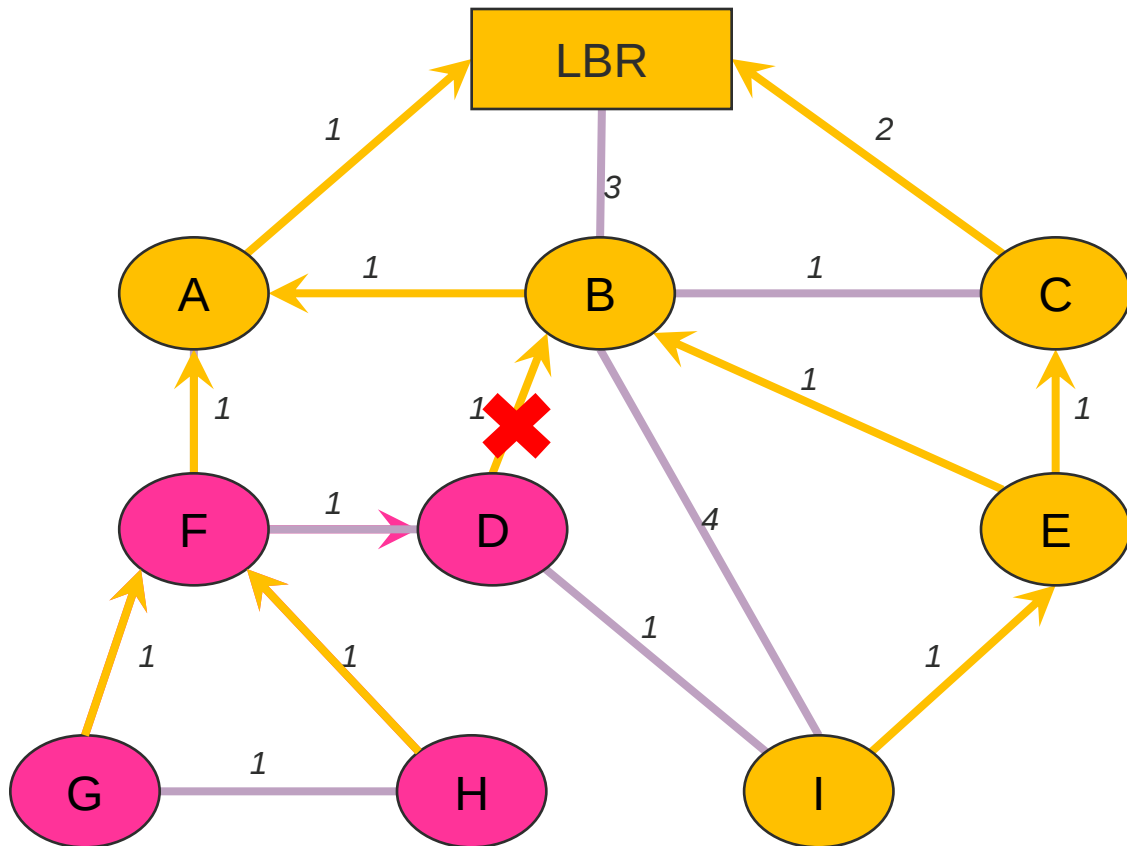
- I küld egy multicast DIO üzenetet
- D látja, hogy csatlakozhatna az LBR DODAG-jához rajta keresztül
- D elindít egy időzítőt az I csomópontra vonatkozóan
 - Időzítő értéke függ az I csomópont mélységétől
 - Minél közelebb akar csatlakozni az LBR-hez

DODAG karbantartása



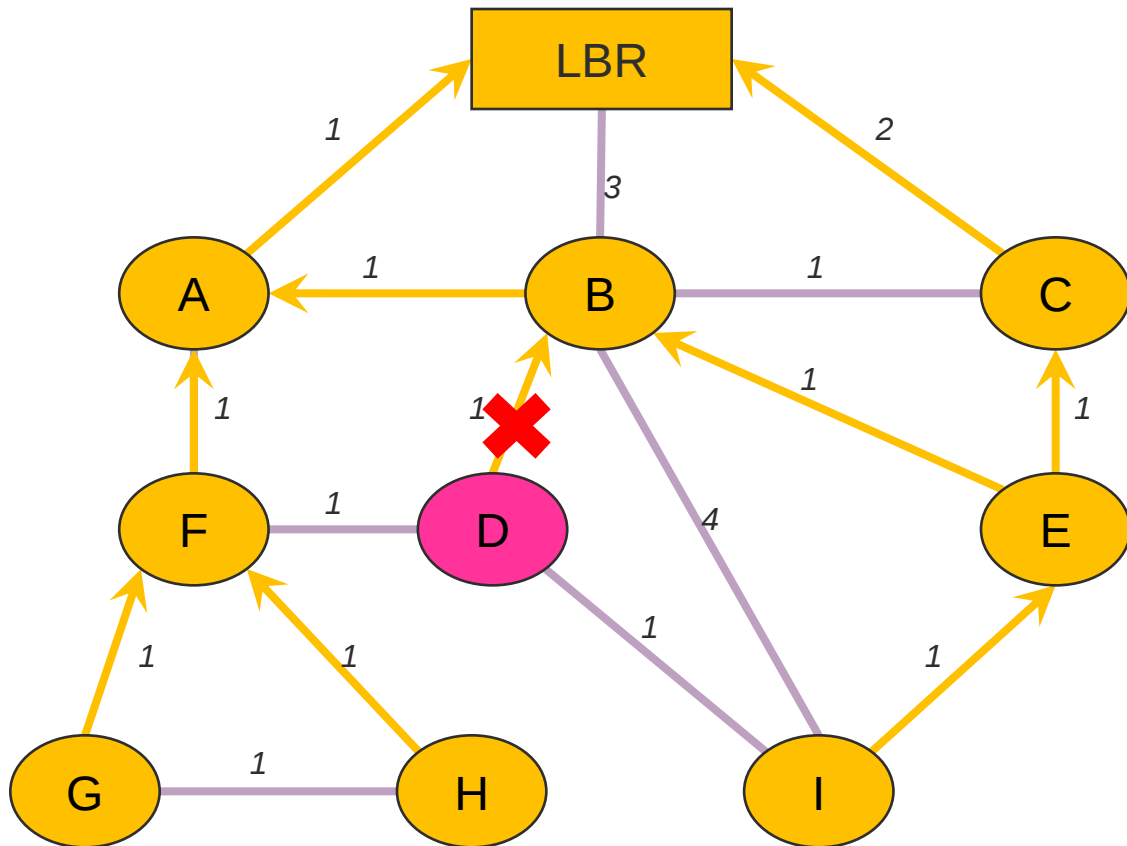
- Tegyük fel, hogy elérhetővé válik a kapcsolat A és F között
- A küld egy multicast DIO üzenetet
- F látja, hogy tudna csatlakozni a grounded DODAG-hoz A-n keresztül
- F elindít egy időzítőt az A csomópontra vonatkozóan

DODAG karbantartása



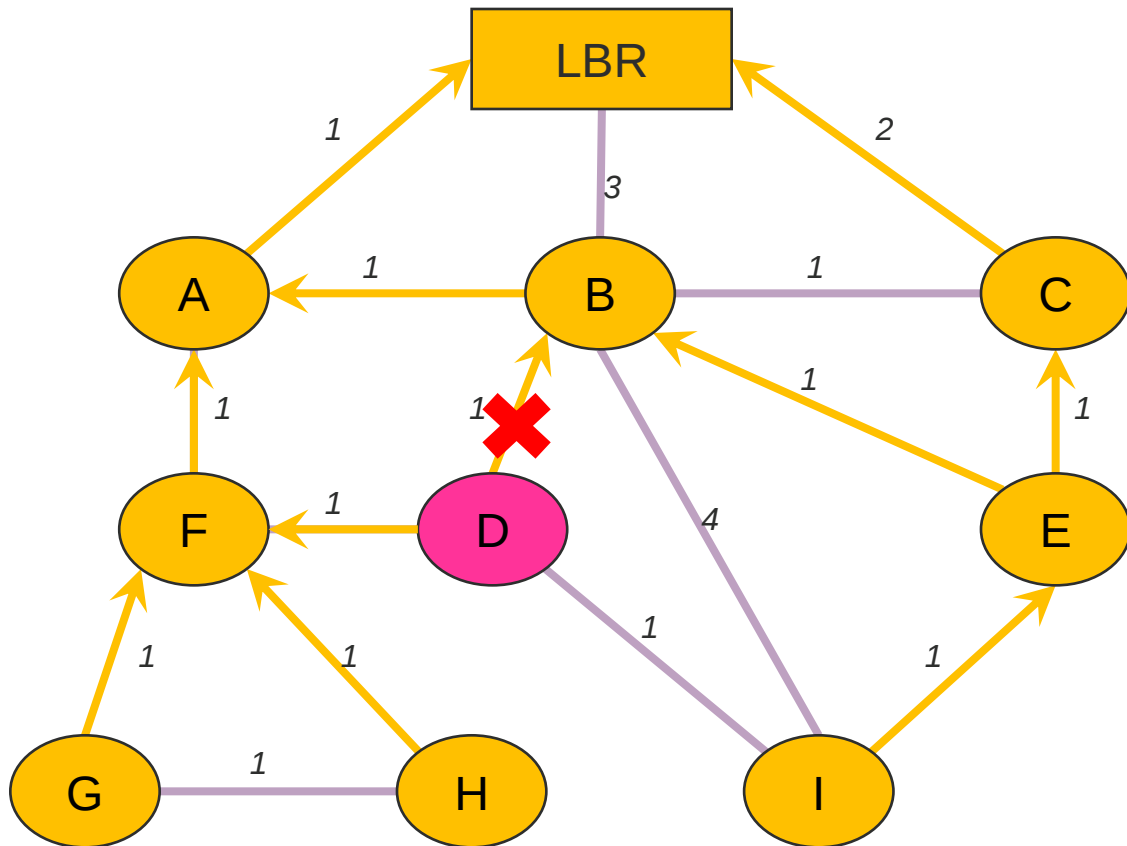
- F időzítője lejár
- F csatlakozik a grounded DODAG-hoz A-n keresztül, törli D-t a szülői közül
- F küld egy multicast DIO üzenetet
- G és H csatlakoznak a grounded DODAG-hoz F-en keresztül

DODAG karbantartása



- D látja, hogy csatlakozhatna a grounded DODAG-hoz F-en keresztül is
- D elindít egy időzítőt F-re vonatkozóan, a már futó, I-re vonatkozó időzítő mellett.

DODAG karbantartása



- Az F-re vonatkozó időzítő hamarabb lejár
- D csatlakozik a grounded DODAG-hoz F-en keresztül
- A lebegő DODAG megszűnik, hurkok kialakulása nélkül kezeltük a hibát

Becsatlakozás

- Amikor egy csomópont megjelenik (bekapcsolják, bemozog a területre), vár DIO üzenetekre
 - Ha kap ilyeneket szomszédoktól, eldönti hova csatlakozzon
 - Ha nem kap semmit, vagy siet, küld egy DIS üzenetet
 - **DODAG Information Solicitation**
 - Triggerel DIO üzeneteket ezzel
 - Ha nem kap DIO-t, eldönti, hogy egy lebegő DODAG gyökere lesz
 - Elkezd multicast DIO üzeneteket küldeni saját maga

További részletek

Add	Document	Title	Date	Status
Active Internet-Drafts				
	draft-ietf-roll-admin-local-policy-03	Forwarder policy for multicast with admin-local scope in the Multicast Protocol for Low power and Lossy Networks (MPL)	2015-02-06	RFC Ed Queue (for 25 days) RFC Editor State: MISSREJ Submitted to IESG for Publication
	draft-ietf-roll-applicability-ami-10	Applicability Statement for the Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks (RPL) in AMI Networks	2015-01-30	I-D Exists In WG Last Call Oct 2012
	draft-ietf-roll-applicability-home-building-09	Applicability Statement: The use of the RPL protocol suite in Home Automation and Building Control	2015-03-25 new	IESG Evaluation (for 9 days) IESG Telechat: 2015-04-09 Submitted to IESG for Publication Oct 2012
	draft-ietf-roll-applicability-template-06	ROLL Applicability Statement Template	2014-11-10	I-D Exists WG Document Jan 2013
	draft-ietf-roll-mpl-parameter-configuration-03	MPL Parameter Configuration Option for DHCPv6	2015-01-20	I-D Exists In WG Last Call
	draft-ietf-roll-trickle-mcast-11	Multicast Protocol for Low power and Lossy Networks (MPL)	2014-11-24	IESG Evaluation::Revised I-D Needed (for 57 days) Submitted to IESG for Publication

RFCs

	RFC 5548 (was draft-ietf-roll-urban-routing-reqs)	Routing Requirements for Urban Low-Power and Lossy Networks	2009-05	RFC 5548 (Informational)
	RFC 5673 (was draft-ietf-roll-indus-routing-reqs)	Industrial Routing Requirements in Low-Power and Lossy Networks	2009-10	RFC 5673 (Informational)
	RFC 5826 (was draft-ietf-roll-home-routing-reqs)	Home Automation Routing Requirements in Low-Power and Lossy Networks	2010-04	RFC 5826 (Informational) Errata
	RFC 5867 (was draft-ietf-roll-building-routing-reqs)	Building Automation Routing Requirements in Low-Power and Lossy Networks	2010-06	RFC 5867 (Informational)
	RFC 6206 (was draft-ietf-roll-trickle)	The Trickle Algorithm	2011-03	RFC 6206 (Proposed Standard)
	RFC 6550 (was draft-ietf-roll-rpl)	RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks	2012-03	RFC 6550 (Proposed Standard) Errata
	RFC 6551 (was draft-ietf-roll-routing-metrics)	Routing Metrics Used for Path Calculation in Low-Power and Lossy Networks	2012-03	RFC 6551 (Proposed Standard) Errata
	RFC 6552 (was draft-ietf-roll-of0)	Objective Function Zero for the Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL)	2012-03	RFC 6552 (Proposed Standard)
	RFC 6719 (was draft-ietf-roll-minrank-hysteresis-of)	The Minimum Rank with Hysteresis Objective Function	2012-09	RFC 6719 (Proposed Standard)
	RFC 6997 (was draft-ietf-roll-p2p-rpl)	Reactive Discovery of Point-to-Point Routes in Low-Power and Lossy Networks	2013-08	RFC 6997 (Experimental)
	RFC 6998 (was draft-ietf-roll-p2p-measurement)	A Mechanism to Measure the Routing Metrics along a Point-to-Point Route in a Low-Power and Lossy Network	2013-08	RFC 6998 (Experimental)
	RFC 7102 (was draft-ietf-roll-terminology)	Terms Used in Routing for Low-Power and Lossy Networks	2014-01	RFC 7102 (Informational)
	RFC 7416 (was draft-ietf-roll-security-threats)	A Security Threat Analysis for the Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPLs)	2015-01	RFC 7416 (Informational)

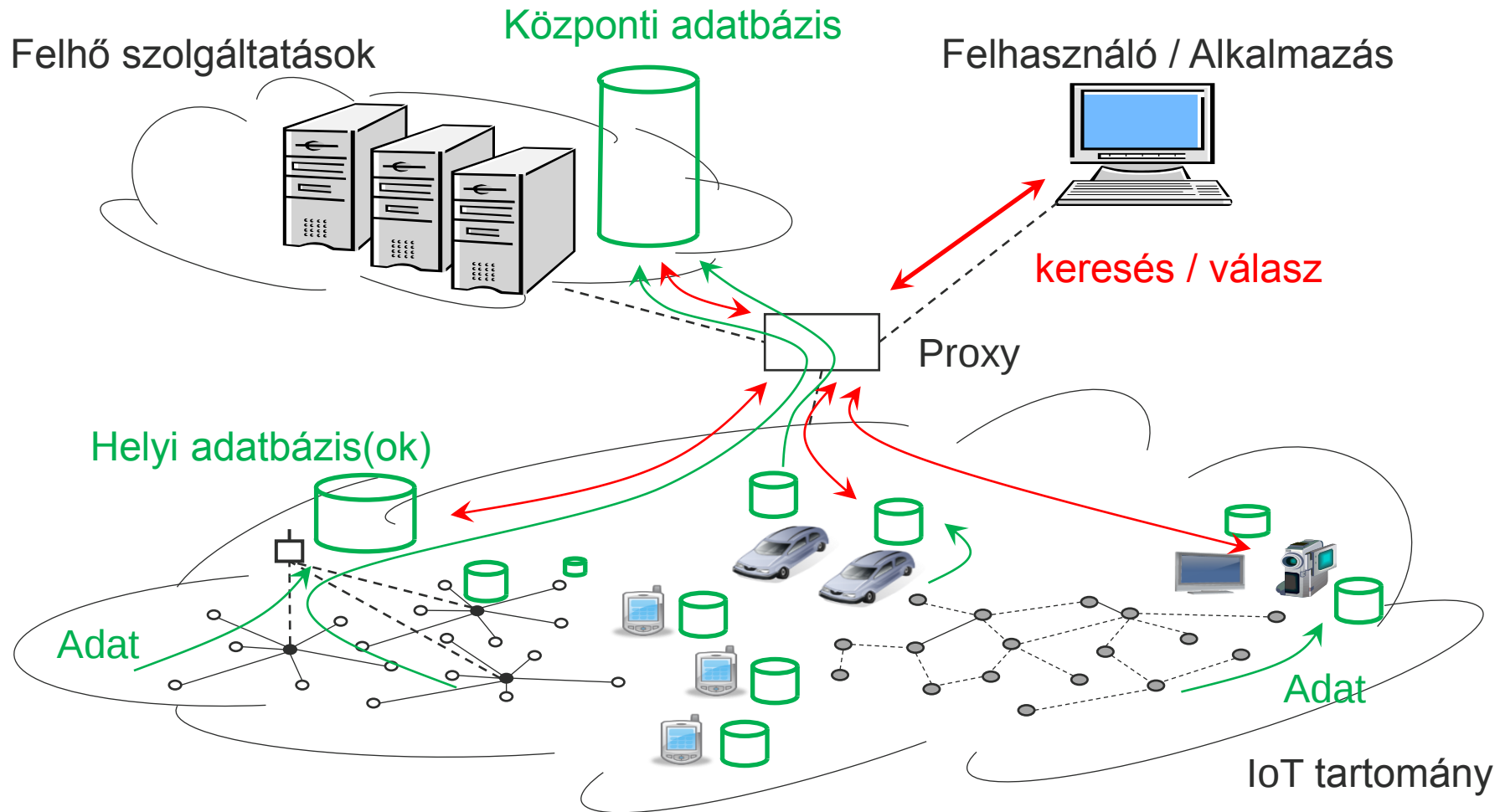
IoT vs. Cloud

- **Tudok adatokat gyűjteni, és kommunikálni. Más feladat?**
 - **Hol tárolom el a begyűjtött nyers adatokat?**
 - **Hogyan dolgozom fel őket?**
 - Szűrés, aggregálás, korrelációs elemzés, stb. – **Big Data**
 - **Hogyan csatolom vissza az információt az IoT-be?**
- Az IoT eszközök nem tudják hosszú távon tárolni, feldolgozni az adataikat
 - Korlátozott memória (RAM, Flash), CPU, energia
- **De tényleg küldjünk ki mindent a felhőbe?**
 - A rádiós kommunikáció nagyon sok energiába kerül
 - Célszerű egy előfeldolgozást és aggregálást helyben elvégezni
 - A mérés és az adatküldés két külön feladat
 - Mélni az alkalmazás igényei szerint kell
 - Adatküldés az erőforrások alapján optimalizálva



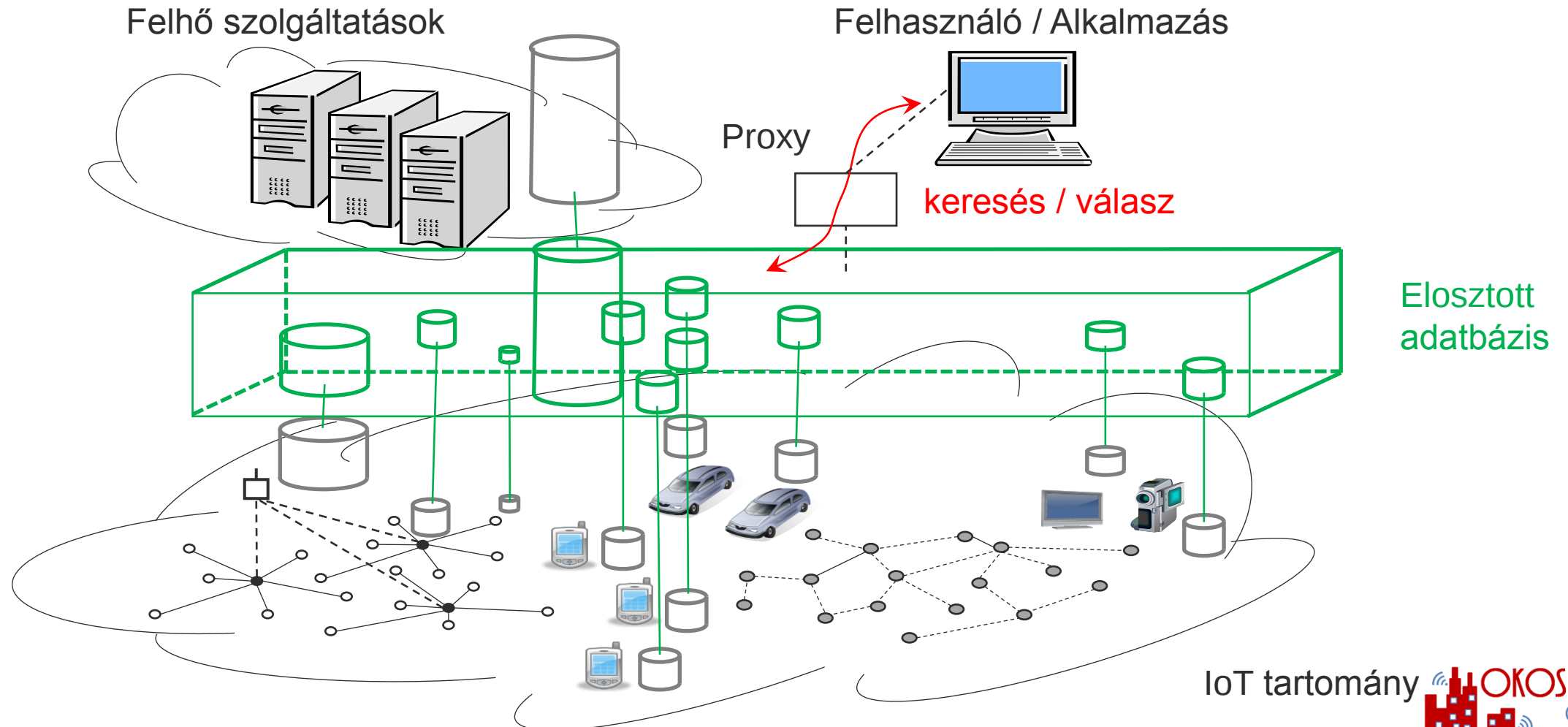
IoT vs. Cloud

- Adatok a felhőben, de az IoT tartományban is



IoT vs. Cloud

- Elosztott adatbázis a felhő és az IoT tartomány között



Caching az IoT-ben

- Népszerű videók a Youtube-on
 - (Lassan) változó népszerűség, de statikus tartalom
 - (Viszonylag) könnyű cache-elni
- Népszerű weboldalak
 - Statikus oldalakat egyszerű cache-elni
 - A dinamikus oldalakat nehezebb, általában közvetlenül a szerverről szolgálják ki
- Népszerű IoT adatok
 - „Milyenek a forgalmi viszonyok jelenleg a Lánchídon?”
 - **Nehezen cache-elhető, de érdemes**
 - Nem csak a rádiós erőforrások, de az energia kímélése miatt is

Köszönöm a figyelmet!

