



Mobilitás és MANET

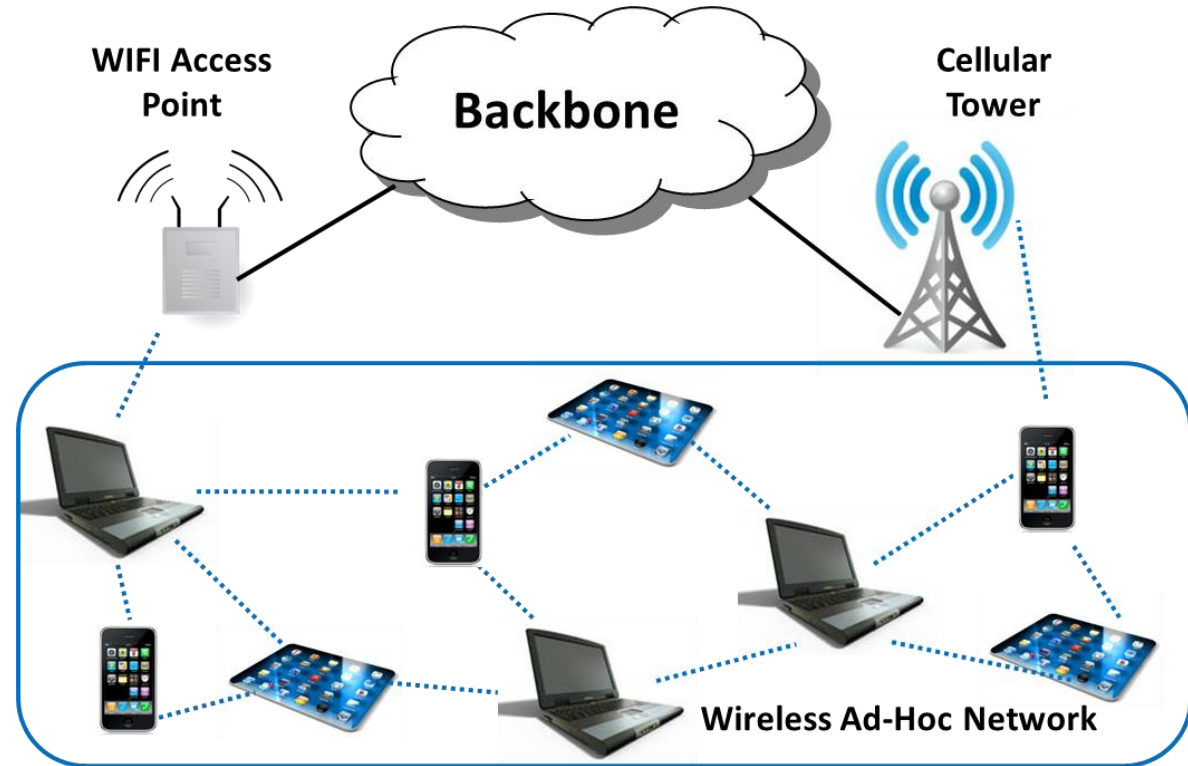
Intelligens közlekedési rendszerek

VITMMA10 – Okos város MSc mellékspecializáció

Vida Rolland

Áttekintés

- MANET – Mobile Ad Hoc Networks
- **„Ad Hoc”** jelentése
 - Azonnal, ideiglenesen, előkészület nélkül
 - Ad hoc bizottság = ideiglenes testület, rendkívüli, a szervezet folyamatos működésétől eltérő feladat megoldására



Ad hoc hálózatok

- **Infrastruktúra-mentes hálózat**

- Internet kapcsolat nélkül
- Előre telepített szerverek (AAA, DHCP, stb.), szolgáltatások nélkül

- **Nincs IP alhálózat alapú címzés**

- Problémát okoz a “klasszikus” routing protokollok számára

- **Nincsenek megbízható (stabil) hálózati eszközök**

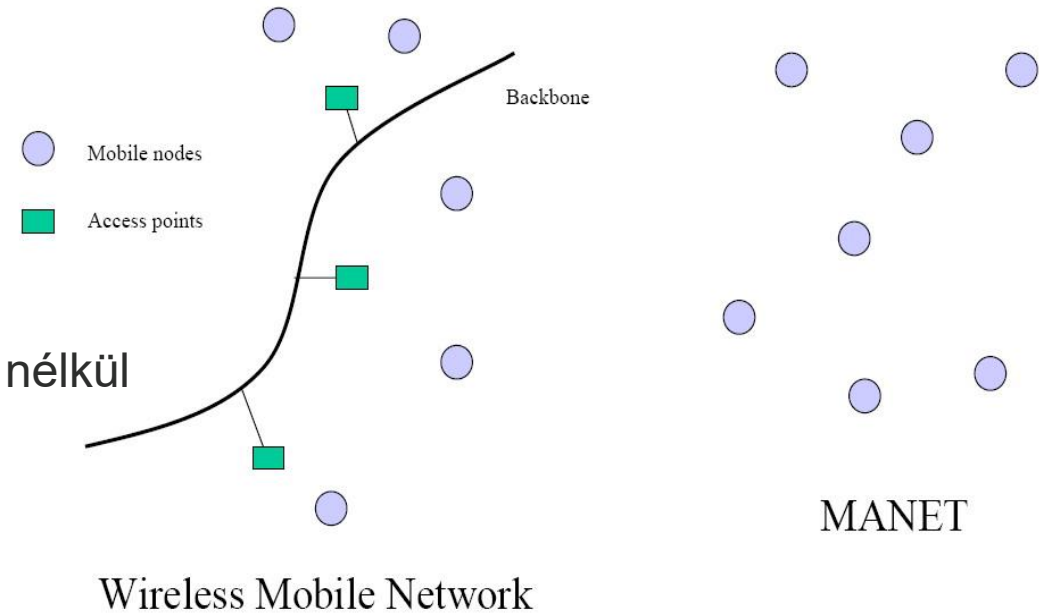
- Bármikor változhat a „szomszédom” állapota – lemerül, eltávolodik, stb.
- Nem ismerem a szomszédomat, nem tudom hogy megbízhatók-e benne

- **Önszerveződés**

- Peer-to-peer paradigma (layer 3, hálózati szinten)

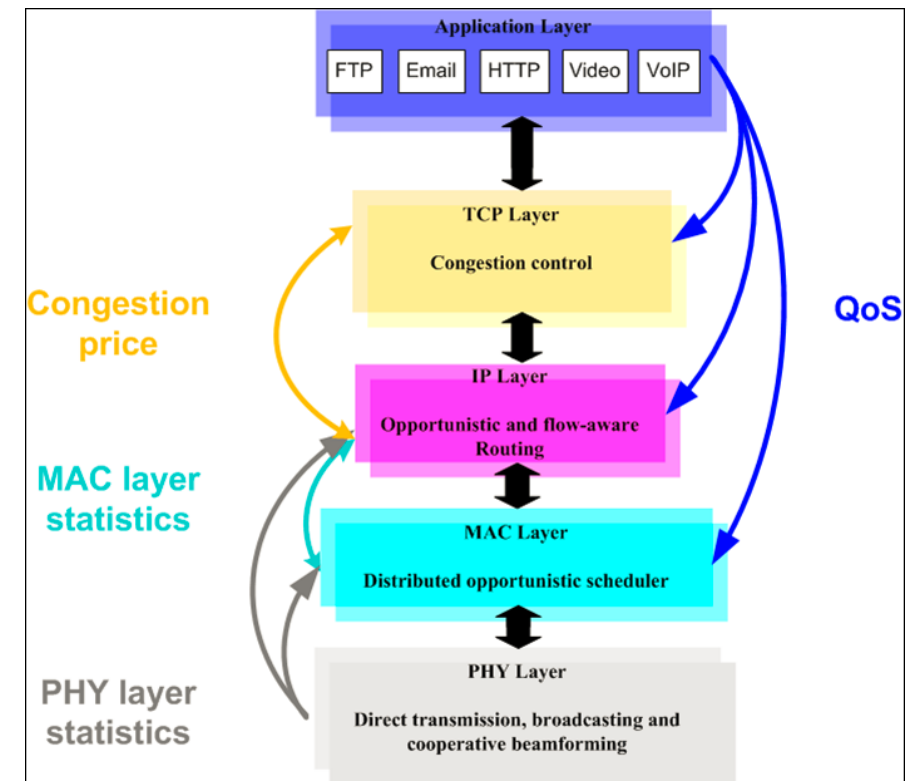
- **Multi-hop**

- kommunikáció (routing) több ugráson (eszközön) keresztül



MANET kutatási témák

- Fizikai réteg -> „*mobilitás modellek*”
 - Energiatakarékos működés, adaptív rádiós teljesítmény
 - Mobilitáshoz igazított rádiós technológiák
- **Adatkapcsolati réteg**
 - MAC (osztott közeghozzáférés, hatékonyság, ütközések csökkentése)
- **Hálózati réteg**
 - Útválasztás (dinamikus topológia, prefix-alapú routing nem működik)
- Felsőbb rétegek
 - Csomag újraküldés, TCP (csomagvesztés, „bizonytalan” közeg)
 - Biztonság (kiterjeszhető mindegyik rétegre)
- Cross-layer optimization
 - Az ISO/OSI model több rétegének együttes optimalizálása
 - Minden egyes rétegnek van hatása a mobilitásra

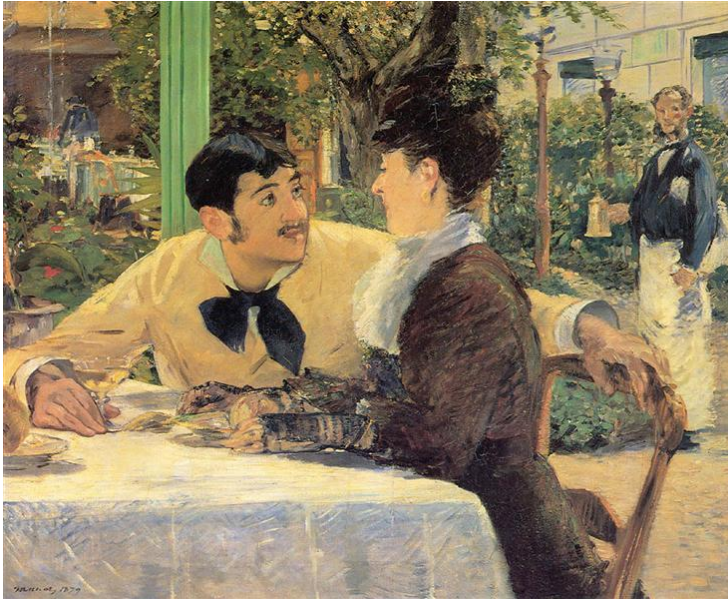
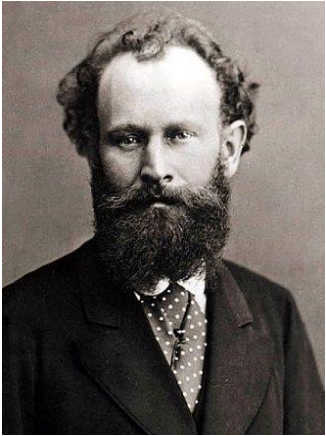


Mobilitás típusok

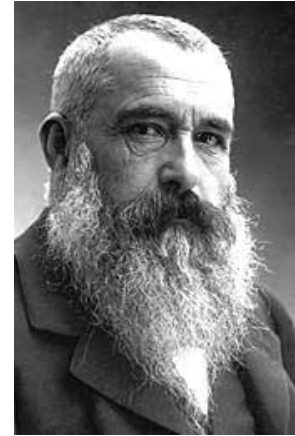
- Nomád (**nomadic**) mobilitás
 - Mozgás során *nincs* aktivitás – kikapcsolt állapot
 - Új cím kiosztása, a régi kapcsolatok felvétele a helyváltoztatás után.
- Lassú (**slow**) mobilitás
 - Pl. konferencia halljában sétáló emberek
 - egyetemi campus – sétáló, bicikliző diákok
 - várótermek
- Gyors (**fast**) mozgás
 - Autók, motorkerékpárok, ...
- Együtt mozgó hálózatok...

MANET vs. MONET

Edouard MANET



Claude MONET



Mobile Ad Hoc Network

Moving Networks

- Együttmozgó hálózatok
 - Pl.: vonat, metró, busz, repülőgép utasai
- Alternatív elnevezés
 - **Networks in Motion – NEMO**

NEMO – mozgó hálózatok

- Sok MN közös mozgása
 - Ha amúgy is együtt mozognak, kezeljük együtt a mobilitásukat
- MR (mobil router) – default gateway
 - A NEMO-tagok és a külvilág közti kapcsolat biztosítása
 - Dedikált eszköz, vagy egy a sok közül (periodikusan szerepet cserélve)
 - Jellemzően a legerősebb akku, legnagyobb sávszélesség, stb.
- Az MN-eknek regisztrálniuk kell az MR-en
 - Az MR alhálózatához tartoznak
 - “Fix” csomópontok a hálózatban, (MR-hez képest) a relatív helyzetük változatlan
 - Emiatt Fixed Local Node-ként (FLN) is hivatkozzák őket

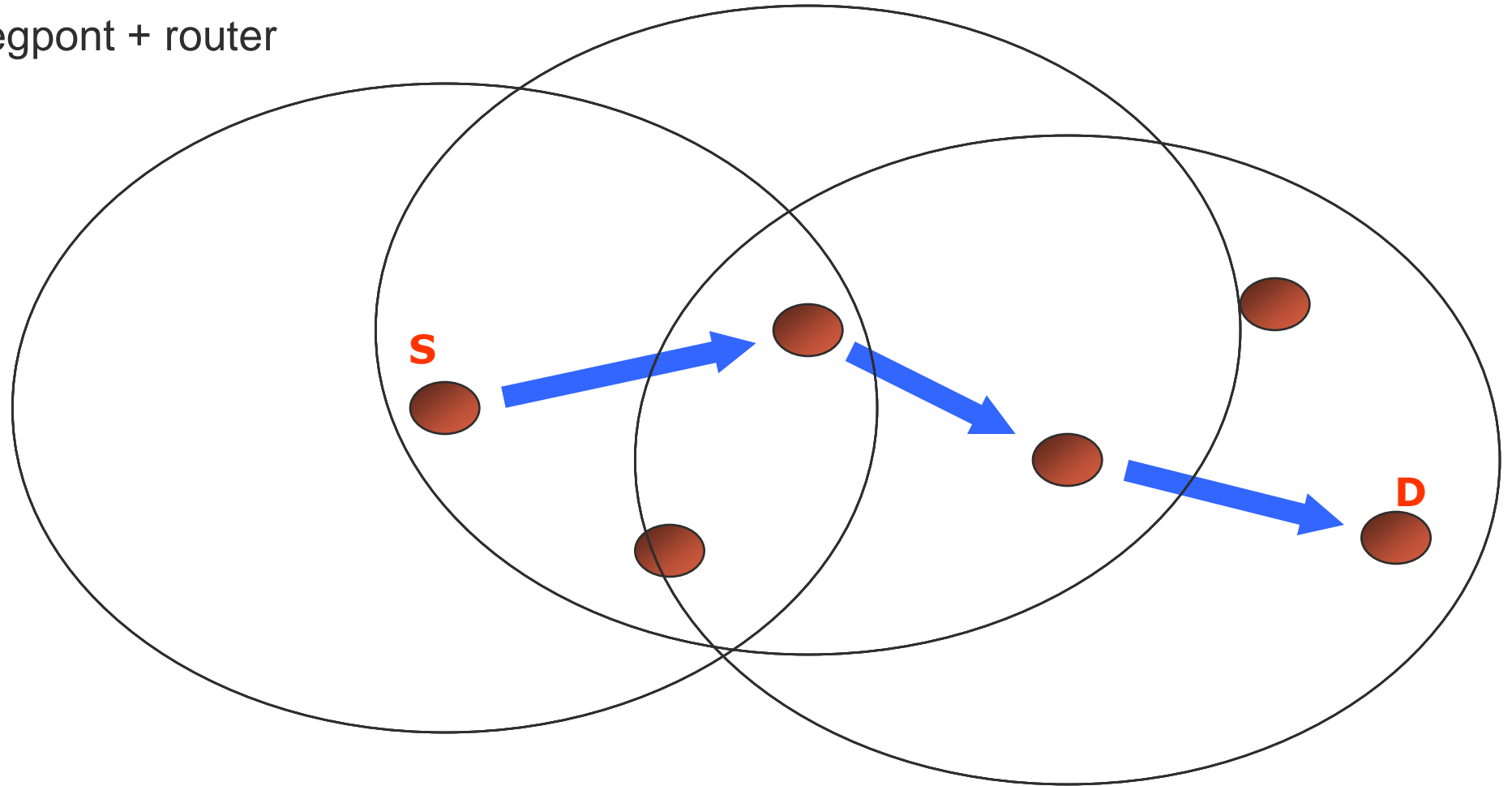


NEMO hatékonysága függ a környezetétől

- (Lehetséges) hátrány:
 - Pl. 100 MN 3G/4G mobil internet hozzáféréssel egy városi környezetben
 - Ha az MN-ek nem lépnek be a NEMO-ba
 - - egyedi mobilitás menedzsment szükséges mind a 100 MN részére
 - + Egyenként megkapják a technológia által biztosított sávszélességet
 - Ha az MN-ek mind ugyanabba a NEMO-ba lépnek be
 - A szűk keresztmetszet az MR link kapacitása
 - Legrosszabb esetben az MN-ek csak 1/100-ad részét kapják az előző esetben számolt sávszélességnek
- (Lehetséges) előny:
 - Pl. 100 MN egy repülőgépen akar hálózatra csatlakozni
 - Gyakorlatilag az MR az egyetlen lehetőség a kapcsolatra
 - A mobilitás menedzsment optimális
 - Csak az MR mobilitását kell menedzselni

MANET routing

- Pontról pontra
- Mobil állomás = végpont + router



Általában az útválasztásról

- Nagyon sok útválasztó protokollt kidolgoztak
 - Egyesek speciálisan a MANET-re
 - Másokat adaptálták a vezetékes hálózatok világából
- Nincs egyetlen protokoll, amely minden helyzetben jól működik
 - Egyes megközelítések ún. **adaptív protokollokat** definiáltak
- Kívánatos tulajdonságok vezeték nélküli ad-hoc routingnál
 - Elosztott működés
 - Hurokmentesség
 - Igény szerinti működés
 - Biztonság
 - „Alvás” periódusok támogatása
 - Egyirányú linkek támogatása

MANET routing

- Két széles körben hivatkozott MANET
 - **Proaktív**
 - Folyamatosan karban tartja a routing táblát
 - Forgalomtól függetlenül
 - Viszonylag stabil hálózatok
 - DSDV – Bellman-Ford algoritmus alapján
 - **On demand, reaktív**
 - Csak akkor épít utat, ha csomagot kell küldeni a célnak
 - Ideiglenesen tart fent útvonalat
 - AODV
- Hibrid protokollok
 - Kombinálja az előző kettőt
- Helyzet-alapú protokollok
 - Földrajzi információkat alkalmaz az útválasztásnál



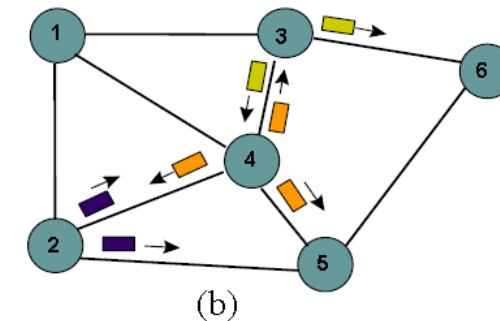
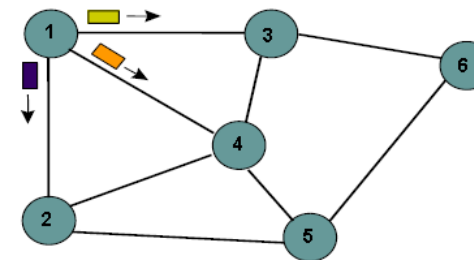
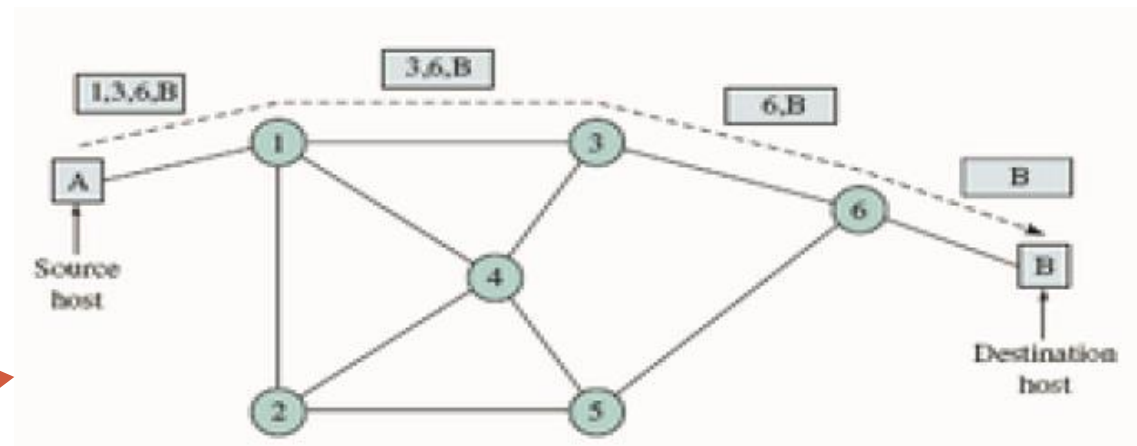
Megkötések

- Késleltetés
 - **Proaktív** protokollok kisebb késleltetési paramétert biztosítanak, hisz mindig van naprakész útvonal-táblájuk
 - **Reaktív** protokollok ellenben nagyobb késleltetéssel bírnak, hisz meg kell keresni az A-ból B-be vezető utat, ha szükséges.
- Overhead
 - **Proaktív** protokollok ellenben általában nagyobb overhead-et produkálnak
 - **Reaktív** protokollok esetén kisebb az overhead, hisz a felesleges utakat nem frissítik állandóan
- Az alkalmazásoknál ki kell választani a legmegfelelőbb protokollt
 - Kis mobilitás -> **Proaktív** protokoll
 - Nagy mobilitás -> **Reaktív** protokoll

Merre küldjem a csomagot?

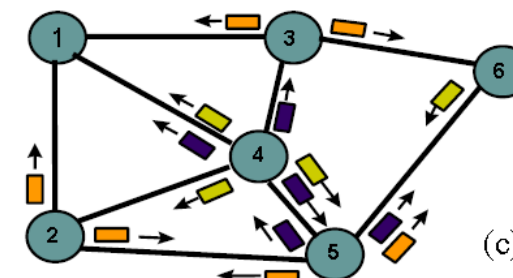
▪ Néha csak a forrás tudja

- A fejléc el kell tárolja a köztes csomópontok címét
 - Az útvonal ezt a listát követi
- Forrás-alapú routingnak (**source routing**) nevezik, mert a teljes útvonalat a forrás határozza meg
 - **Pl.: Dynamic Source Routing (DSR)**
- Nagyméretűre nőhet a fejléc
 - Fragmentáció, hatékonyság csökken
 - Különösen hosszabb útvonalak és kis hasznos adat esetén



▪ Néha senki se tudja

- Elárasztás alapú (**flooding**) megoldások
 - Mindenki továbbárasztja a kapott csomagot
 - Remélhetőleg eljut a célhoz is
- Nagy a terhelés a vezeték nélküli hálózaton, ahol kevés az erőforrás



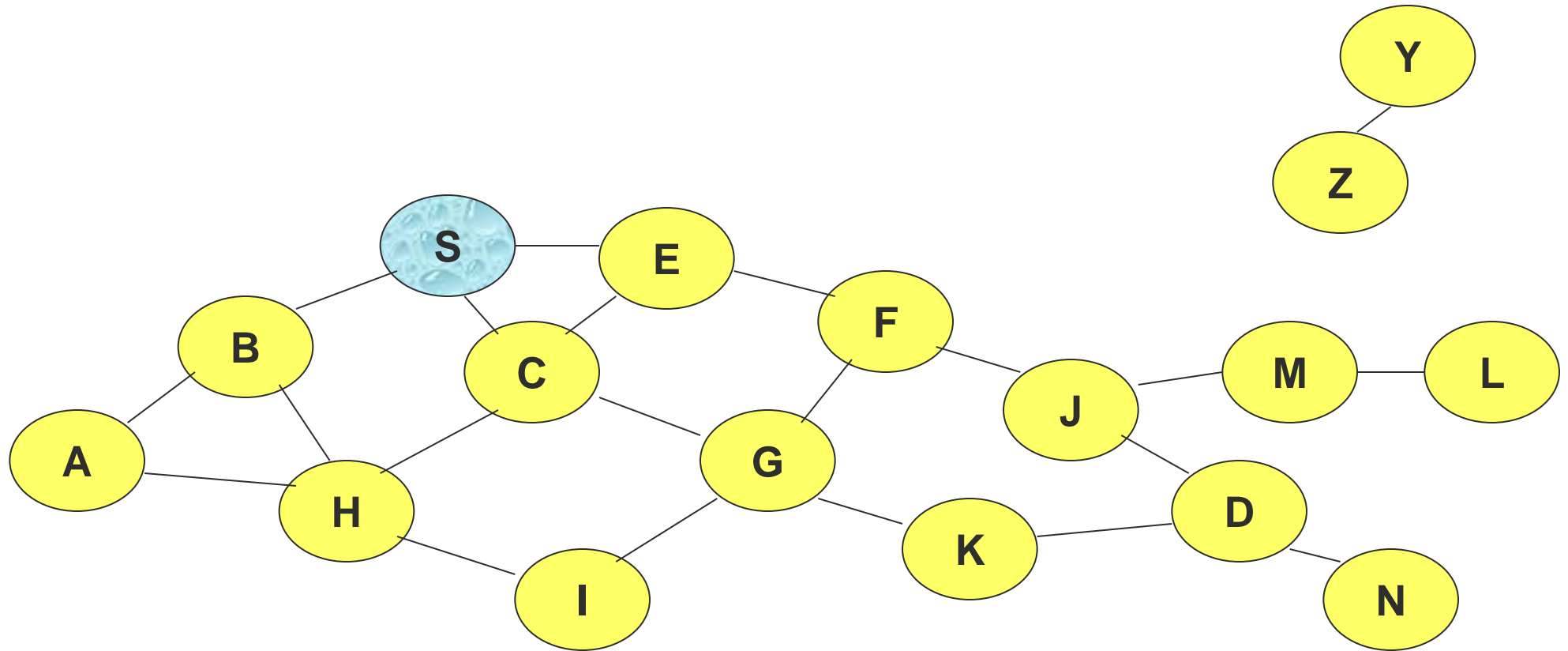
Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV)

- AODV igyekszik javítani a helyzetet
 - Routing táblát tart fent, nem kell a fejlécben tárolni a teljes útvonalat
- Ugyanakkor az AODV egy reaktív útvonal
 - Csak az aktív útvonalak esetében tart fent bejegyzést a routing táblákban

AODV

- Útvonal felderítéshez a forrás **Route Request (RREQ)** üzenettel árasztja el a hálózatot
 - RREQ-t csak egyszer küldünk, a forrás nem küldi újra
- Amikor egy csomópint újraküld egy Route Request üzenetet, egy **reverse path pointer**-t (visszaút mutató) jegyez be a forrás felé
 - AODV szimmetrikus (bi-directional, kétirányú) linket feltételez
 - Egy rövid időzítő biztosítja, hogy hamar (néhány RTT-nyi időn belül) kiöregedjenek ezek a bejegyzések
- Ha a RREQ eléri a D célállomást, az egy **Route Reply (RREP)** üzenettel válaszol
- A RREP a reverse path pointerek által meghatározott útvonalon éri el az S forrást

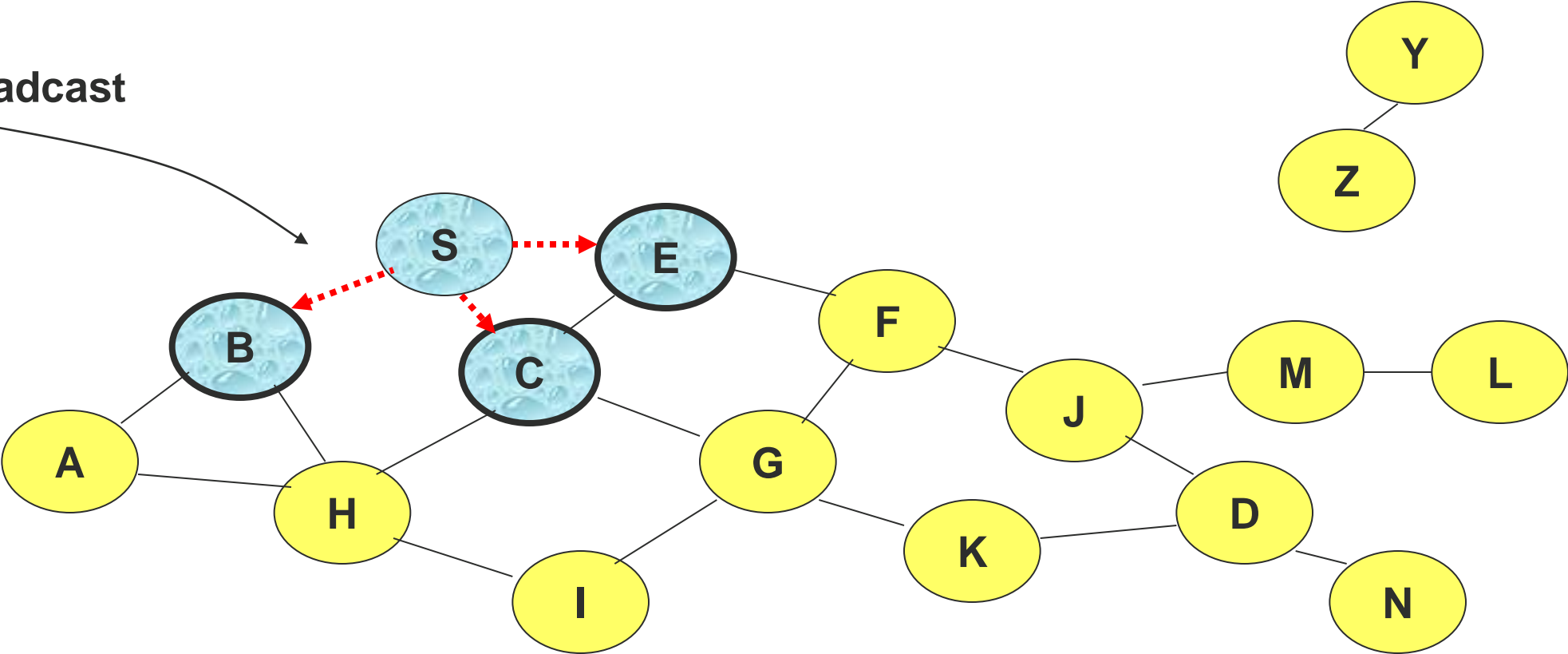
Route Request - AODV



Olyan csomópont, amelyik már fogadott egy S-ből indított, D-t kereső RREQ üzenetet

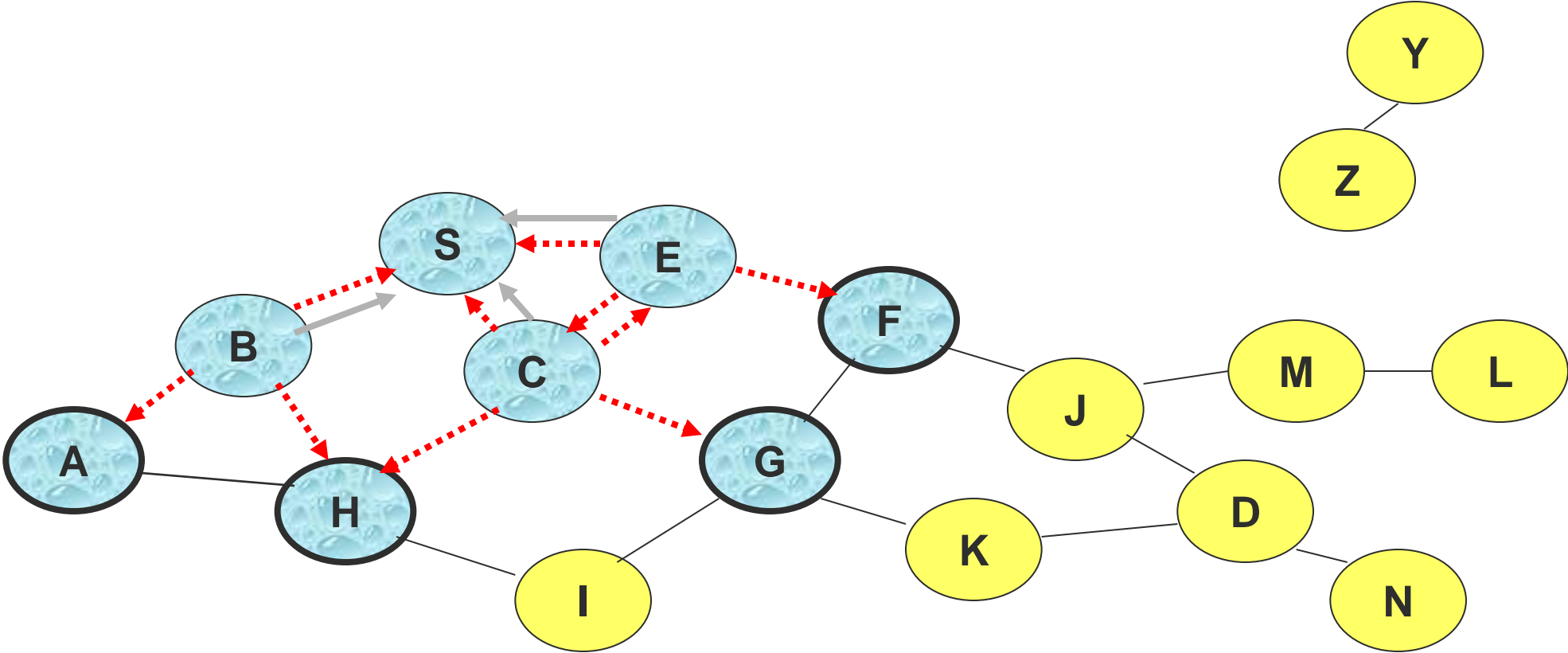
Route Request - AODV

Broadcast



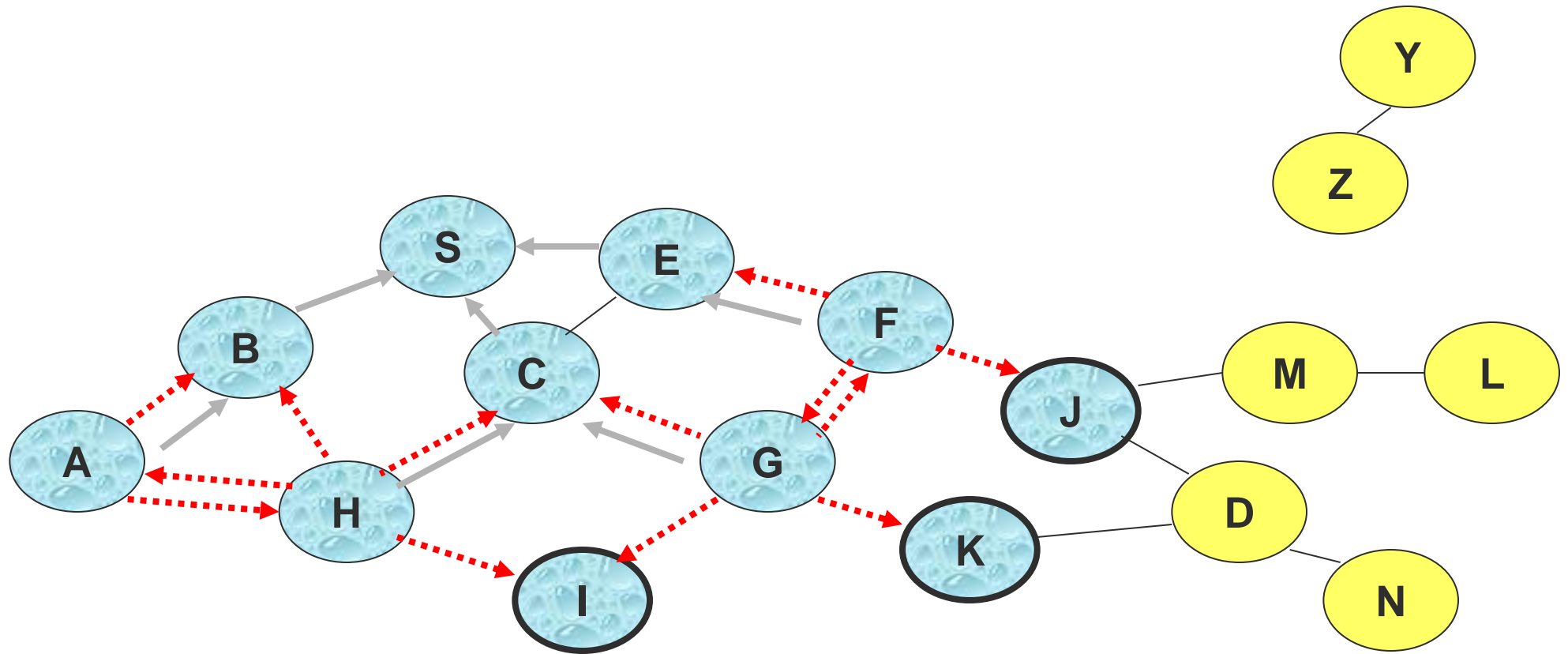
.....➔ RREQ küldése

Route Requests - AODV



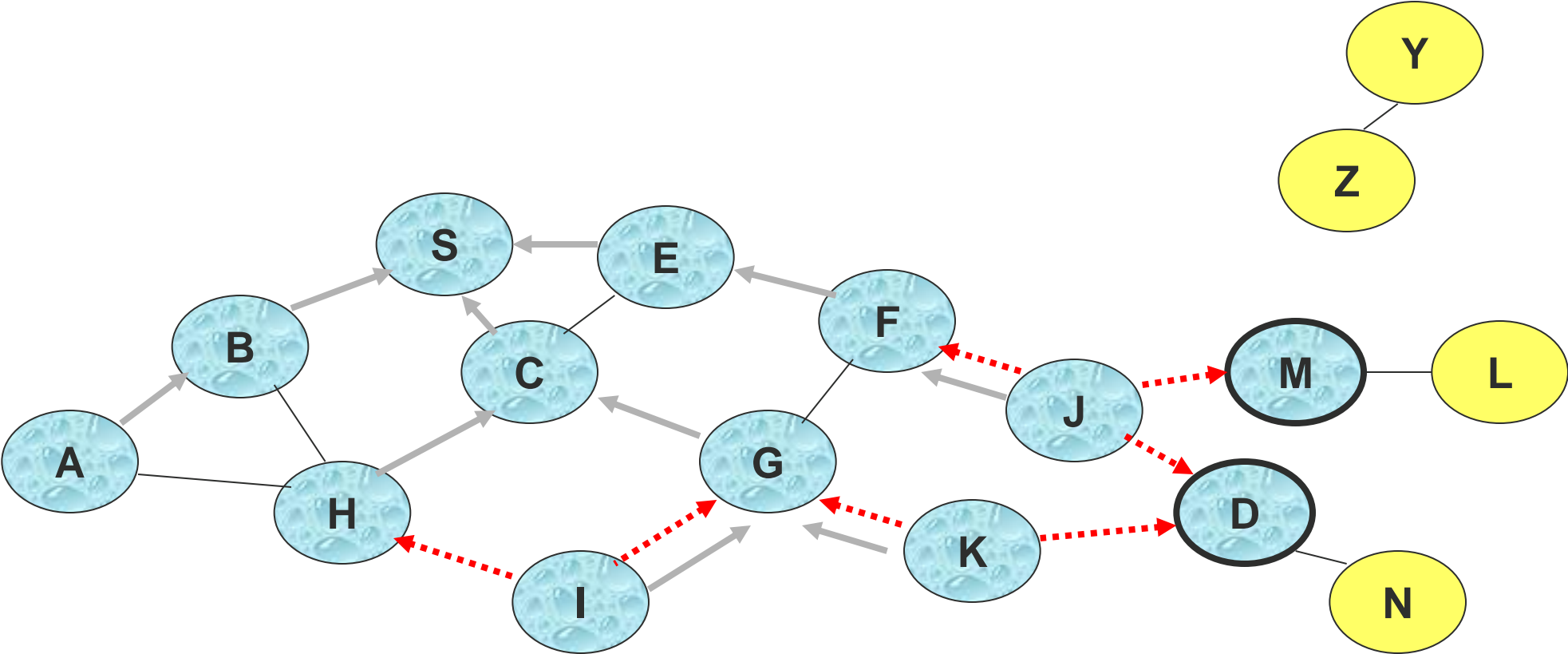
← Reverse Path pointer

Reverse Path - AODV

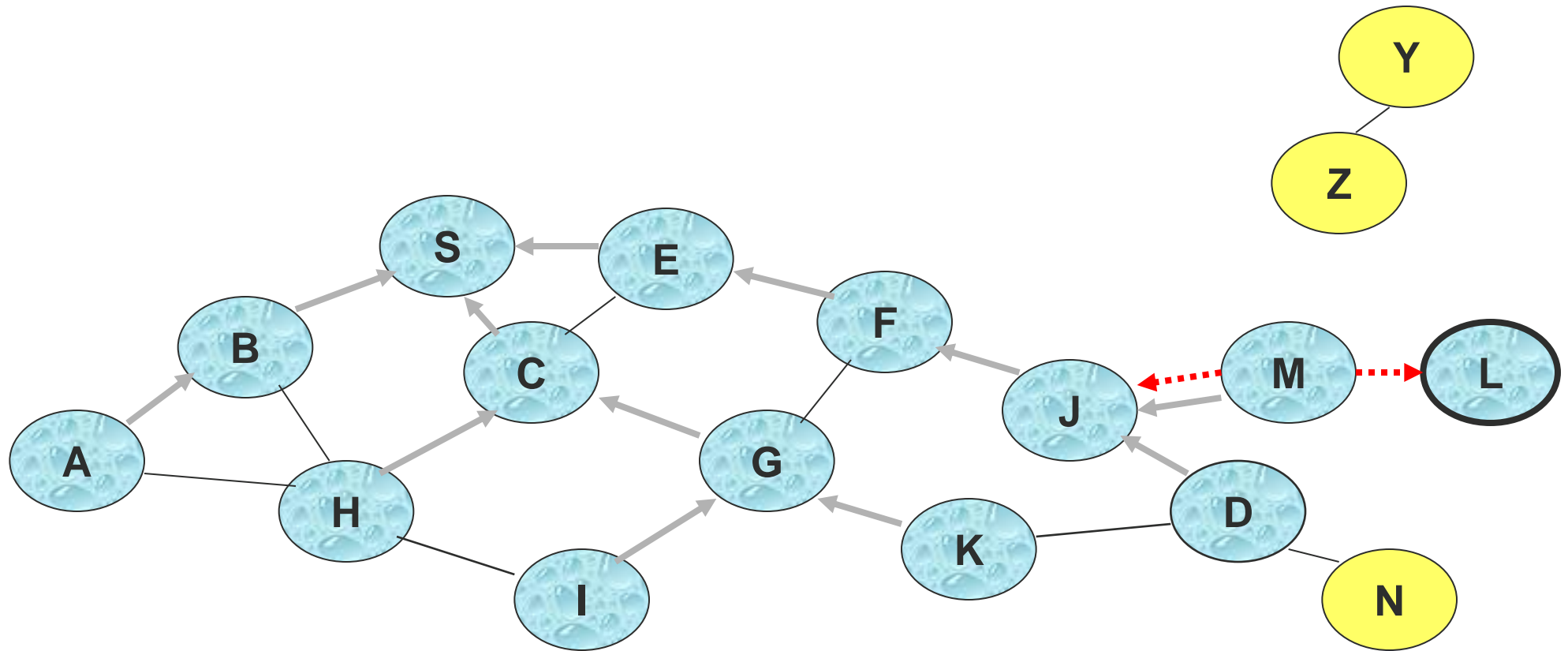


- C csomópont megint kap egy RREQ üzenetet (G és H szomszédjaitól) de **nem továbbítja azt újra**, mivel elküldte azt már korábban

Reverse Path - AODV

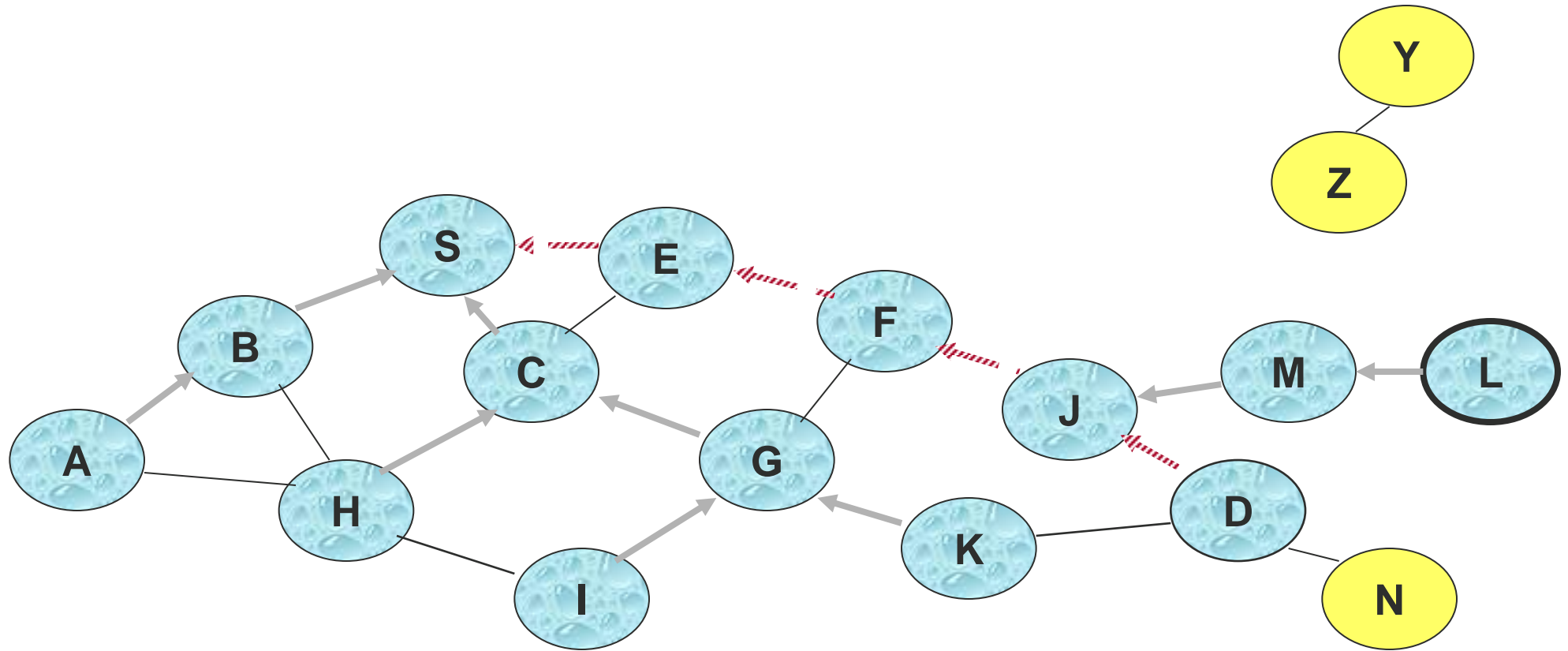


Reverse Path - AODV



- D csomópont **már nem továbbítja** a RREQ üzenetet, mert ő a célállomás

Route Reply - AODV

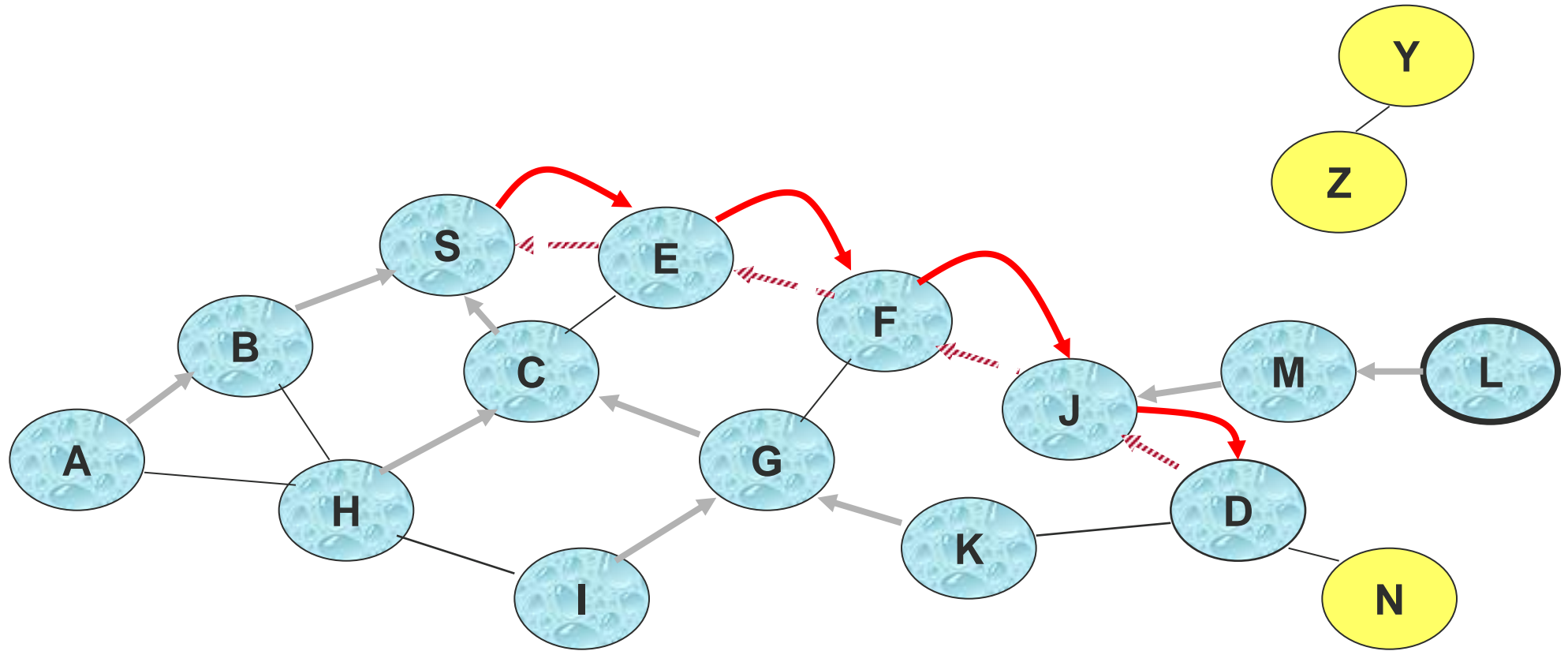


 A RREP üzenet útvonala

Route Reply

- Egy köztes csomópont (nem a célállomás) szintén válaszolhat **Route Reply (RREP)** üzenettel
 - Amennyiben a forrásnál frissebb útvonalat ismer D felé
- Az útvonal frissességét a *destination sequence numbers* (DestSeqNr) segítségével ellenőrzik
- RREP üzeneteket a célállomáson kívül viszonylag kevés csomópont fog küldeni
 - Minden egyes RREQ esetében növelik a DestSeqNr-t
 - Egy köztes csomópont csak akkor válaszolhat egy RREQ-ra, ha az általa nyilvántartott D-be vezető útvonalhoz **nagyobb DestSeqNr** tartozik

Forward Path - AODV

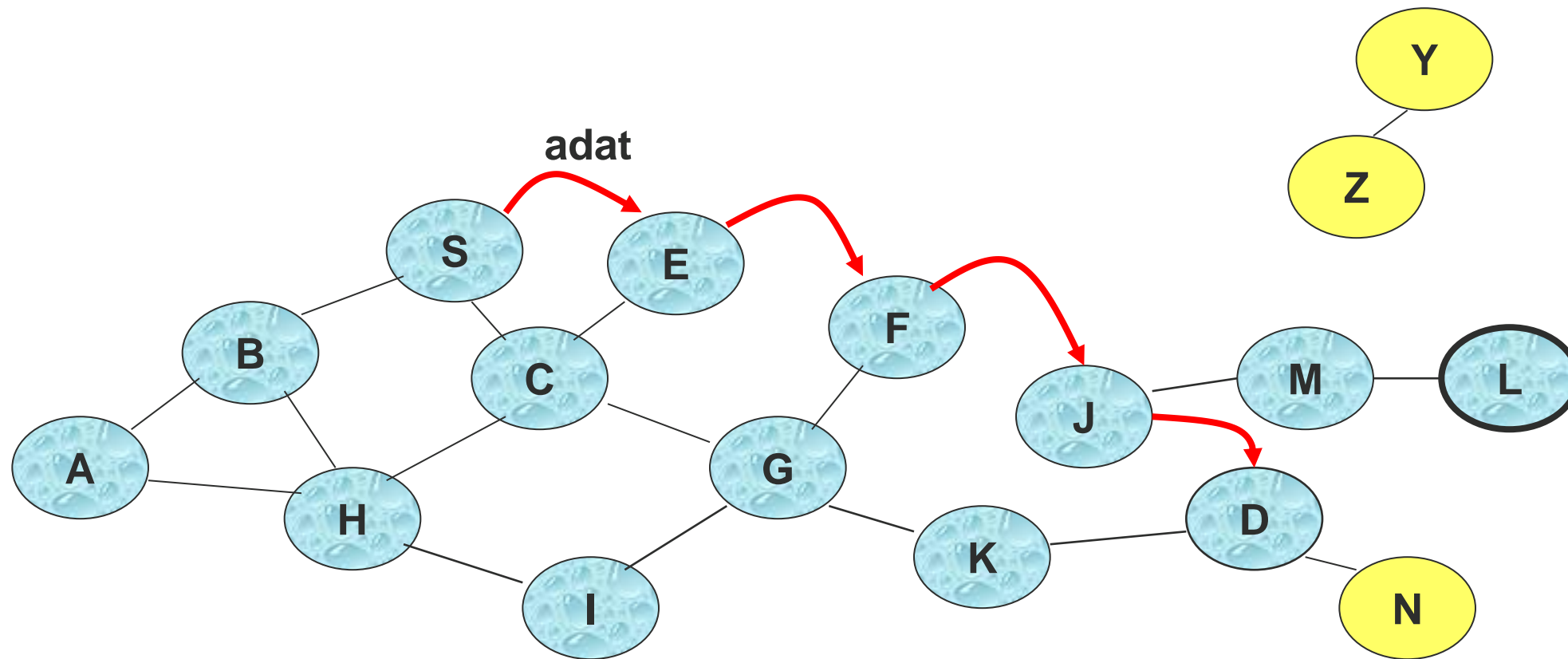


Amint a RREP üzenet a D-től az S-ig terjed,
bejegyzésre kerülnek az előremutató pointerek



A forward path (előremutató) pointer

Adatküldés - AODV



Adattovábbításhoz a routing tábla bejegyzéseit használják

Az útvonal **nincs** a fejlécbe foglalva.

Időzítők

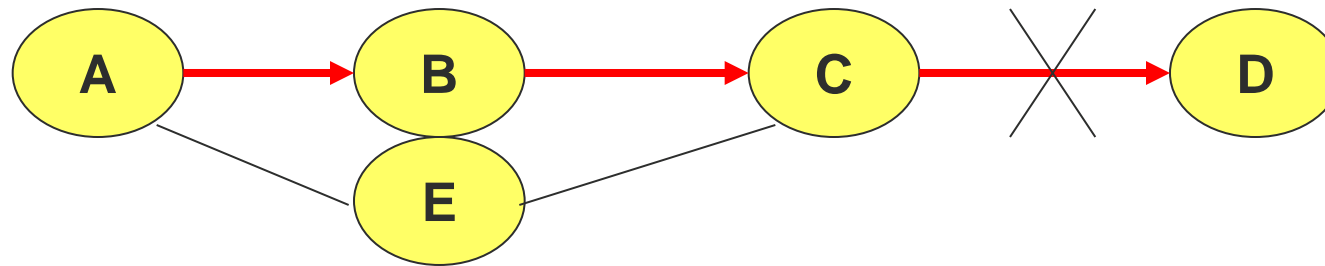
- A **reverse path** bejegyzéseket egy rövid idő után törlik a routing táblából
 - A vezeték nélküli közeg sajátosságait és a hálózat méretét figyelembe véve időt kell hagyni, hogy az RREP üzenet visszaérkezéséig érvényes maradjon a bejegyzés
- Az **előremutató útvonal** bejegyzést akkor törlik, ha inaktívak
 - *active_route_timeout*
 - Ha nincs adatforgalom, akkor törlik a bejegyzést, akkor is, ha topológia szerint még érvényes lenne az útvonal

Route hiba (RERR) üzenet

- Amennyiben X nem tudja a (S forrástól D célállomásnak címzett) P csomagot az (X,Y) linken továbbküldeni, egy RERR üzenetet fog küldeni
- X megnöveli egyel a D -re vonatkozó, általa nyilvántartott DestSeqNr-t
- A fenti N DestSeqNr-t is elküldi az RERR üzenettel
- Ha S megkapja a RERR üzenetet, egy új, D -re vonatkozó útvonal felderítést indít, amelyikben a DestSeqNr értéke legalább N

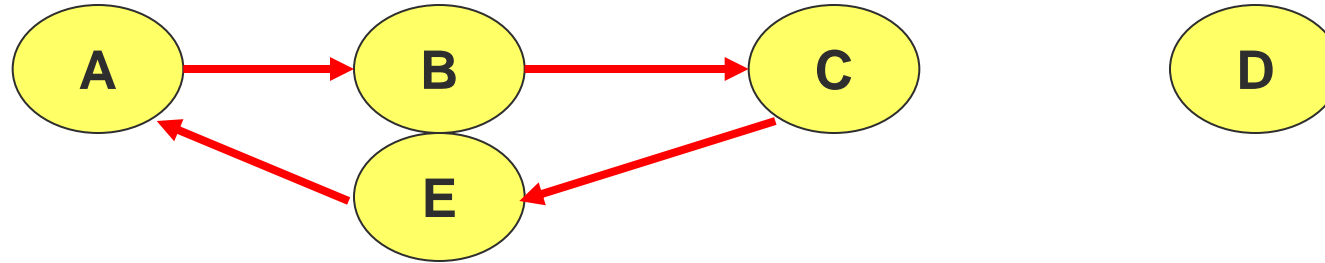
DestSeqNr értelme az AODV-ben

- Ne használjanak régi/megszakadt útvonalakat
 - Eldönteni, melyik a frissebb útvonal
- Hurok kialakulásának megelőzése
 - Példa: hogy alakulna ki egy hurok, ha nincs DestSeqNr:



- A nem szerez tudomást a C-D link megszakadásáról, mert pl. a C által küldött RERR üzenet elveszik
- C indít egy útvonal felderítést a D célállomásra. A megkapja a RREQ üzenetet (a C-E-A útvonalon)
- A válaszol a kérésre, mert A ismer egy útvonalat D felé (a B csomóponton keresztül)

DestSeqNr értelme az AODV-ben



- C-E-A-B-C hurok alakult ki

Optimizálás: Expanding Ring Search

- Növekvő átmérőjű területen történő keresés
- A RREQ üzeneteket először egy kis Time-to-Live (TTL) értékkel küldik
 - Csak néhány ugrásig terjednek
 - Ez használható más, elárasztást használó protokollban is
- Ha nem érkezik Route Reply üzenet, növeli a TTL mező értékét
 - Néhány lépésben a teljes hálózatban keres

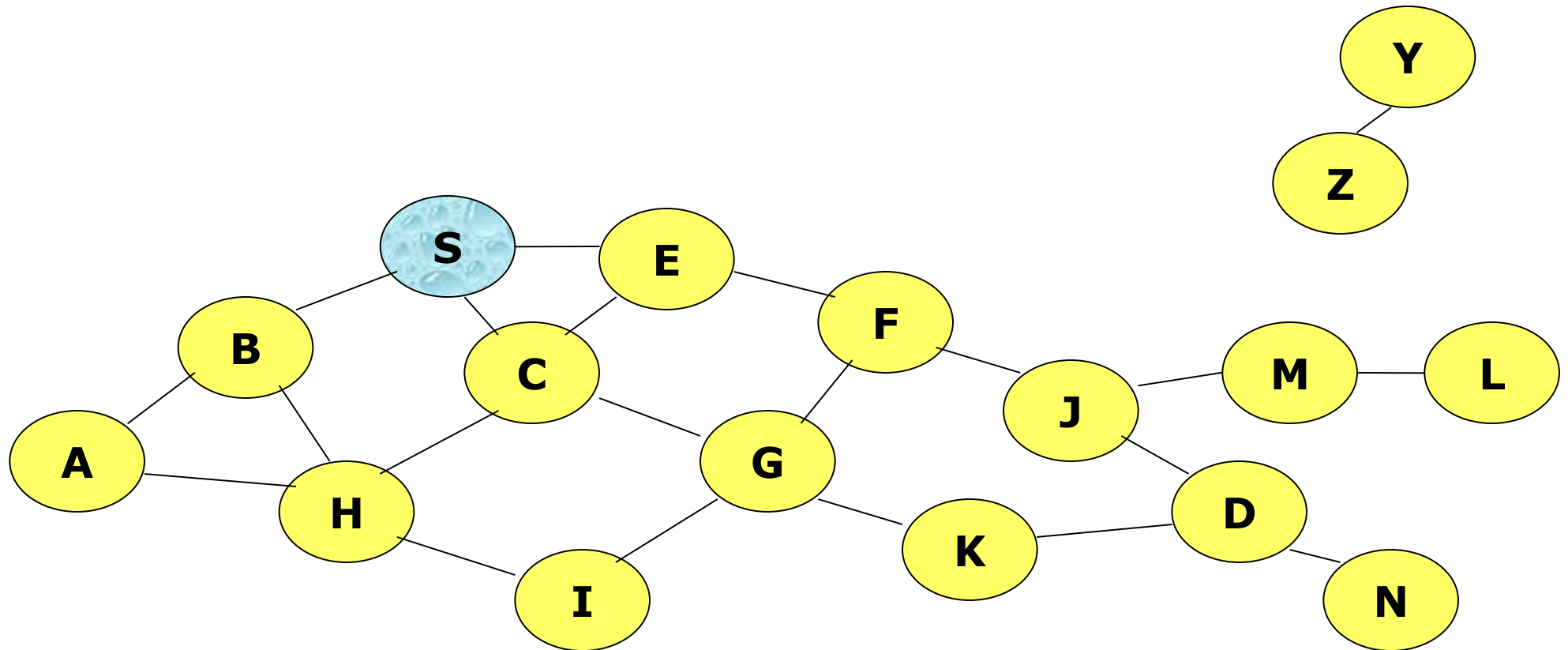
Összefoglaló: AODV

- Az útvonalak nem a csomagfejlécben vannak meghatározva
- Csak aktív útvonalakra van érvényes routing tábla bejegyzés
- Adott csomópontban egy célállomáshoz legfeljebb egy bejegyzés tartozik
- Használaton kívüli útvonalakat törlik, akkor is, ha a topológia nem változik

Dynamic Source Routing (DSR)

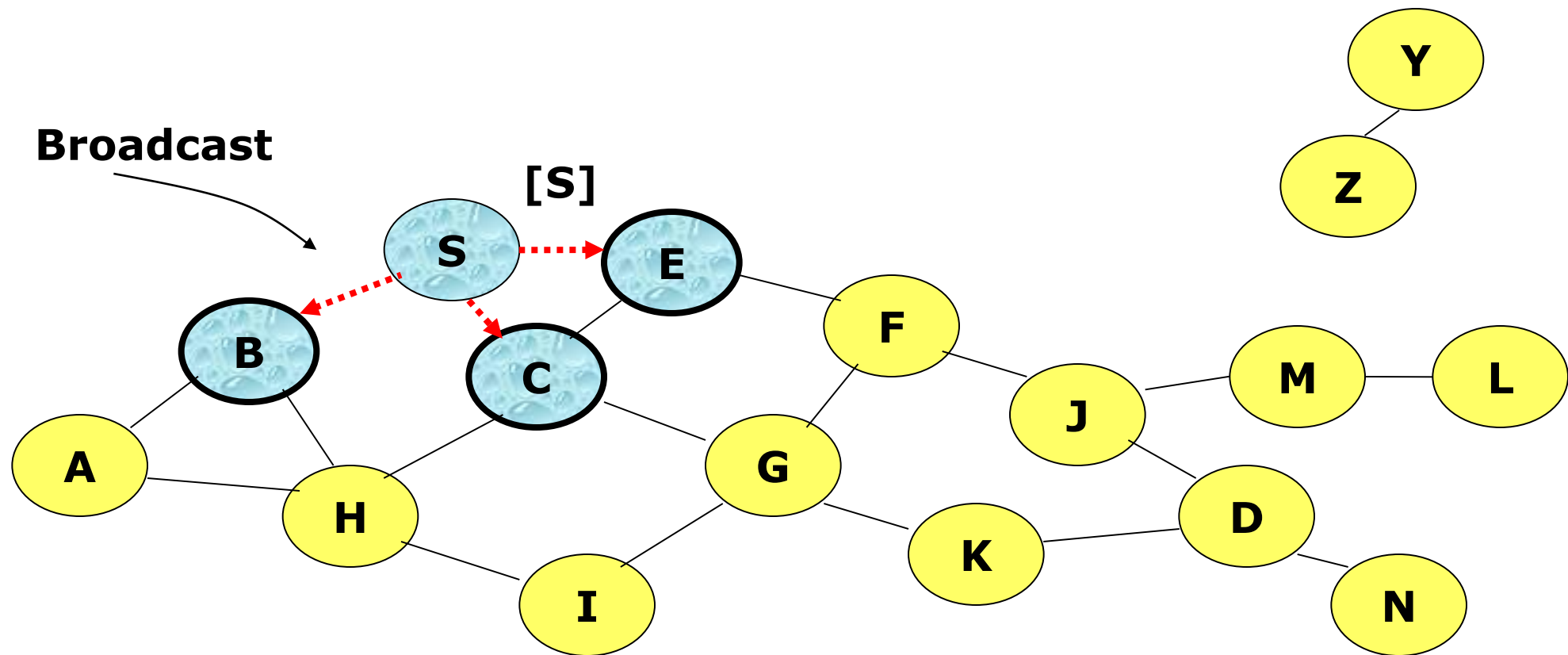
- Ha az S forrás akar valamit küldeni a D célnak, először elindít egy útvonal felderítést
- **S** elárasztja a hálózatot Route Request (**RREQ**) üzenetekkel
- Minden közbeeső csomópont hozzáadja a saját ID-jét a RREQ-hez mielőtt továbbküldené

DSR Route Discovery



Csomópontok melyek már megkapták a RREQ üzenetet S-től

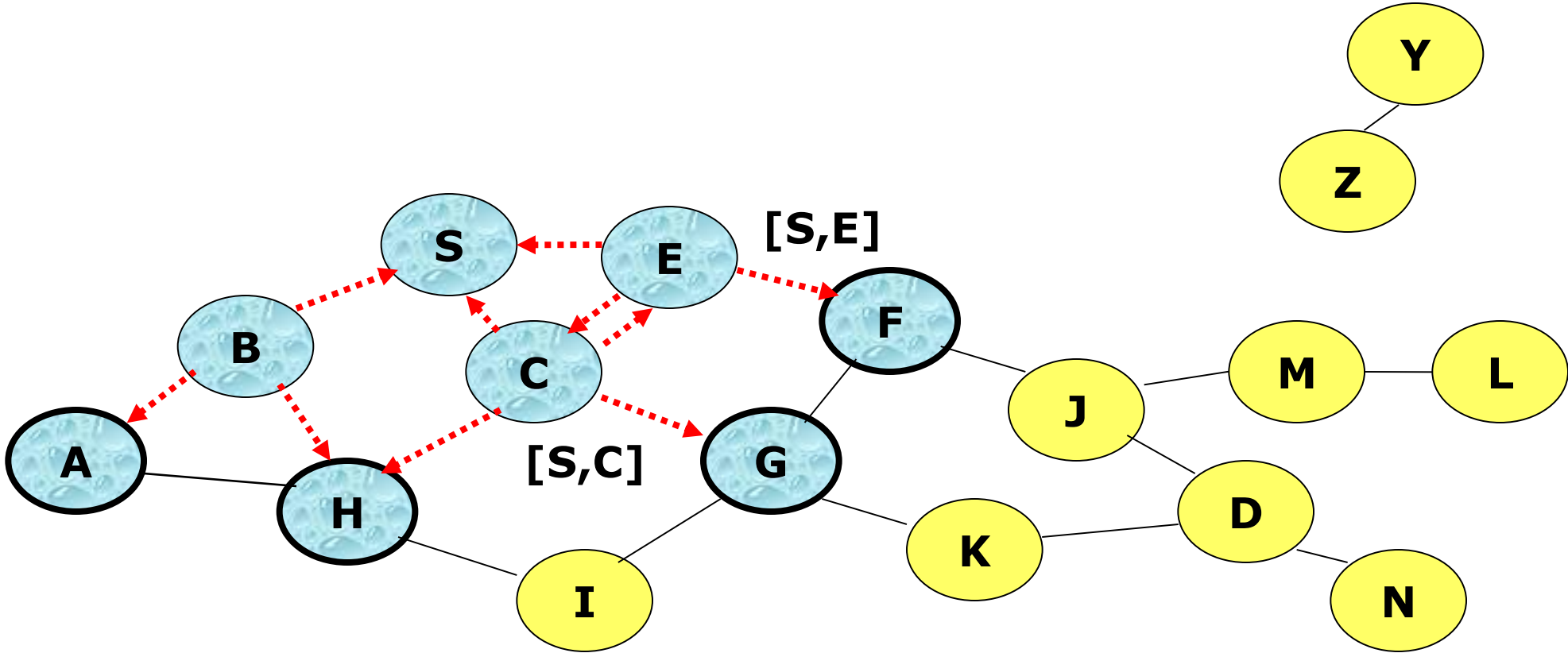
DSR Route Discovery



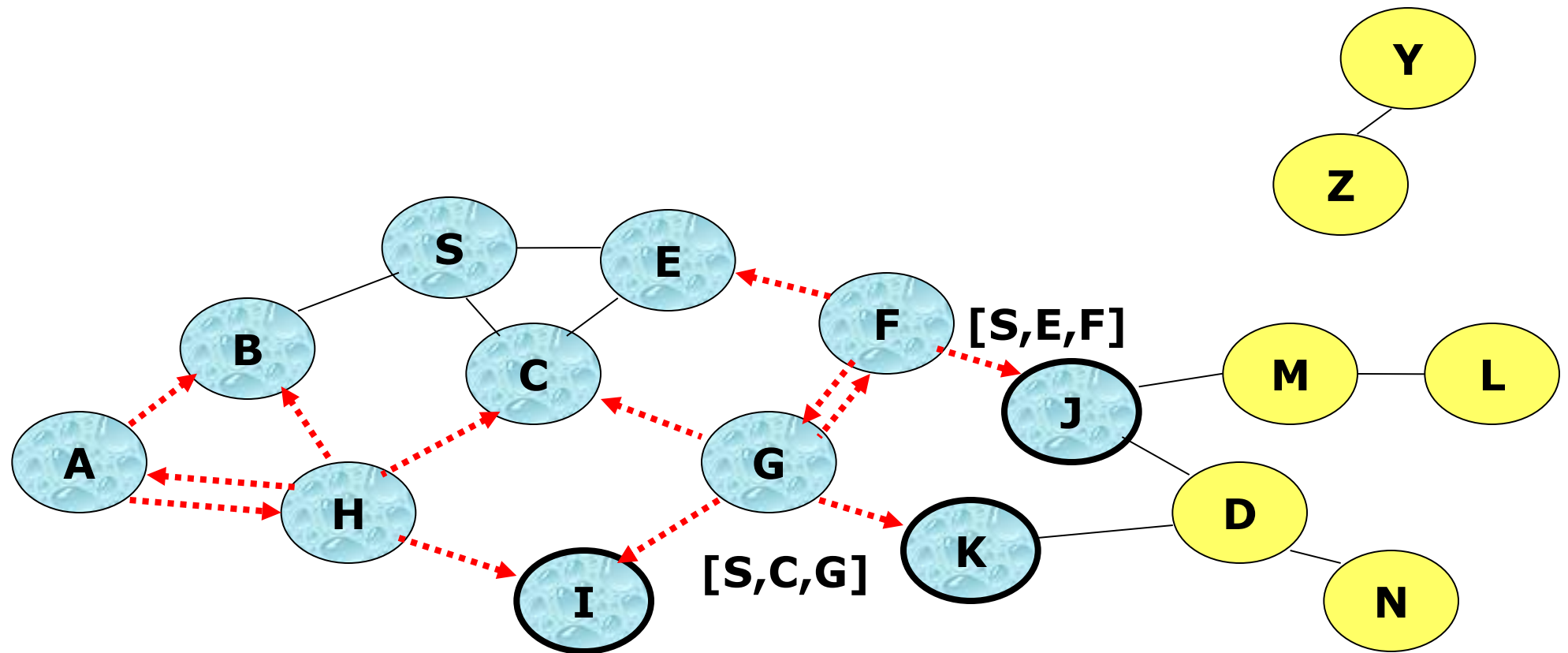
RREQ

[X, ...] közbenső csomópontok melyeket már hozzáadtak az útvonalhoz

DSR Route Discovery

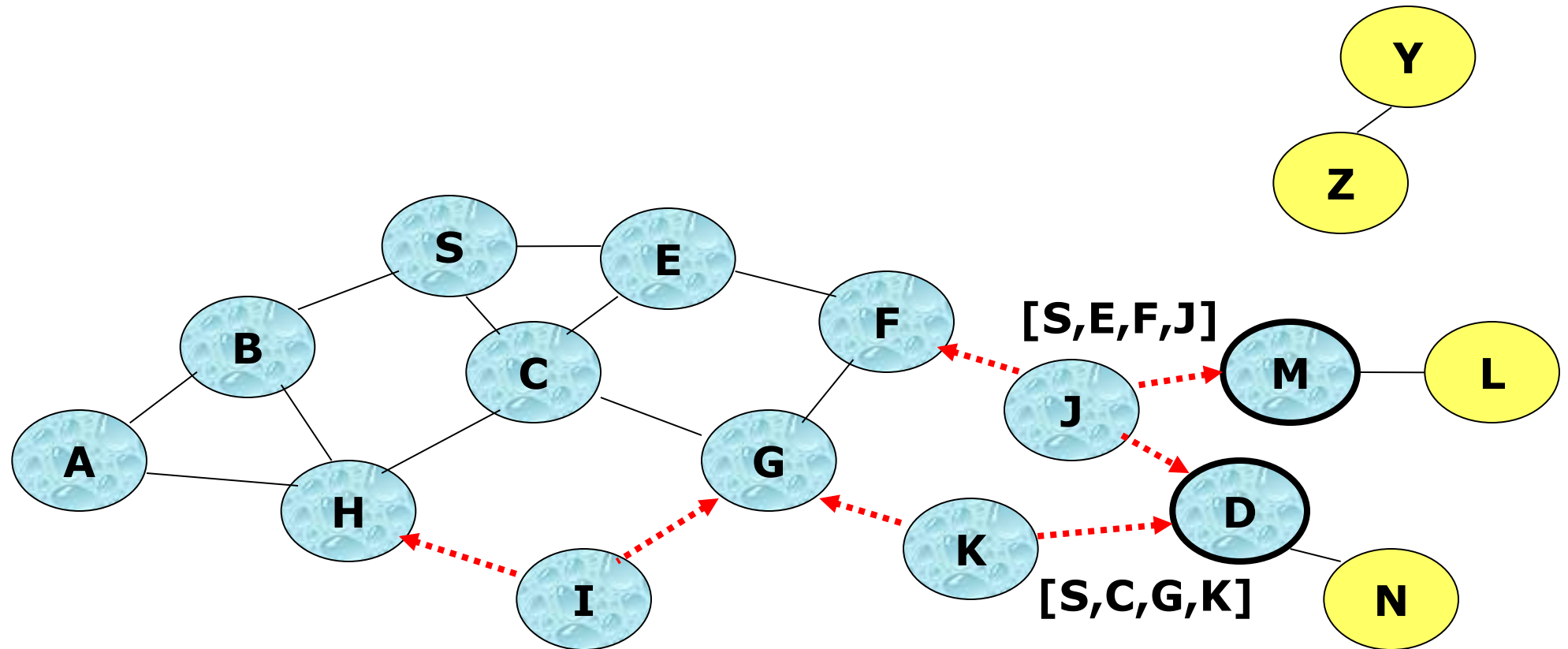


DSR Route Discovery



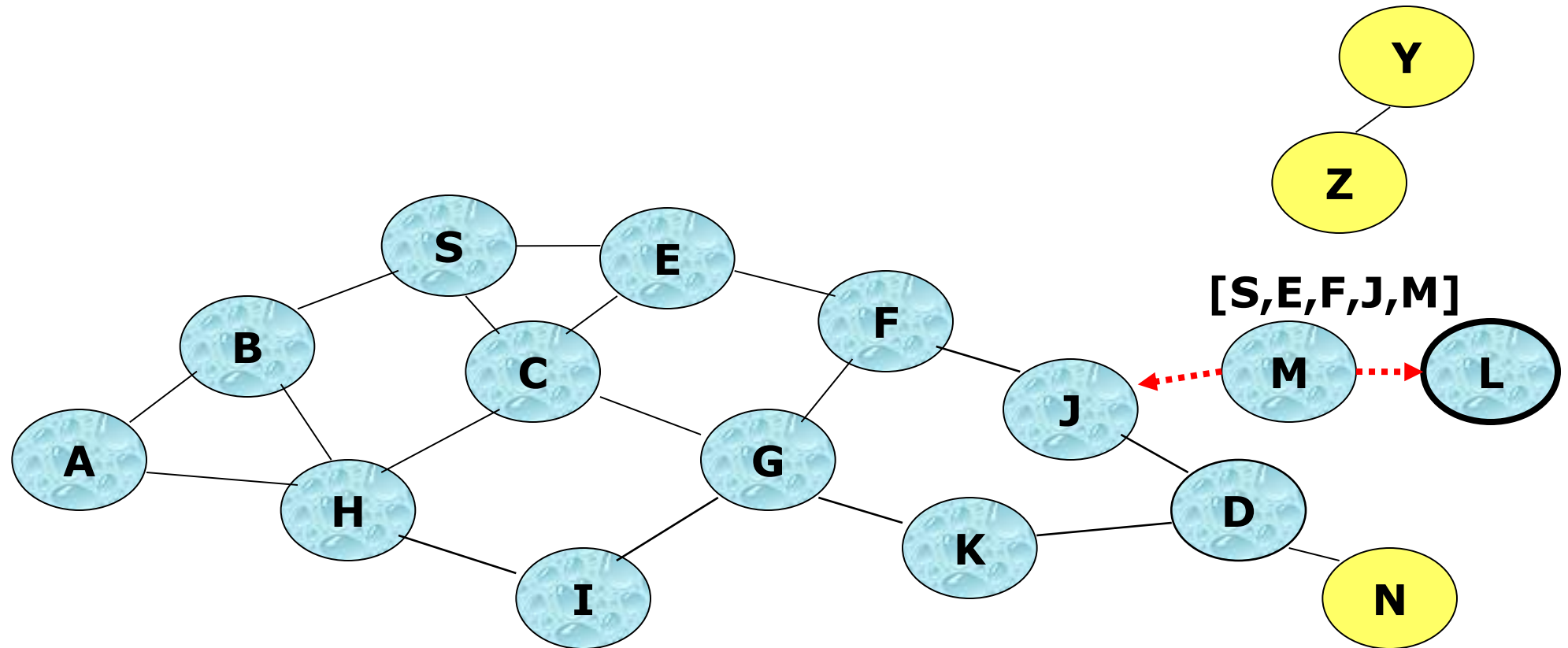
**Korlátozott elárasztás (mint az AODV-ben):
C ismét megkapja a RREQ-et G-től és H-tól, de nem küldi ismét tovább**

DSR Route Discovery



D megkapja a RREQ-et K-tól és J-től, a két csomag ütközhet

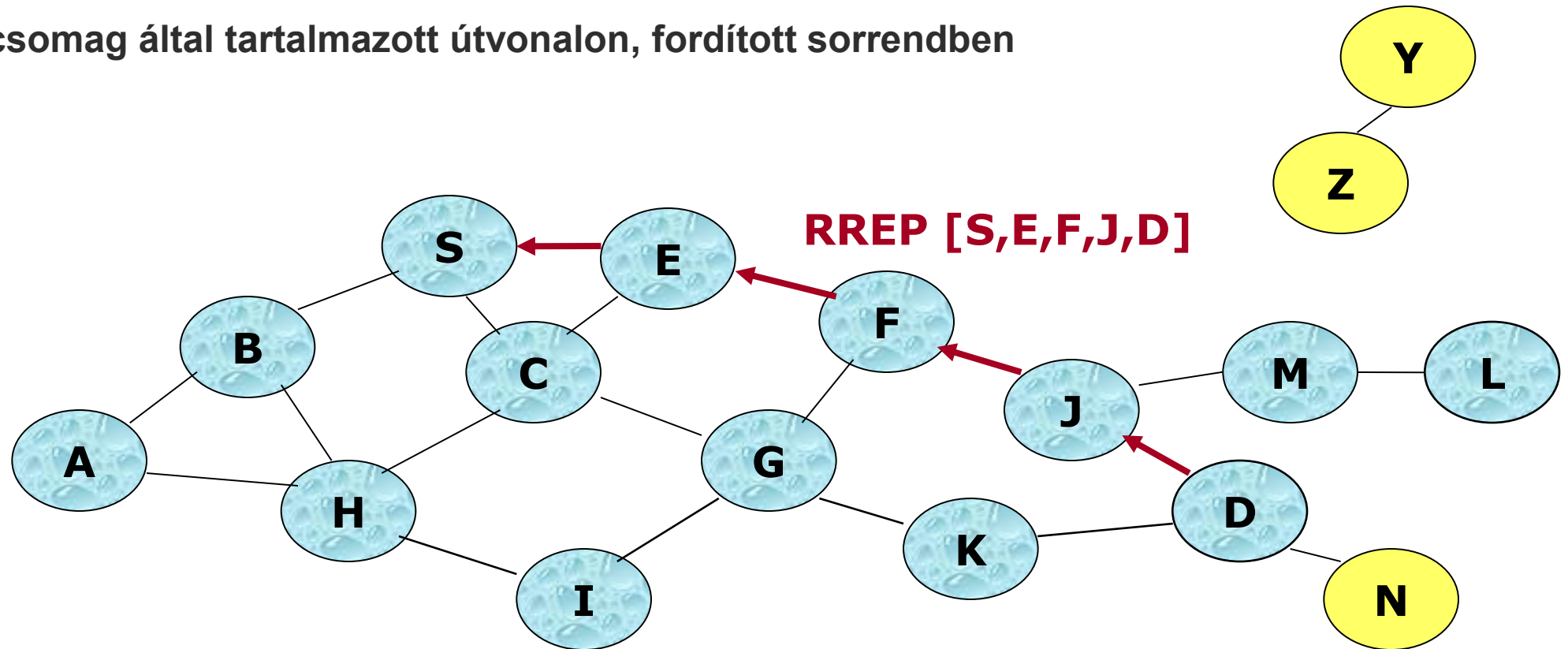
DSR Route Discovery



D leállítja az RREQ elárasztás, mivel ő a célállomás

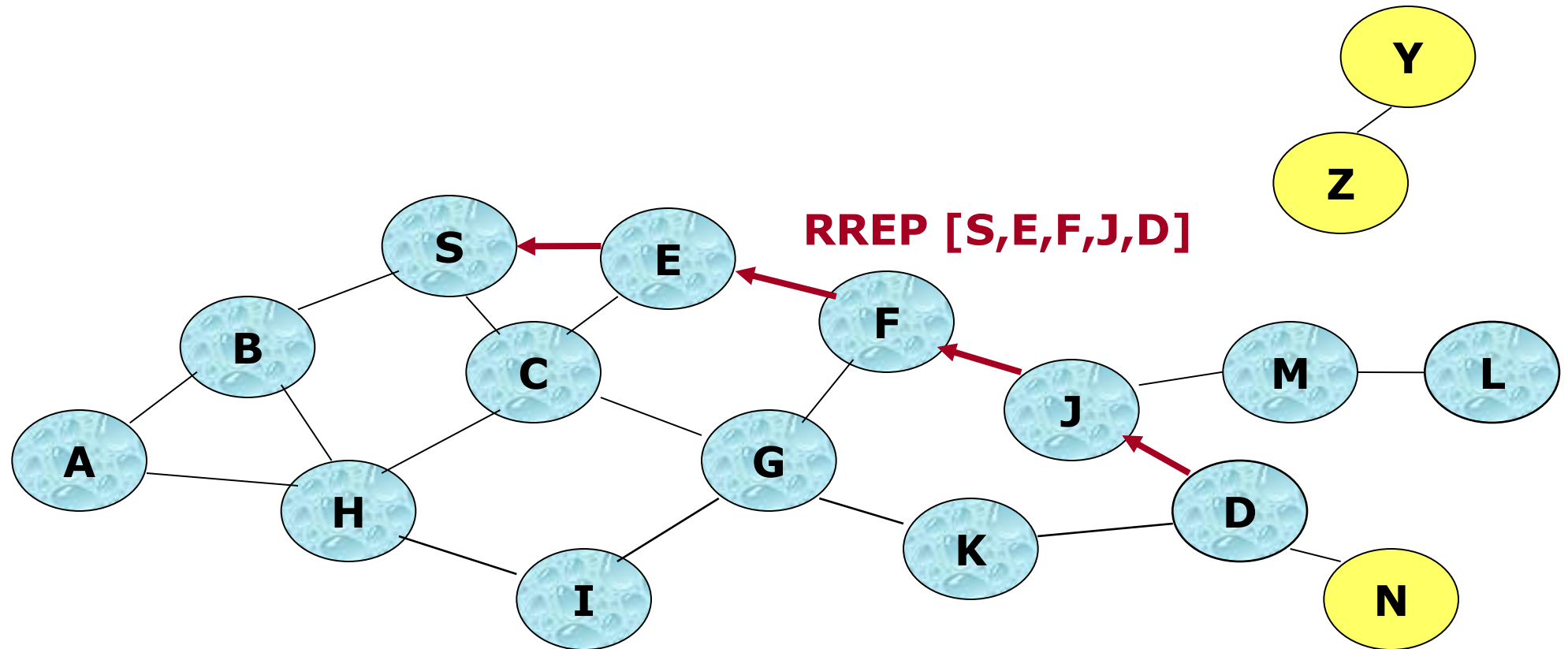
DSR Route Discovery

- Miután az első RREQ megérkezett, a D célállomás visszaküld egy Route Reply (RREP) üzenetet
- Az RREQ csomag által tartalmazott útvonalon, fordított sorrendben



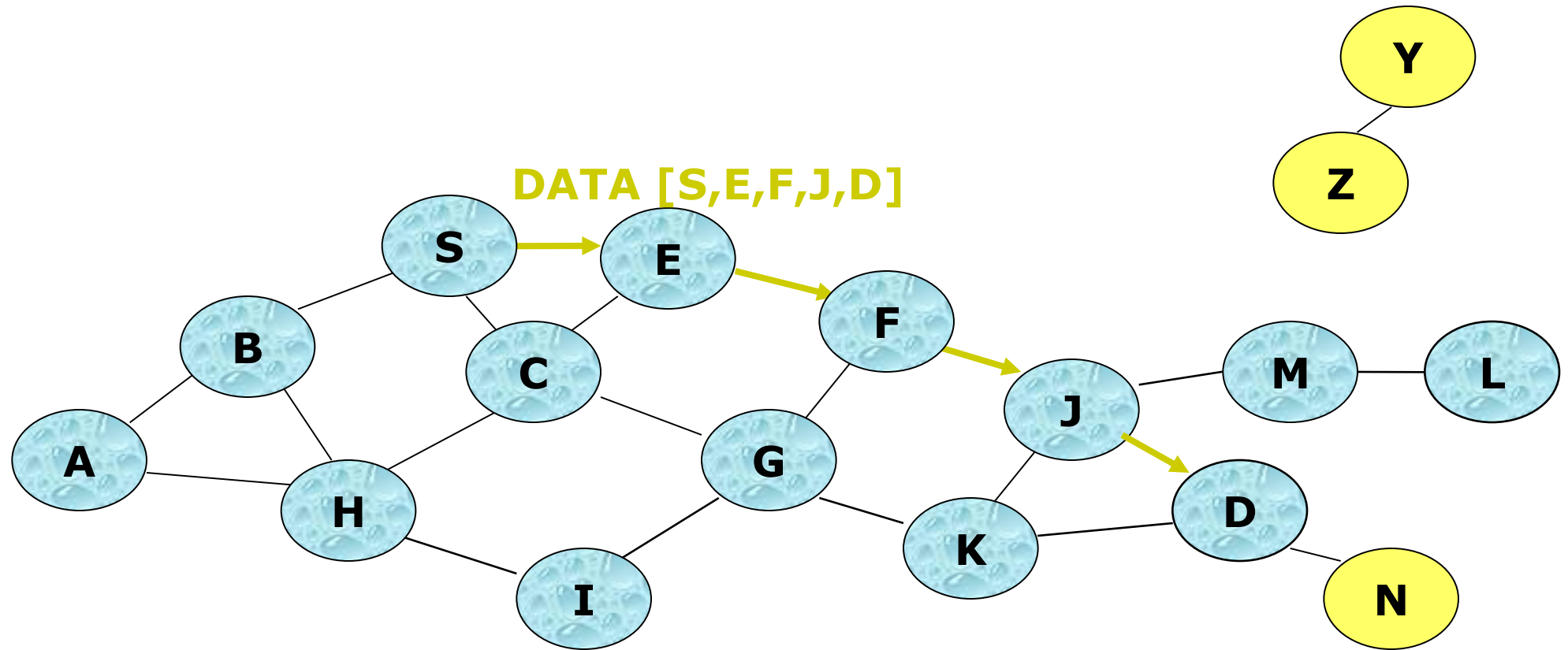
← RREP

DSR Route Reply



← RREP üzenet

Data Delivery in DSR



Az adatcsomagok fejléce nő az útvonal hosszával

Pozíció-alapú útvonalválasztás

Ad hoc útvonalválasztás lehet:

- **topológia-alapú** (pl: AODV, DSR)
 - A node-ok közötti összeköttetésekről használ infót
 - Ezt az infót valahogyan terjeszteni kell
- **pozíció-alapú** (pl: LAR, DREAM, stb.)
 - **A nodeok fizikai elhelyezkedésének az információját használja fel**
 - Ez lehet: GPS, rádió jelerősség-alapú helymeghatározás, stb.

Pozíció-alapú útvonalválasztás

- A *pozíció-alapú* routing algoritmusok kiküszöbölik a *topológia-alapú* útvonalválasztási algoritmusok néhány hátrányát, ehhez **járulékos információk használatával**.
- Valamilyen **lokalizációs szolgáltatás** segítségével a küldő *meghatározza a célállomás pozícióját*.
- A cél pozíciójának ismeretében **nincs** szükség *útvonalak felállítására és karbantartására*.
 - Útvonalak helyett: **továbbítási stratégia** - Minden köztes node-nál a cél helyzete alapján történik a következő állomás kijelölése.

Lokalizációs szolgáltatások

▪ Lokalizációs szolgáltatás

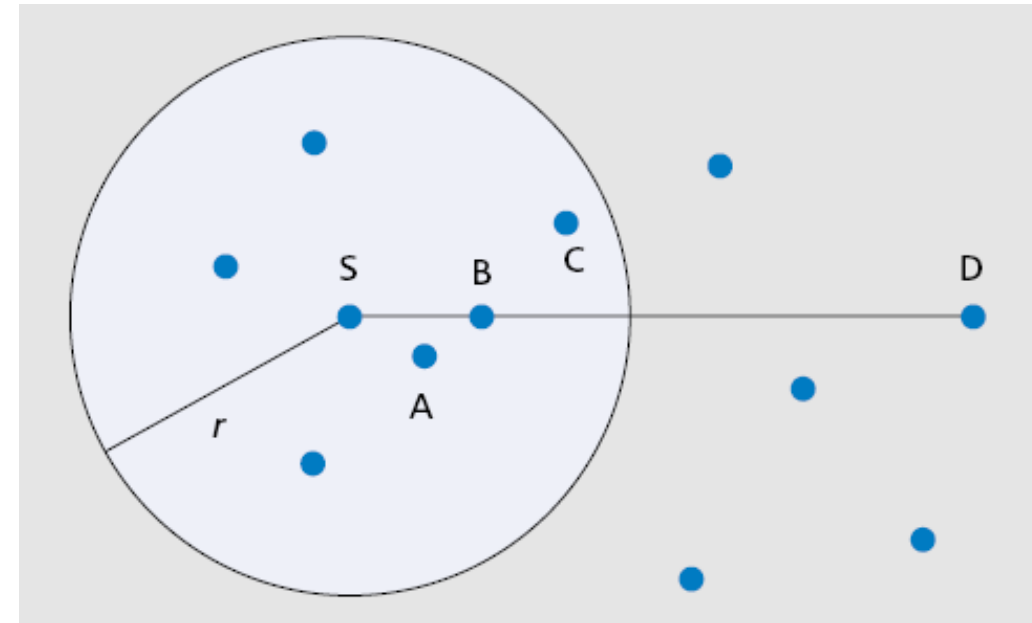
- Segít egy adott állomás pozíciójának meghatározásában.
 - Ad hoc hálózatban nem mindig áll rendelkezésre egy lokalizációs szerver!
-
- Lokalizációs szolgáltatást egy vagy több állomás is nyújthat:
 - „néhány/mind-néhánynak/mindnek”
-
- Egy küldő – ha nem ismeri a cél helyét – ezeket a lokalizációs szolgáltatásokat veheti igénybe.
 - Pl. cellás (mobil) hálózatban a lokalizáció cella szintű és **központi**.
 - Ad hoc rendszerekben ez viszont nem alkalmazható.

Továbbküldési stratégiák

- Egy köztes node továbbküldési döntése:
 - A csomagban elhelyezett cél pozíciójától függően
 - Az egy ugrásra lévő szomszéd csomópontok pozícióit ismerve történik
- Szomszédok pozíciói: Hello, broadcast üzenetekből, általában periodikusak
- Továbbküldési stratégiák:
 - Mohó továbbküldés
 - pl.: MFR, NFP, compass routing
 - Korlátozott célirányú elárasztás (restricted directional flooding)
 - pl.: LAR, DREAM
 - Hierarchikus megoldások

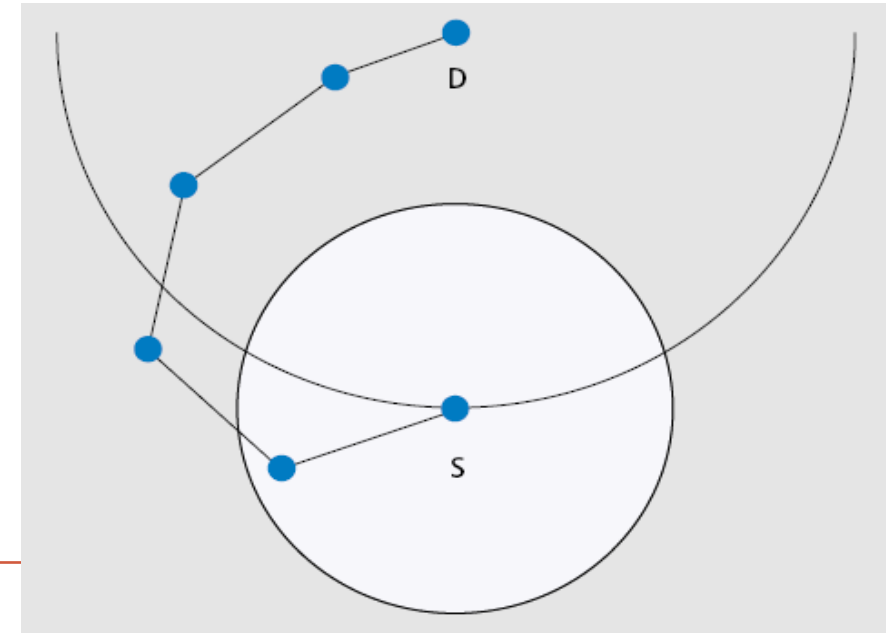
Mohó továbbküldés

- Milyen stratégia alapján válasszuk ki a köztes node-ot?
- **Most forward within r (MFR)**
 - Azt a node-ot válasszuk, amely a legközelebb van **D**-hez. (Pl. **C** node)
 - Az ugrások száma ezáltal minimalizálódik
 - Jó stratégia, ha a jelerősséget nem lehet változtatni
- **Nearest with forward progress (NFP)** (pl. **A** node)
 - Ha a jelerősséget lehet változtatni
 - Lecsökken az ütközések valószínűsége
- **Compass routing** (pl. **B** node)
 - Legkisebb szög az SD egyeneshez képest
- **Random D-közeli szomszéd választás**
 - Nem szükséges pontos pozíció infó a szomszédokról
 - Kisebb overhead



Mohó továbbküldés

- Problémák:
 - **S** közelebb van a **D**-hez mint a többi node
 - Lokális maximumba fullad a küldés, elvileg nincs kiút
 - Gyógyuló (**recovery**) üzemmód:
 - Ha a csomagok küldés lokálisan elakad, akkor átváltunk ebbe a módba.
 - Ha van megfelelő szomszéd a továbbításra akkor pedig visszaváltunk mohó módba



Location-Aided Routing (LAR)

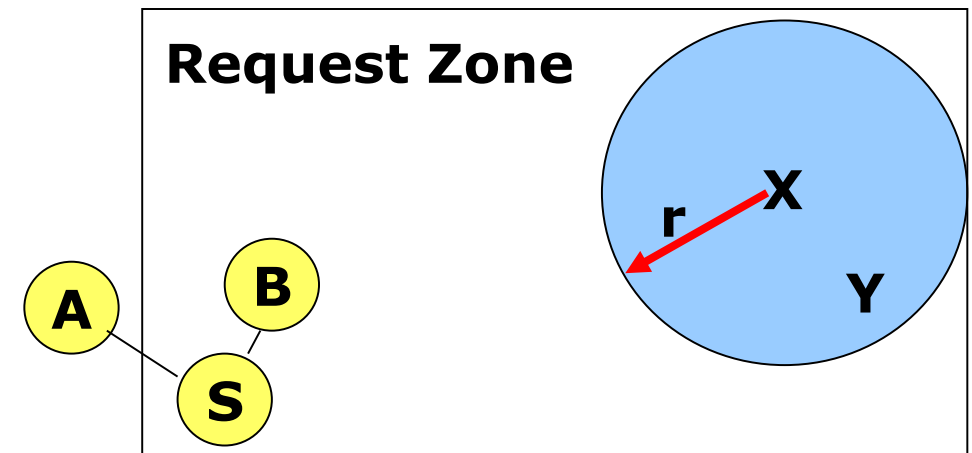
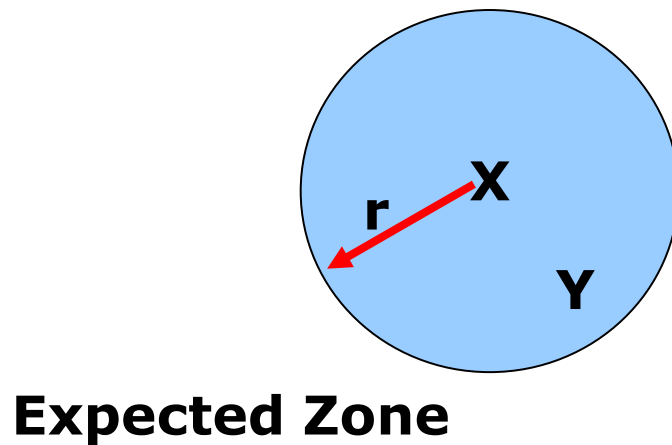
- A célállomás helyzet-információját használja az elárasztás területének *korlátozására*
 - Helyzetinformációt pl. GPS-sel lehet szerezni.
 - Háromszögeléssel, bázisantennákat használva.
- Bevezeti a *várható zóna (Expected Zone)* fogalmát
 - „várható zóna” = az a terület, ahol valószínűleg a célállomás tartózkodik
 - A célállomás korábban ismert tartózkodási helyét és mozgási irányát, sebességét használják fel a becslésre.
- RREQ csak az ún. **Request Zone**-on belül továbbítódik.
 - A Request Zone tartalmazza az Expected Zone-t, illetve a forrástól az Expected Zone-ig húzódó tartományt.

LAR Expected Zone, Request Zone

X = a **D** célállomás utolsó, ismert tartózkodási helye t_0 időpontban.

Y = a **D** célállomás jelenlegi, **S** forrás számára ismeretlen tartózkodási helye t_1 időpontban.

$$r = (t_1 - t_0) * [\mathbf{D} \text{ sebességének becsült értéke}]$$



LAR Request Zone (2)

- Csak a Request Zone-on belüli állomások továbbítják a RREQ-t
 - A Request Zone **lehet például** az Expected Zone-t és a forrást magába foglaló legkisebb téglalap, melynek oldalai párhuzamosak az X és Y tengelyekkel.
 - Pl. az előbbi példán **B** továbbítja a RREQ-t, de **A** nem
- A Request Zone-t explicit módon meghatározza a RREQ üzenet.
- Minden állomásnak ismernie kell saját helyzetét, hogy eldönthesse, beleesik-e a Request Zone-ba.

LAR Request Zone (3)

- Ha a forrás nem helyesen becsülte meg a célállomás helyzetét, a Request Zone lehet, hogy nem tartalmazza azt
→ *az útvonalfelderítés nem lesz sikeres!*
- A forrás timeout után új keresést indít, amelynél...
 - növeli a Request Zone területet;
 - szükség esetén az egész hálózatot megjelölve Request Zone-ként.
- A LAR útvonalfelderítésének további lépései megegyeznek a **DSR**-ben leírtakkal
 - Az RREQ üzenetbe lépésről lépésre bejegyezzük az útvonalat
 - A céltól egy RREP üzenet visszajut a forráshoz, benne a teljes útvonallal
 - Ezt az útvonalat beteszi utána a forrás az üzenetek fejlécébe
 - Az útvonalak elavulnak, időnként frissíteni kell

LAR változatok: Adaptív Request Zone

- Az RREQ-ben tárolt Request Zone-t minden belső állomás módosíthatja, ...
 - amennyiben frissebb/pontosabb információja van a célállomásról,
 - ÉS amennyiben az eredmény egy kisebb Request Zone lesz.



LAR összefoglalás

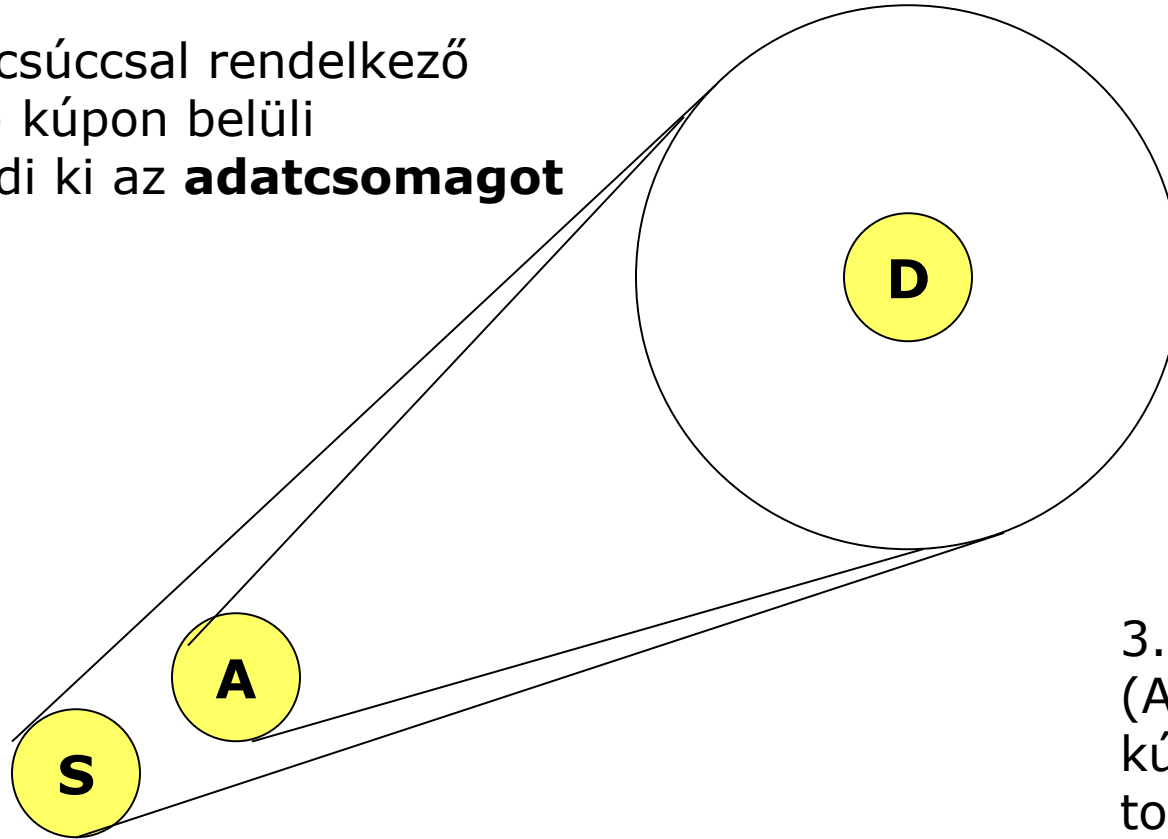
- Előnyök
 - Az RREQ elárasztás területét korlátozza
 - Az útvonal felderítés overhead-et csökkenti
- Hátrányok
 - A csomópontoknak ismerniük kell a fizikai elhelyezkedésüket.
 - Nem veszi figyelembe az esetleges rádiós átvitelt blokkoló akadályokat.

Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)

- Helyzeti- és sebesség információt használ (mint a LAR) az adatcsomagok elárasztási területének leszűkítésére.
- Elárasztással terjeszti az **adatcsomagokat** (a LAR-ral ellentétben, ahol útvonalfelderítés van)

DREAM lokalizálás

2. S forrás az S csúccsal rendelkező (nagyobb) kúpon belüli szomszédjainak küldi ki az **adatcsomagot**

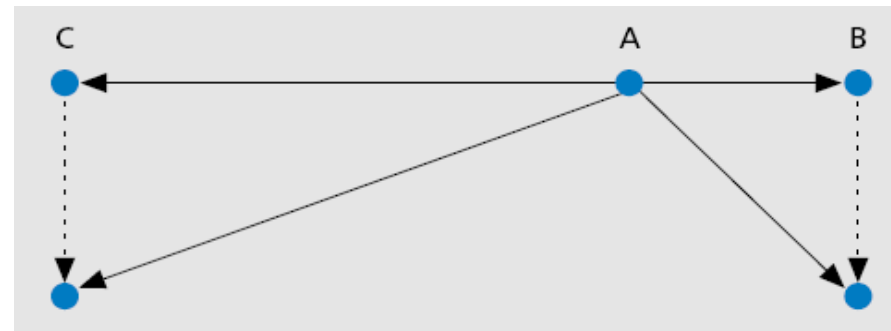


1. Expected zone („LAR értelemben”)

3. Az **A** belső állomás a jelzett (A csúccsal rendelkező) kúpon belüli szomszédjainak továbbítja az **adatcsomagot**

DREAM távolsági hatás

- Az állomások periodikusan hirdetik (üzenetszórással) saját helyzetüket.
- „Távoli hatás” = A távoli állomások kisebb szögsebességgel, azaz látszólag lassabban mozognak.



- - A közeli állomásokat gyakrabban kell frissíteni, míg a távolikat elég ritkábban.
 - Helyzet frissítő üzenetek *time-to-live* (TTL) mezőt használnak a terjedés szabályozására
 - Változó TTL értékekkel lehet a távoli frissítéseket ritkítani

Versengés-alapú továbbítás (CBF)

- Tipikusan pozíció-alapú routing megoldásokban egy node beacon üzenetekből tudja meg a szomszédok helyzetét.
 - A mobilitás, energia-gazdálkodás sokat ront a helyzeten, a beaconing frekvenciája nagyban változhat.
- Javaslat: **CBF (Contention Based Forwarding)**
 - **mohó küldés szomszédos ismeretek nélkül!**
 - A kiválasztás a csomópontok aktuális helyzete alapján fog megtörténni csomagtovábbítás *közben*.

Versengés-alapú továbbítás

- CBF elemei:
 - Továbbító kiválasztása: **versengés alapján** történik
 - **Elnyomás**: lecsökkenti az ütközések esélyét, hogy lehetőleg ne választódjék ki egynél több node.
- Lépések:
 1. A küldő a csomagot üzenetszórással elküldi a szomszédoknak.
 2. A szomszédok **versengés alapján** meghatározzák, hogy ki legyen a jogosult a továbbításra.
 - PI. Időzítők értéke fordítottan arányos a küldőhöz képesti távolsággal
 3. A nyertes node **elnyomja** a többi node küldési hajlamát.

Járművek közti kommunikáció

- „Hagyományos” ad hoc protokollok:
 - Reaktív: AODV, DSR
 - nagy útfelderítési terhelés, lassú felderítés
 - járművek között nem mindig hatékony
 - Geográfiai-alapú: LAR, DREAM
 - Lokalizációs szolgáltatás szükséges
 - bizonyos esetekben viszont lokális maximumba vezetnek (recovery mód)
 - városi környezetben nem hatékony
- Új megoldásokra van szükség a járművek közti (V2V) kommunikációban



AODV verziók VANET-re

▪ AOMDV: Multipath

- Nemcsak egy útvonalat jegyez fel, hanem mindet, amit talál
 - Ez megtehető extra körök nélkül, mert a felderítés amúgy is elárasztás alapú
- Ha az elsődleges útvonal megszakad, akkor gyorsan át lehet kapcsolni valamelyik tartalékra
 - Akkor kell újra útvonalat keresni, ha minden ismert útvonal megszakadt (vagy erősen fogynak a lehetőségek)

▪ SD-AOMDV: Speed and Direction

- A nodeok figyelembe veszik a sebességüket és mozgási irányukat
- Csak olyan node lehet next hop, amelyik ugyanabba az irányba megy, hasonló sebességgel

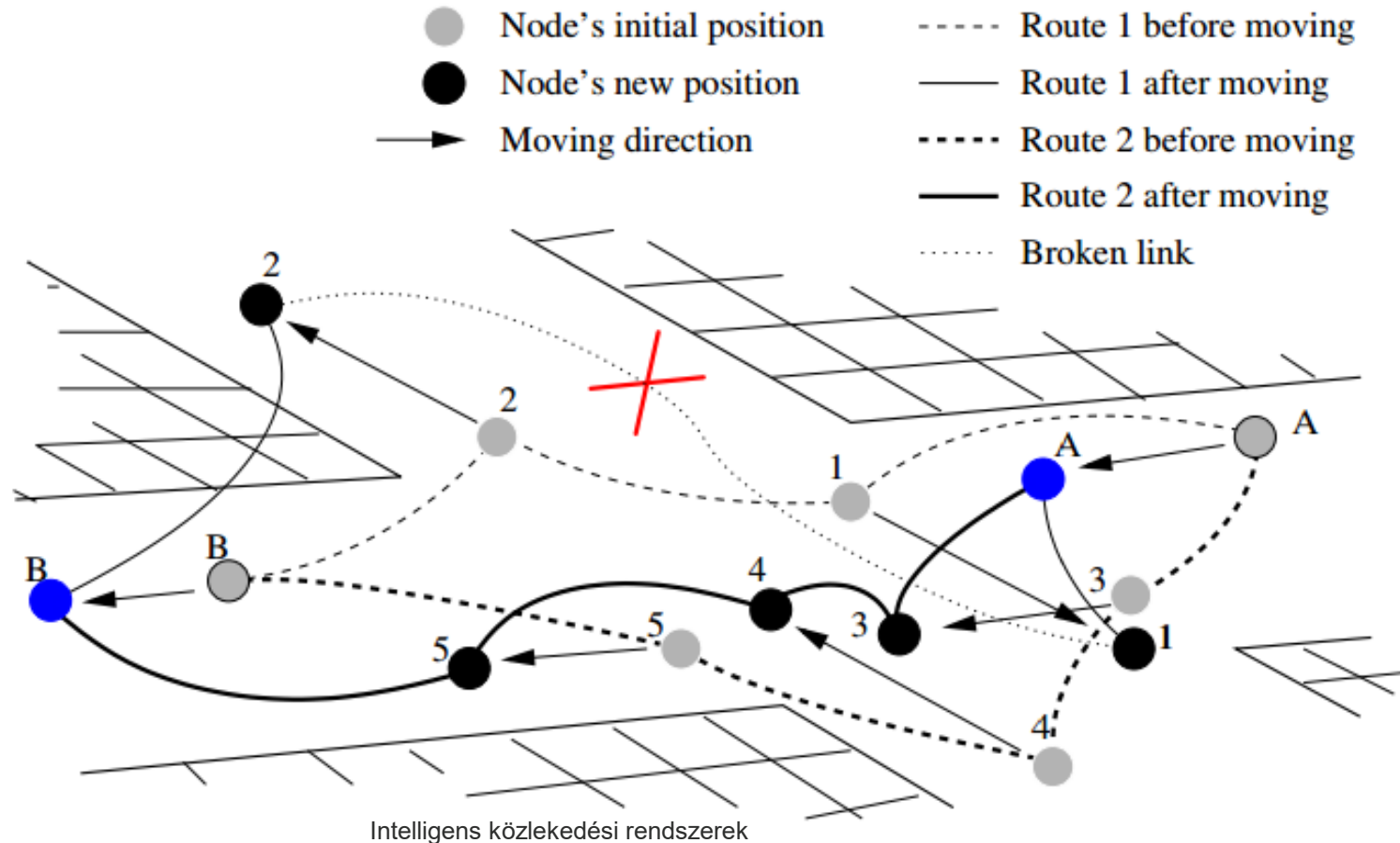
▪ R-AOMDV: Retransmission count

- Figyelembe veszi a linkek minőségét a routing metrikában a hopszám mellett
 - Link minősége: MAC újraküldések száma, mielőtt sikeres az átvitel
- **Probléma:** a linkek minősége nagyon gyorsan változik
- Cross-layer optimalizálás

Link-stabilitás alapú útválasztás

▪ Movement Prediction based Routing (MOPR)

- Figyelembe veszi az autók pozícióját, sebességét, irányát
- Olyan közbeeső csomópontokat keres az útvonal kiépítéséhez, melyek „hasonlóan” mozognak



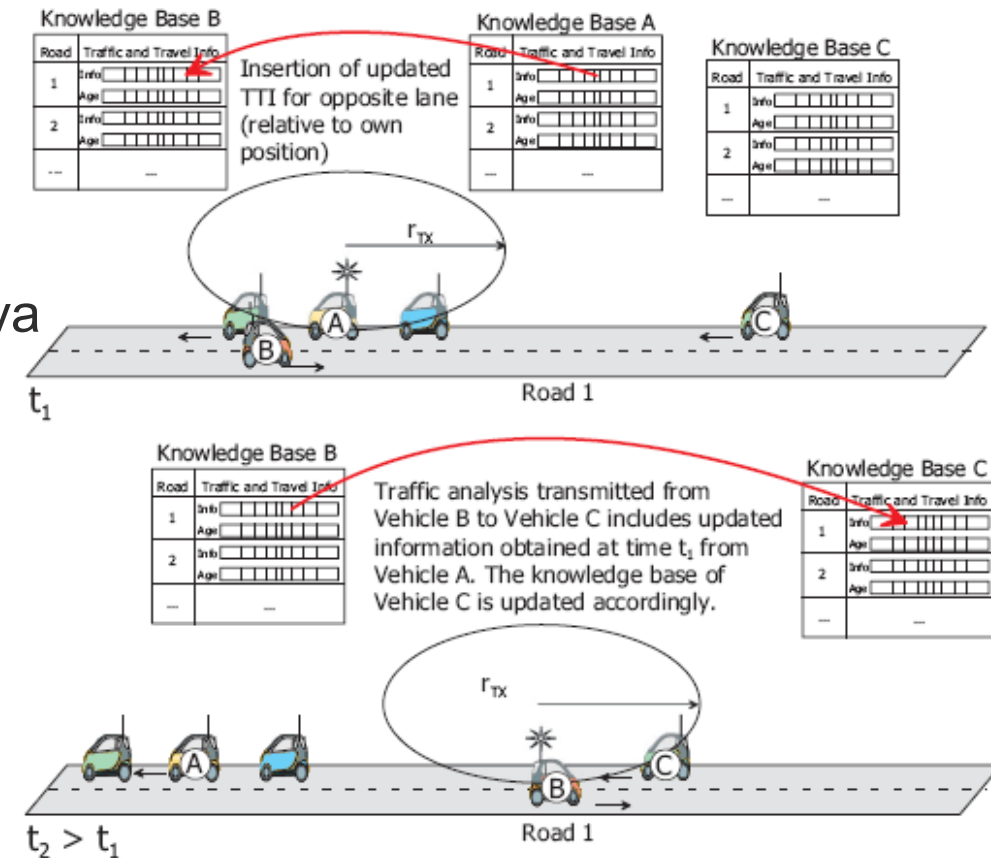
AODV verziók VANET-re

- **AODV+PGB: Preferred Broadcast Group**
 - A next hop ha túl közel van, akkor nem halad az üzenet
 - A next hop ha túl távol van, akkor könnyen megszakadhat a link
 - **Javaslat:** azokat a szomszédokat választjuk next hop-nak, akiknek közepes jelerősséggel vesszük az adását, ők a PBG

- **BAODV: Bus-AODV**
- **P-AODV**
- **I-AODV**
- **Improved-AODV**
- **AODV-BD**
- **AODV-VANET**
- **etc.**

DTN: Delay Tolerant Network

- Ha ritkán vannak a nodeok, akkor megszakadhat a hálózat
- Ezt **carry-and-forward** módszerrel át lehet hidalni
 - **Data-mule** (adathordozó öszvér)
- Ez akkor lehetséges, ha az üzenet nem veszti el az érvényességét időközben
- Mobilitás predikció nagyon hasznos, ha jól van megvalósítva



VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in VANET

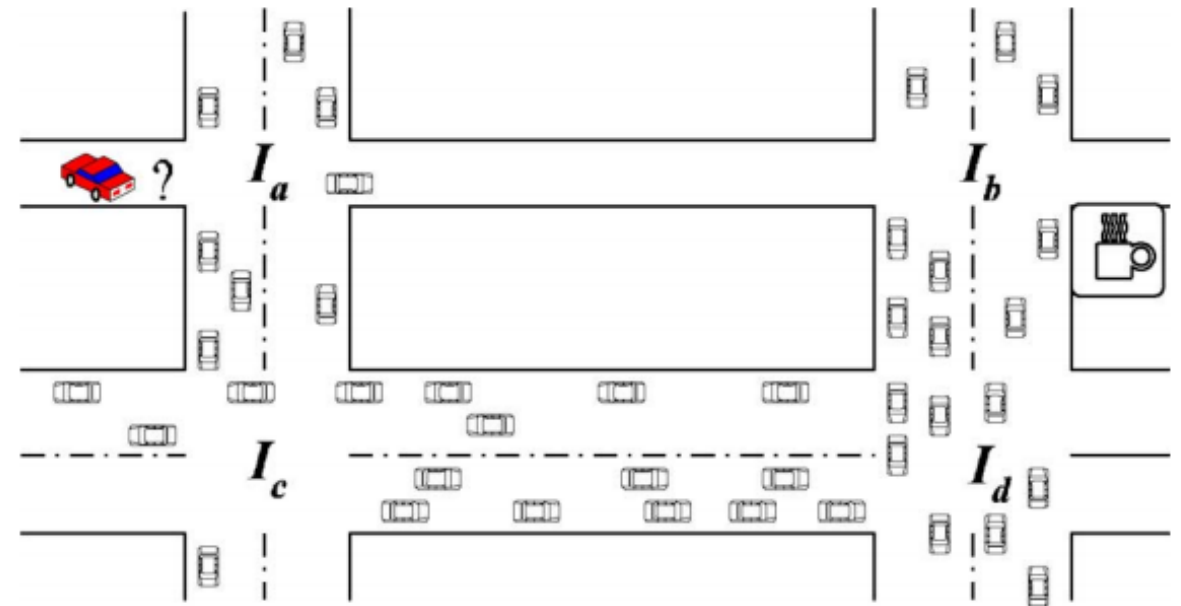
- Carry-and-forward, legrövidebb kézbesítési időre optimalizál
 - A vezeték nélküli továbbítást preferálja, mert az gyorsabb, mint az autók mozgása
 - Ha hordozni kell, akkor a leggyorsabb autót választja, amelyik a megfelelő irányba megy
 - Dinamikus útválasztás lépésről lépésre

- **VADD delay model**

- útkereszteződések közötti távolságok
- járműsűrűség minden útszakaszon
- járművek átlagos sebessége az útszakaszokon

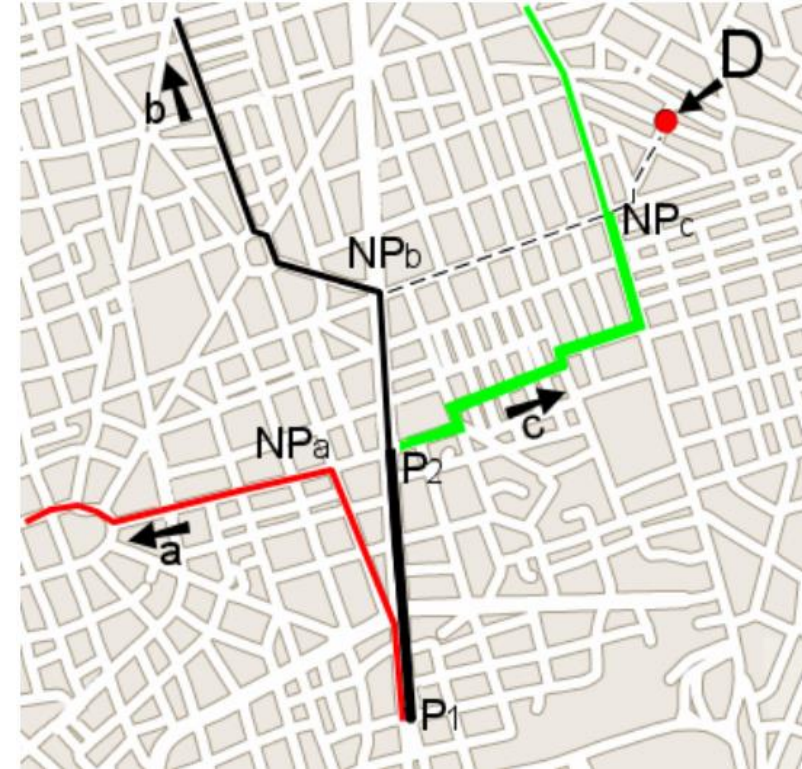
- **Sztochasztikus modell**

- Nem tudom előre kiszámolni a teljes útvonalat
- Függ attól, hogy egy adott kereszteződésben, egy adott pillanatban lesz-e aki továbbítsa az üzenetet az adott irányba
- Valószínűségeket tudok számolni



GeOpps: Geographical Opportunistic Routing

- Feltételezi, hogy az autók tudják előre az útvonalukat
 - Pl. valamilyen útvonaltervező / navigációs alkalmazás által
- Három lépésben választ next hop-ot:
 - Minden szomszéd megkeresi a célhoz legközelebbi pontot a várható útvonalán
 - Kiszámolják, hogy mennyi idő alatt érnek oda
 - Ha van ezek között olyan, amelyik közelebb lesz a célhoz, mint az aktuális node, vagy azonos távolságra, de hamarabb ér oda, akkor annak átadja a csomagot
- Ha az autó útvonalat változtat, akkor ezt újra kell értékelni



VANET broadcast protokollok

- Van egy célterület, amin belül mindenkinek meg kell kapnia az üzenetet (Broadcast Domain)
 - Minél inkább csökkenteni kell a terhelést (broadcast storm)

- **DECA: Density-Aware Reliable Broadcasting**
 - Nem használ pozíció információt
 - Beacon üzenetekkel felderíti a szomszédokat
 - A next hop az a szomszéd, akinek a legtöbb szomszédja van

Intelligens elárasztás pletykálással

- Az üzeneteket továbbszórjuk/eldobjuk egy bizonyos p valószínűséggel
 - **Carefully Localized Urban Dissemination (CLOUD)**
- Az eldobás valószínűsége függ attól, hogy egy adott útszakaszon levő autók mekkora valószínűséggel mennek a veszélyforrás felé
- Forgalmi adatbázis szükséges
 - Kanyarodási valószínűség minden útkereszteződésben
 - Megállás valószínűsége minden útszakaszon
 - Átlagos forgalom sűrűség az adott napszakban
- Megbízhatóság növelése egy szavazásos mechanizmussal
 - A csomagot csak akkor dobjuk el, ha megfelelő számú szavazat érkezett erre
- Miklos Mate, Rolland Vida, „Reliable Gossiping in Urban Environments”, in Proceedings of 72nd IEEE Vehicular Technology Conference VTC-Fall, Ottawa, Canada, September 2010.

Intelligens elárasztás pletykálással

- Szimulációs eredmények a CLoUD protokollra
 - Budapest digitális térképe

