

Szenzorhálózatok

Topológia, útvonalválasztás (2011.10.28)

Vidács Attila

Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

I.B.228, T:19-25, vidacs@tmit.bme.hu

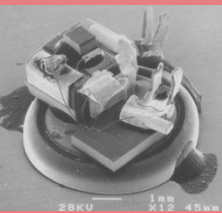
Közeghozzáférési (MAC) technikák

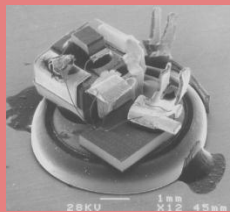
□ Hálózati réteg

■ WSN topológia

■ **Útvonalválasztás**

- Routing tervezési kérdések
- Hálózat és routing modellezése
- Hálózati struktúra alapú protokollok
 - Elosztott (flat)
 - Hierarchikus
 - Elhelyezkedés alapú (location based)



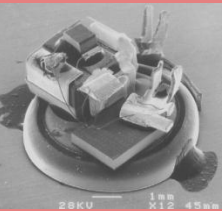


Útvonalválasztás (folyt.)

Routing tervezési kérdések WSN-ben

- Csomópontok telepítése: **determinisztikus** vagy **véletlenszerű**
 - Determinisztikus: a node-ok tervezetten (manuálisan) telepítettek, és az adatforgalom előre meghatározott útvonalakon halad.
 - Véletlen: az infrastruktúra ad-hoc módra áll fel.

- Energiatakarékosság a pontosság és megbízhatóság elvesztése nélkül.
 - A **node-ok kettős szerepe**: adatküldő és útvonalirányító.
 - Egy node kiesése hibás működés vagy energiahiány következtében jelentős topológia-módosulást és új útválasztás szükségességét eredményezheti.



Routing tervezési kérdések WSN-ben

□ Adatküldési modell

- Az információ érzékelése és az adatok továbbítása alkalmazásfüggő.

Az érzékelés és küldés lehet

■ idővezérelt (folyamatos)

- pl. periódikus monitorozást igénylő alkalmazásoknál
- A szenzorok időről időre aktivizálják magukat, mérnek, majd elküldik a mérd adatokat.

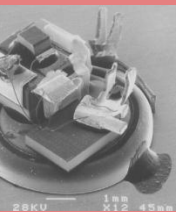
■ eseményvezérelt

- A szenzorok reagálnak a környezet hirtelen vagy jelentős változásaira.
- Időkritikus alkalmazásoknál fontos.

■ lekérdezés-vezérelt

- Egy „vezérlő” lekérdezésére válaszolnak a node-ok

- *Az útvonalválasztás nagyban függ az adatküldési modelltől!*



Routing tervezési kérdések WSN-ben

□ Node/link **heterogenitás**

- A legtöbb esetben a szenzorok azonos képességűek. (homogén)
- Az alkalmazástól függően azonban egy-egy csomópont más-más szereppel és képességekkel rendelkezik.
 - Pl. Különböző fizikai mennyiségek (hőmérséklet, mozgás, videó, stb.) különböző szenzorokat igényelnek.
- A speciális szenzorok a telepítésnél is másként kerülhetnek kihelyezésre.
- A különböző szenzorok adatgenerálási és küldési sebessége is különböző lehet (pl. hőmérséklet kontra videó).
- A különböző adatokhoz különböző QoS követelmények lehetnek.
- Pl. a hierarchikus protokollok (ld. később) klaszter-vezérlői gondosan pozicionált, nagyobb számítási kapacitással és energiával rendelkező állomások lehetnek.



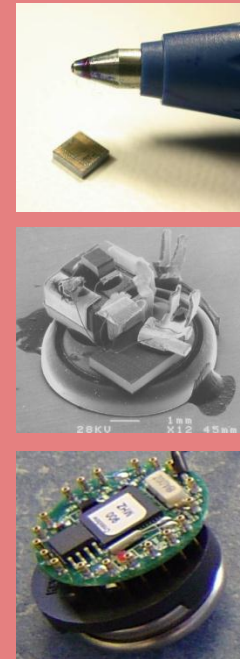
Routing tervezési kérdések WSN-ben

□ Hibatűrés

- Bármelyik szenzor bizonyos okok miatt (pl. interferencia, fizikai sérülés, energiahiány) kieshet a hálózatból.
- Egy node kiesése nem szabad, hogy az egész alkalmazás működését veszélyeztesse.
- A MAC és routing protokolloknak képesnek kell lenniük több node kiesését is megoldani.
- Többszintű redundancia beépítése lehet szükséges robosztus szenzorhálózatok tervezésénél.

□ Skálázhatóság

- A szenzorok száma egy hálózatban több száz, esetleg több ezer(!) is lehet.
- Pl. Egy állomásban implementált routing tábla messze nem tartalmazhatja az összes útvonalat minden node-hoz.



Routing tervezési kérdések WSN-ben

□ Hálózati **dinamika**

- Legtöbb esetben a node-ok statikusak, nem mozognak.
- Mozgó állomások (pl. mobil BS) estén a mobilitás-vezérlés az útvonalválasztásnál nagy kihívás.
- Pl. a hálózat topológiája az időben változik, ...
- Az érzékelt jelenség maga is lehet statikus vagy dinamikus. (pl. hőmérséklet kontra célkövetés)

□ **Átviteli közeg**

- A vezeték nélküli hálózatokban a rádiós kommunikáció „hagyományos” problémái: nagy bithibaarány, fading
- Tipikusan nincs szükség nagy átviteli sebességre (1-100 kbps)

□ **Konnektivitás**

- A tipikusan nagy node-sűrűség következtében egy csomópont fokszáma magas.
- A konnektivitás az időben változhat (pl. node-ok lemerülnek).



Routing tervezési kérdések WSN-ben

□ Lefedettség

- Minden szenzor csak a „közeli” környezetét tudja kellő pontossággal figyelni.
- A teljes terület lefedettsége (ill. a lefedettség megtartása az idő előrehaladtával) fontos szempont a tervezésnél.

□ Adatösszegzés (aggregation)

- A szenzorok nagyfokú redundanciával generálnak és küldenek adatokat. (Pl. hőmérsékletmérés közeli pontokban)
- A lényeges információ kiemelésével az átvitt adatmennyiség nagyban csökkenthető.
 - Pl. minimum, maximum, átlag
- Adat összegzéssel energiatakarékosság és nagyobb hatékonyság érhető el.
- Jelfeldolgozási módszerek is bevetethők a tömörítésnél.



Routing tervezési kérdések WSN-ben

□ **Szolgáltatásminőség** (QoS – Quality of Service)

- Pl. Adott esetben a mért adatokat egy időkorláton belül el kell küldeni, különben érdektelenné válik.
→ Időkritikus alkalmazásoknál a késleltetést korlátok közé kell szorítani.
- Legtöbb alkalmazás esetében az energiatakarékosság fontosabb, mint a rövid válaszidő.
- Pl. Ötlet: az energia fogyásával az adat minősége csökkenthető.

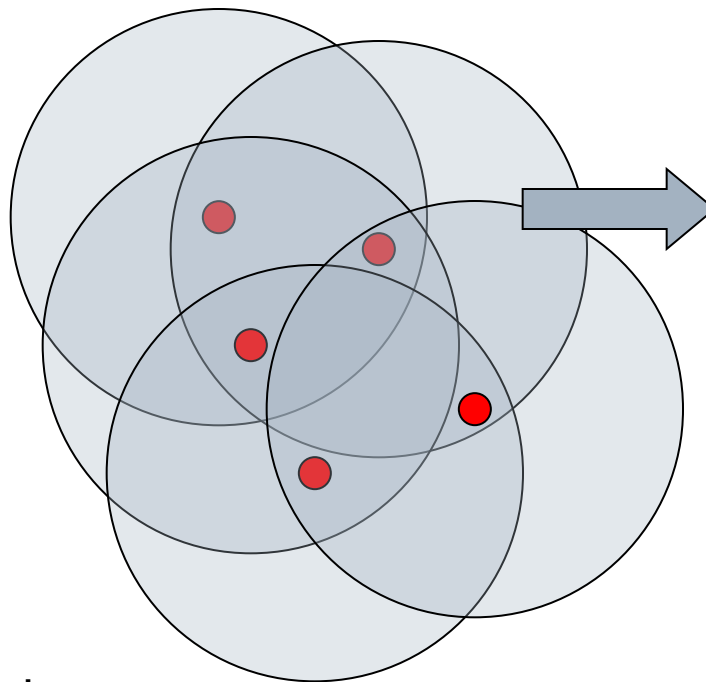
□ Energiatudatos útvonalválasztás a szenzorhálózatokban kulcskérdés!



Hálózat és routing modellezése

□ Matematikai modell:

- hálózat -> gráf
- routing algoritmusok -> gráfelméleti algoritmusok

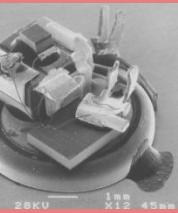


hálózat

- szenzorok
- rádiós összeköttetés

gráf

- csomópontok
- élek

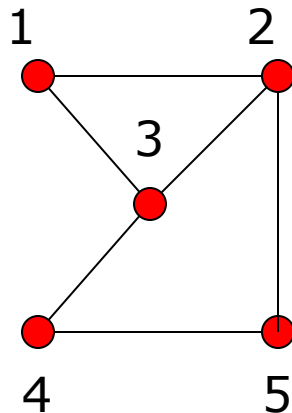


Hálózat és routing modellezése

□ Hálózat gráfja

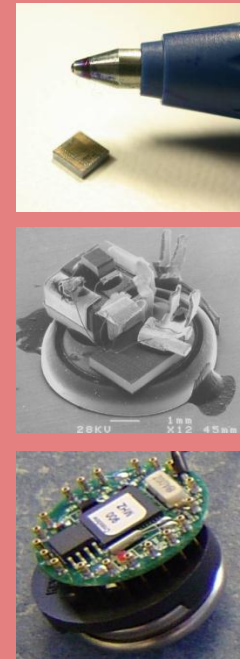
- Az élek irányítottak(?) vagy irányítatlanok lehetnek
 - pl. Egy állomás nem vesz részt üzenet továbbításában
- A távolság(?) fogalma két csomópont között értelmezhető
 - pl. Meghatározható a link „költsége” vagy „minősége”

□ Jelölések: $G(N, A)$, ahol a G gráfban N a csomópontok halmaza, A pedig az élek halmaza.



$$N = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$A = \{(1, 2), (1, 3), (2, 3), (3, 4), (2, 4), (2, 5)\}$$



Hálózat gráfja, fogalmak

- Út: $(n_1, n_2, \dots, n_m), n_i \in N, (n_i, n_{i+1}) \in A$
- Útvonal: Út, melyben egyetlen él sem ismétlődik.
- A gráf összefüggő, ha minden csomópontból létezik útvonal minden más csomópontba.
- Hurok: Út, melyre igaz, hogy $n_1 = n_m$
- Fa: Összefüggő gráf, amelyben nincs hurok.
- Feszítő fa (teljes fa): Fa, amely minden csomópontot tartalmaz.



Példa: Legrövidebb út keresése

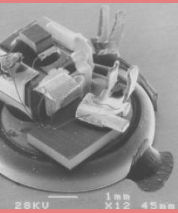
- Feladat: Legrövidebb út keresése a $G(N, A)$ gráfban az s (forrás) és t (nyelő) között.
- Az élekhez súlyokat rendelünk:

$$d_{i,j} \in R \Leftrightarrow (i, j) \in A$$

$$d_{i,j} = \infty \Leftrightarrow (i, j) \notin A$$

$$d_{i,i} = 0$$

- Keresendő az az L útvonal s és t között, melynek súlyösszege minimális (shortest path).
 - Egy lehetséges megoldás: Dijkstra algoritmus



Példa: Dijkstra algoritmus

Jelölés:

- D_i = az i . csomópont iterált távolsága s -től ($s=„1”$)
- P = feldolgozott csomópontok halmaza

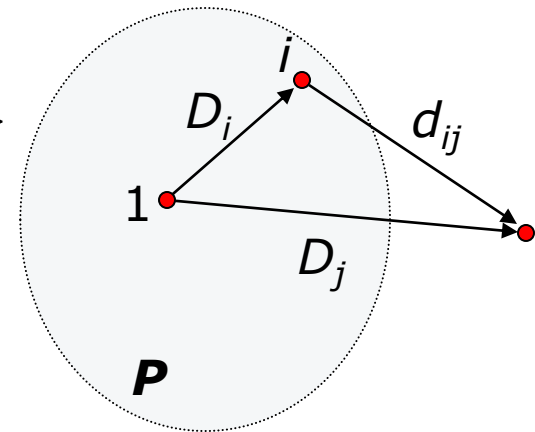
Algoritmus:

1. inicializálás: $P = \{1\}$; $D_j = d_{1j}$ minden j -re
2. iteráció: keressük i -t, melyre $D_i = \min_{\forall j \notin P} D_j$

3. legyen: $P = P \cup \{i\}$

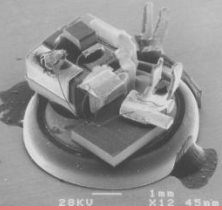
$$D_j = \min \{D_j, d_{ij} + D_i\}$$

4. leállás: Ha $N = P$, STOP
else GOTO 2.



Útvonalválasztási paradigmák

- Hálózati struktúra alapú protokollok
 - **Elosztott (flat)**
 - Hierarchikus
 - Elhelyezkedés alapú (location based)

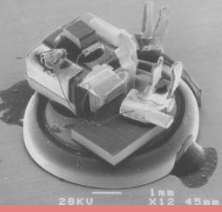


Elosztott (flat) routing

- A hálózat csomópontjai **egyenrangú** szerepet töltenek be.
- A szenzorok **együttműködnek** a feladat ellátásában.
- A node-ok nagy száma miatt nem mindig lehetséges önálló ID hozzárendelés. => **adatközpontú** útvonalválasztás

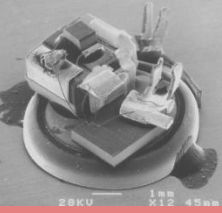
Adatközpontú útvonalválasztás:

- A BS lekérdezéseket küld bizonyos területek felé, és várja a választ az adott területen elhelyezkedő szenzoroktól.
- **Attribútum alapú címzés** szükséges a várt adatok típusának meghatározásához.



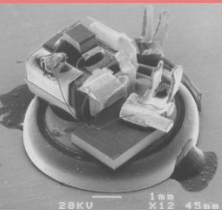
Elosztott routing algoritmusok

- ❑ SPIN – Sensor Protocols for Information via Negotiation
- ❑ Irányított diffúzió (directed diffusion)
- ❑ Pletyka (rumor) routing
- ❑ Minimális költségű továbbítás (MCFA – Minimum Cost Forwarding Algorithm)
- ❑ Gradiens alapú (gradient-based) routing
- ❑ Információ-vezérelt szenzor lekérdezés (IDSQ – Information-driven Sensor Querying)
- ❑ COUGAR (Puma)
- ❑ ACQUIRE – ACtive QUery forwarding In sensoR nEtworks
- ❑ Energiatudatos routing



SPIN

- SPIN – Sensor Protocols for Information via Negotiation
- Minden adatot szétterjeszt az összes node számára, így a keresett információ bármelyik csomóponttól azonnal megkapható.
- Egy protokollcsalád, amely
 - Képes adaptálódni a node-ok erőforrásaihoz.
 - Előzetes adat-egyeztetésen alapul.
 - Idővezérelt.
- Alapötlet: A közeli szenzorok nagyon hasonló (vagy azonos) adatokkal rendelkeznek, így elég csak azokat az adatokat terjeszteni, ami még nincs meg a szomszédoknál.



SPIN (folyt)

Meta-adat (meta-data):

- Az adathoz hozzárendelődik egy **leíró** (meta-data), amely pontosan leírja az adatot.
- A tényleges adatcsere előtt a meta-adatok alapján egyeznek meg a node-ok a kommunikáció szükségességéről, így a redundáns adatátvitel elkerülhető.
- A meta-adat szemantikája alkalmazásfüggő, a SPIN-ben nem specifikált.
 - PI: Egy szenzor egyedi ID-je használható meta-adatként, amely megadja, hogy a szenzor milyen területet figyel meg.



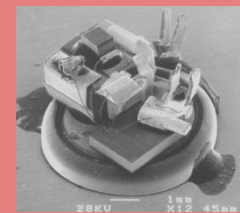
SPIN (folyt.)

□ A SPIN protokoll 3 állapotú:

- adathirdetés: ADV – advertise new data
- adatkérés: REQ – request data
- adatküldés: DATA

□ A protokoll működése:

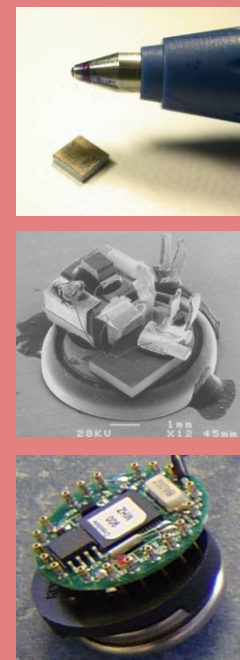
- Ha egy szenzor új adat birtokába kerül, meghirdeti annak meta-adatát egy ADV üzenetszórással.
 - Ha egy szomszédja érdeklődik az adat iránt, egy REQ üzenettel jelzi azt, amit a forrás elküld egy DATA üzenetben.
 - Ha a szomszéd megkapta a (számára új) adatot, elkezd hirdetni azt a szomszédainak. (GOTO 1)
- Az üzenetküldések eredményeképp egy idő után az adat az egész hálózatban szétterjed.



SPIN (folyt.)

□ A SPIN protokollcsalád variánsai:

- **SPIN-1**: Id. fent
- **SPIN-2**: Az 1-es verzió kiegészítve egy küszöbértéken alapuló erőforrástudatos tárgyalási fázissal: Ha túl kevés az energia, nem vesz részt minden üzenettovábbításban.
- **SPIN-BC**: Üzenetszórásos csatornákra optimalizált
- **SPIN-PP**: Pont-pont (hop-by-hop) kommunikációra optimalizált
- **SPIN-EC**: A SPIN-PP egy variánsa, energia-heurisztika hozzáadásával.
- **SPIN-RL**: Sokat hibázó („lossy”) csatornára optimalizált.



SPIN (folyt.)

Előnyök:

- ❑ A klasszikus elárasztással szemben az átvitt adatmennyiség kisebb a meta-adatok egyeztetésének köszönhetően. (nincs „adatrobbanás”)
- ❑ Az energia-adaptivitás energiahatékony működést eredményez.
- ❑ Jól alkalmazható pl. akkor, ha a szenzorok mozoghatnak.
 - Nincs szükség csak a közvetlen szomszédok ismeretére.

Hátrányok:

- ❑ Az adatok nem biztos, hogy eljutnak azokhoz a node-okhoz, amelyek érdekesnek találnák azt.
 - Pl. Ha a közvetlen szomszédok nem érdekeltek, akkor nem fogják elkérni az új adatokat.



Irányított diffúzió



□ DD - Directed Diffusion


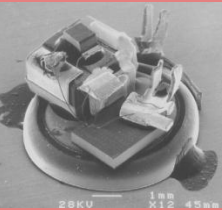
□ **Adatcentrikus** (DC) és alkalmazástudatos protokoll.

■ A szenzorokban keletkező adatokat egy attribútum-érték párossal írja le.

■ Több forrástól továbbít adatokat **egyetlen célállomás** (BS - bázisállomás) felé.

■ A folyamatok összefogása lehetőséget ad az **aggregálásra!**

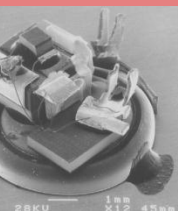
□ Alapötlet: A különböző forrásoktól származó adatokat a hálózaton belül aggregáljuk.



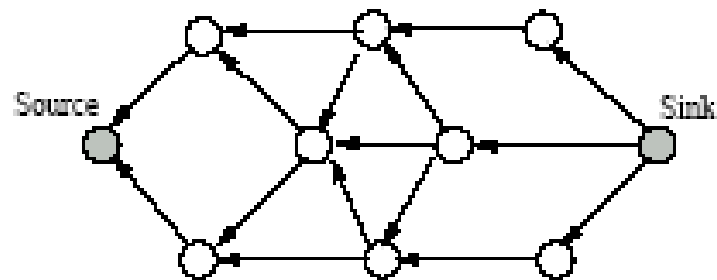
Irányított diffúzió

□ A kommunikáció menete:

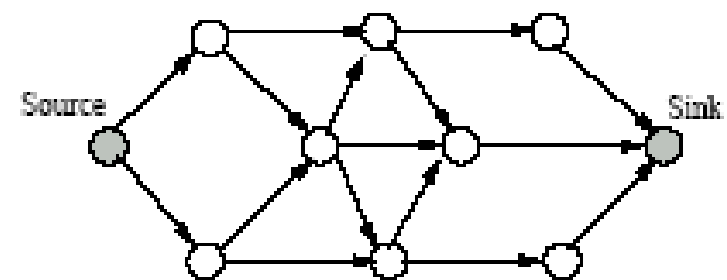
- Ha a BS-nek információra van szüksége, egy kérést küld a hálózatba üzenetszórással.
 - kérés = egy hálózat által végrehajtandó feladat
- A kérés végig „diffundál” a hálózaton lépésről lépésre, minden állomás továbbítja azt szomszédainak (hop-by-hop).
- A node-ok gradienseket állítanak fel:
 - $\text{gradiens} = \text{attribútum-érték pár} + \text{irány}$
 - Pl. minden állomás arra állítja a gradiensét, ahonnan a kérés érkezett hozzá.
 - A gradiens nagysága a szomszédoktól függően más-más lehet.
- Adatküldés visszafelé a legnagyobb gradiens irányába.
 - A nyelő felé haladva az adatok aggregálhatók.



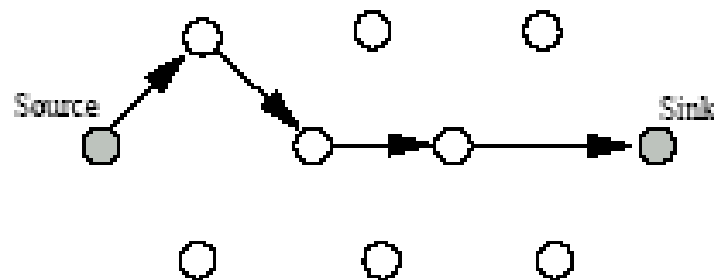
Irányított diffúzió



(a) Propagate Interest



(b) Set up Gradients

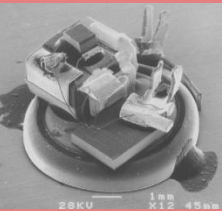


(c) Send data and path Reinforcement

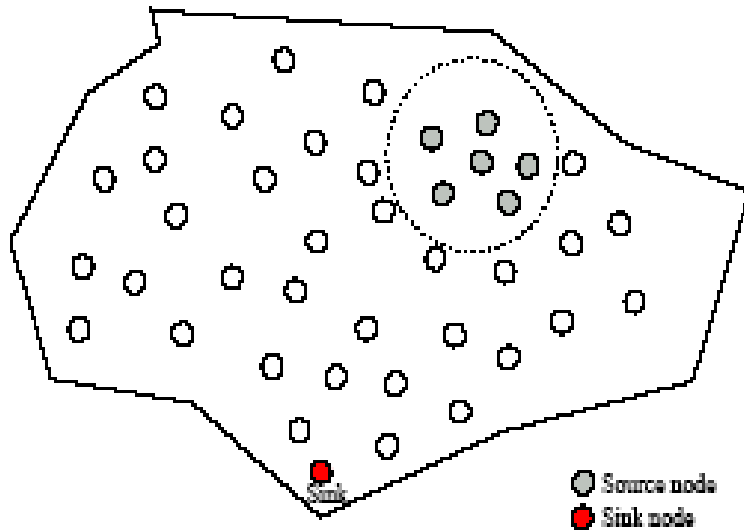
3. ábra. Példa kérés terjesztésre szenzorhálózatban.

Irányított diffúzió

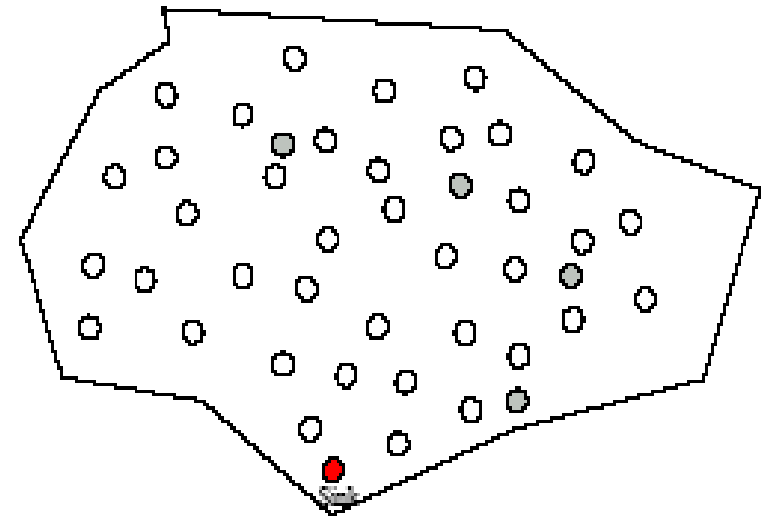
- A BS a kérést periódikusan ismételteti akkor is, amikor elkezd az információt begyűjteni.
 - Pl. ha nem mindig garantált az információ továbbítása.
- Ha a gradiensek (útvonalak) kiépültek, a kérések terjesztéséhez már nincs szükség elárasztásra.
- A cél egy olyan „hatékony” fa kiépítése, amely mentén az információ aggregálható.
- Az adat aggregáció hatékonysága függ:
 - a node-ok elhelyezkedésétől,
 - a node-ok számától,
 - a hálózati kommunikációs topológiától,
 - az eseménymodellről.



Irányított diffúzió - példa



(a) Event Radius Model



(b) Random Source Model

- Eseménymodellek:
 - Esemény-sugár (ER – Event Radius)
 - Véletlen források (RS – Random Sources)
- Az ER modell esetén az aggregálás jobb hatásfokkal végezhető el.

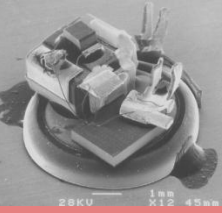
Irányított diffúzió

Előnyök:

- ❑ Nincs szükség a teljes topológia ismeretére.
- ❑ Az adatforgalom csak igény szerinti. 😊

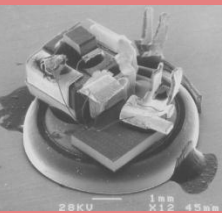
Hátrányok:

- ❑ Az adatforgalom csak igény szerinti. ☹️
- ❑ A kérés elárasztásos módon jut el a címzethez, még akkor is, ha az állomások csak nagyon kis csoportja érdekelt a kérés megválaszolásában.
- ❑ A kérések egyeztetése a meglévő adatokkal energiát von el.



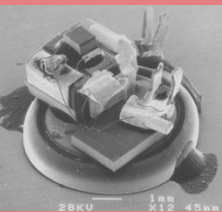
Pletyka routing

- Rumor routing
- Az irányított diffúzió egy variánsa.
 - Kiküszöböli a kérések elárasztásos terjesztését.
- Alapötlet: Elárasztás helyett a kérést csak azokhoz a node-okhoz elég irányítani, amelyek az adott eseményt megfigyelték vagy tudnak róla.
- Azon alkalmazások számára hasznos, ahol...
 - az események száma kicsi, a kérések száma pedig nagy;
 - a geográfiai routing nem alkalmazható.



Pletyka routing

- Megoldás: Terjesszük az eseményt (is) ne (csak) a kérést.
 - Ha egy node egy eseményt érzékel, hozzáadja azt a lokális eseménytáblájához .
 - Létrehoz egy „hosszú életű” ügynök (agent) csomagot.
 - Az ügynökök a hálózatban utazva terjesztik az információt.
 - Egy ügynököt fogadó állomás megjegyzi azt.
 - Ha egy kérés érkezik, üzenetszórás helyett bármely node megválaszolhatja, ha ismeri az utat a forráshoz (azaz járt nála az ügynök).



Pletyka routing

- ❑ A node-ok csak egy útvonalat kezelnek a forrás és cél között, ellentétben az irányított diffúzióval.
- ❑ A kérések és ügynökök élettartama a protokoll paramétere (pl. TTL mezők)
- ❑ Az ügynökök útvonalának meghatározása nem egyszerű, és nagyban befolyásolja a teljesítményt.

Előny:

- ❑ Az üzenetszórás elkerülésével energia takarítható meg.

Hátrány:

- ❑ Csak akkor működik, ha az események száma kicsi.
 - Nagy eseményszám esetén az eseménytáblák karbantartása túl költséges, ha nincs elég érdeklődés az események iránt.

