

Hálózati réteg

Topológia. Útvonalválasztás.

Hiánypótlás...

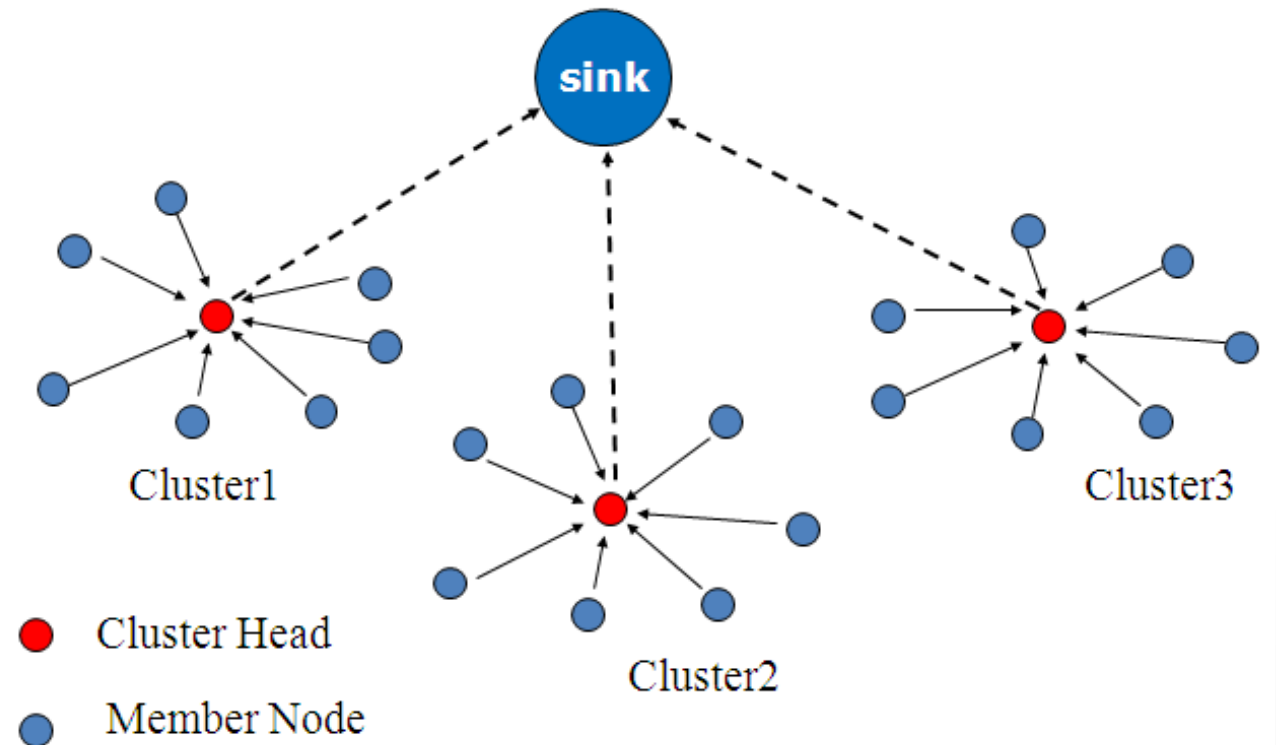
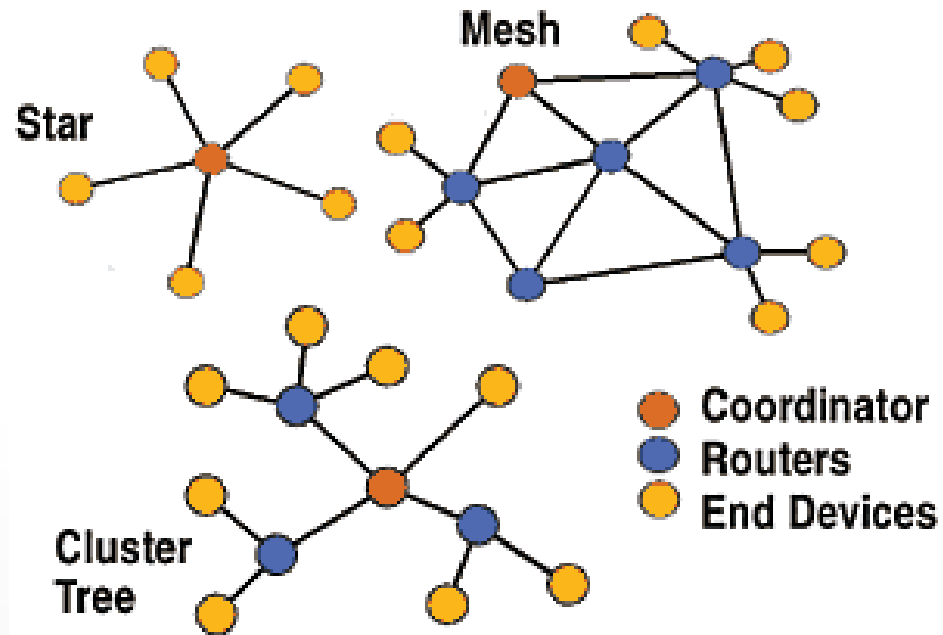
- Szinkronizált szentjánosbogarak
 - <http://youtu.be/a-Vy7NZTGos>
 - <http://youtu.be/yyDEVNk4Wi0>
-

Útvonalválasztás

Tartalom

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

WSN topológia – klaszterképzés (ism.)



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

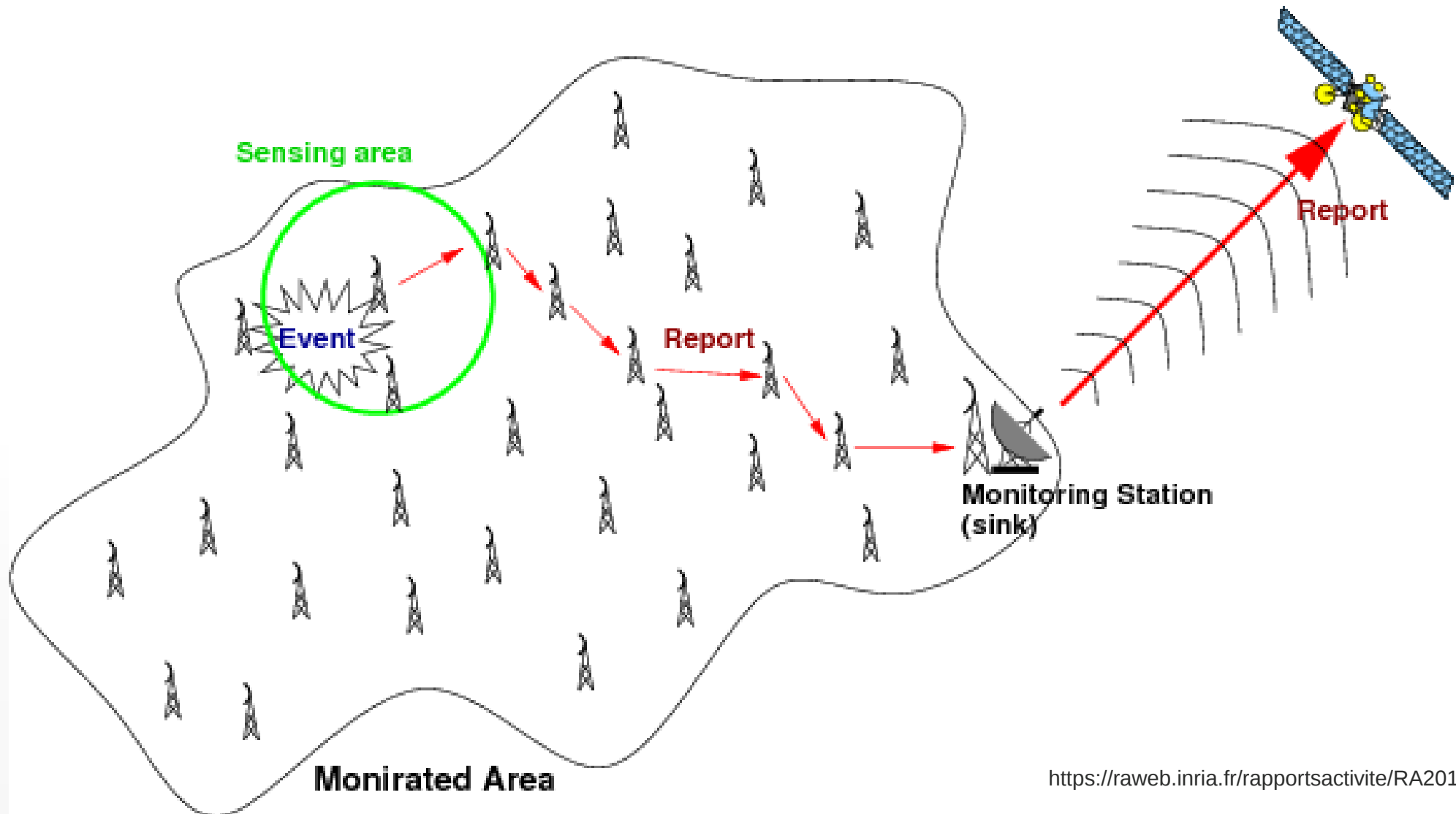
- **Adatküldési modell**

- Az információ érzékelése és az adatok továbbítása alkalmazásfüggő.

Az érzékelés és küldés lehet

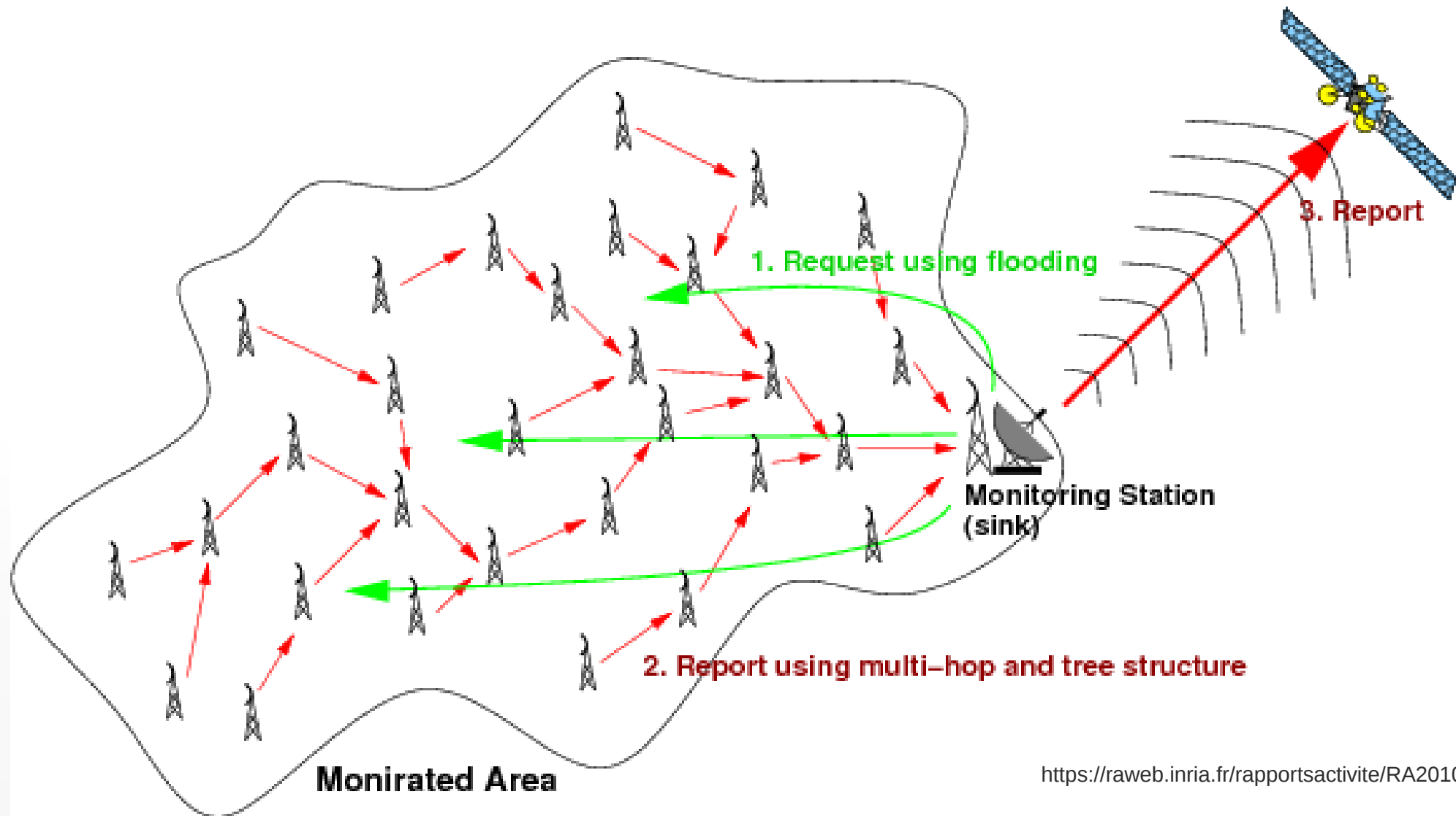
- **idővezérelt** (folyamatos)
 - pl. periódikus monitorozást igénylő alkalmazásoknál
 - A szenzorok időről időre aktivizálják magukat, mérnek, majd elküldik a mért adatokat.
 - **eseményvezérelt**
 - A szenzorok reagálnak a környezet hirtelen vagy jelentős változásaira.
 - Időkritikus alkalmazásoknál fontos.
 - **lekérdezés-vezérelt**
 - Egy „vezérlő” lekérdezésére válaszolnak a node-ok
- ***Az útvonalválasztás nagyban függ az adatküldési modelltől!***

Eseményvezérelt működés (példa)



<https://raweb.inria.fr/rapportsactivite/RA2010/pops/IMG/fig1.png>

Lekérdezés vezérelt (példa)



<https://raweb.inria.fr/rapportsactivite/RA2010/pops/IMG/fig1b.png>

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 rendelkezhet.
 - 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) **klasztervezérlői** gondosan pozícionált, 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 hálózathoz.
- Egy node kiesése nem szabad, hogy az egész alkalmazás működését veszélyeztesse.
- A MAC és routing protolloknak 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) esetén 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 bithibaaarány, 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 fogytával az adat minősége csökkenthető.
- Energiatudatos útvonalválasztás a szenzorhálózatokban kulcskérdés!

Tartalom

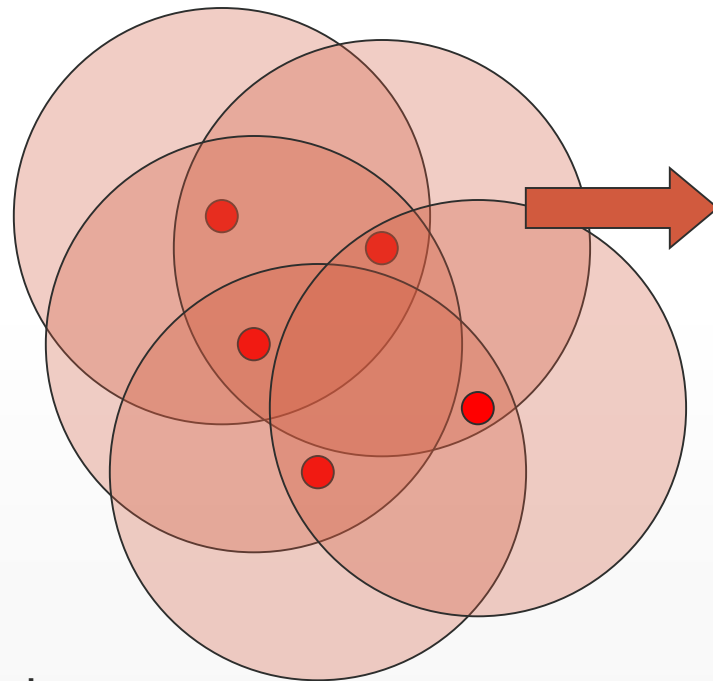
- Hálózati réteg
 - WSN topológia
 - Útvonalválasztás
 - Routing tervezési kérdések
 - **Hálózat és routing modellezése**
 - Útvonalválasztó protokollok
 - Elosztott (flat)
 - Hierarchikus
 - Elhelyezkedés alapú (location based)

Hálózat és routing modellezése

Gráfok, algoritmusok

Hálózat és routing modellezése

- Matematikai modell:
 - hálózat -> gráf
 - routing algoritmusok -> gráfelméleti algoritmusok

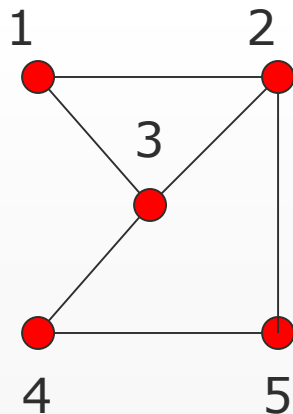


hálózat
- szenzorok
- rádiós összeköttetés

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

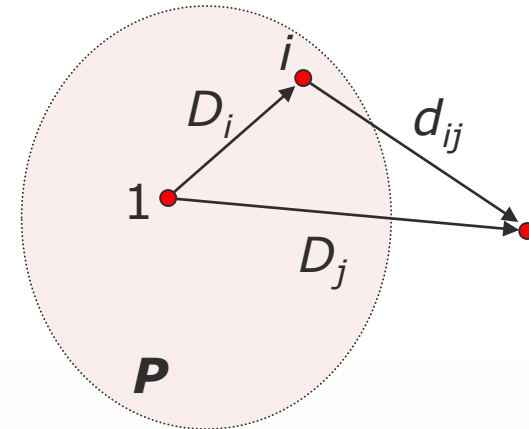
Példa: Dijkstra algoritmus

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.



Tartalom

- Hálózati réteg
 - WSN topológia
 - Útvonalválasztás
 - Routing tervezési kérdések
 - Hálózat és routing modellezése
 - **Útvonalválasztó protokollok**
 - Elosztott (flat)
 - Hierarchikus
 - Elhelyezkedés alapú (location based)

Elosztott (flat) routing

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

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.
 - Pl: 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:** ld. 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.

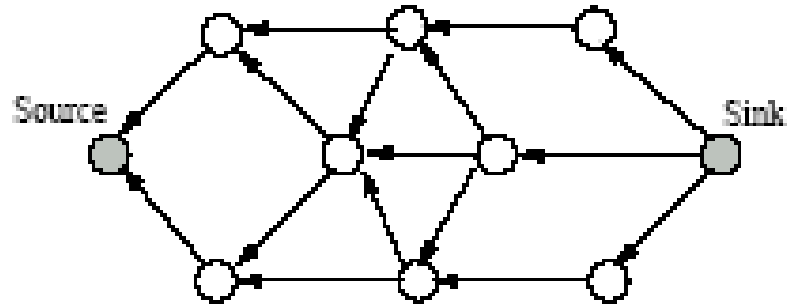
Irányított diffúzió

- 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.

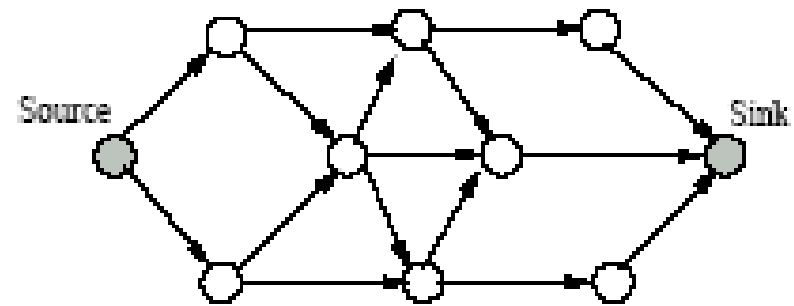
Irányított diffúzió

- 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.

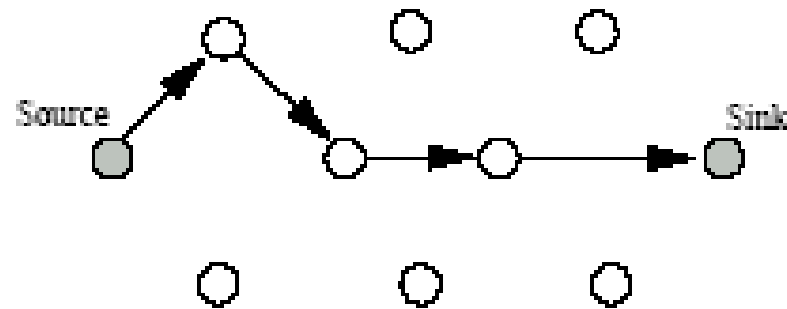
Irányított diffúzió



(a) Propagate Interest



(b) Set up Gradients



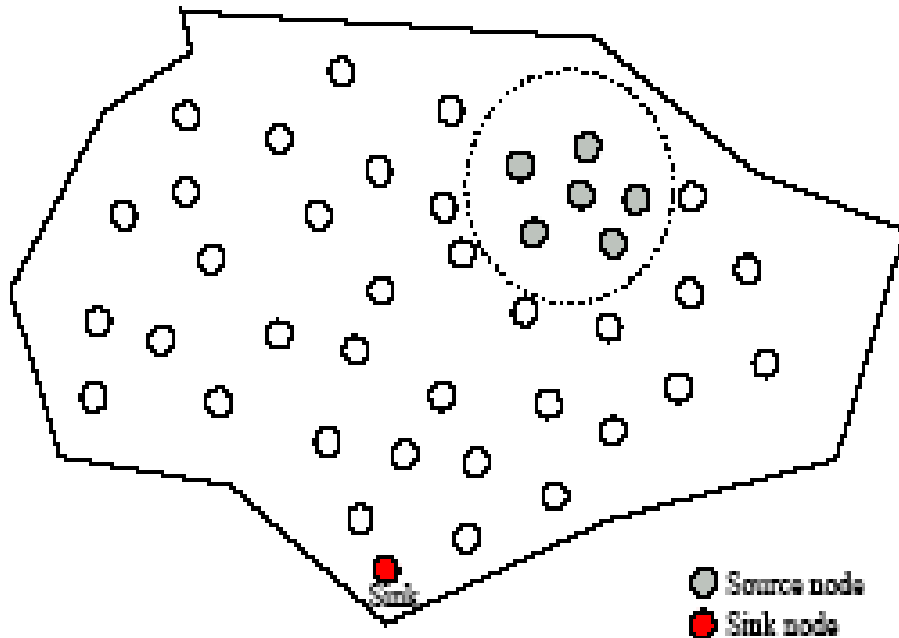
(c) Send data and path Reinforcement

3. ábra. Példa kérés terjesztésre szenzorhálózatban.

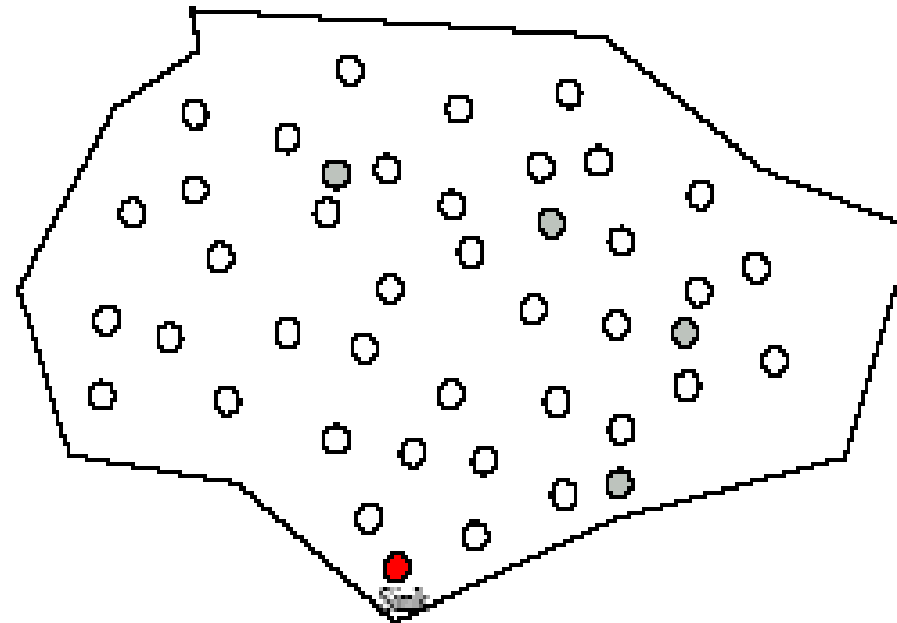
Irányított diffúzió

- A BS a kérést periódikusan ismételteti akkor is, amikor elkezd az információt begyűjteni.
 - Pl. ha nem mindig garantált az információ továbbítása.
- 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 eseménymodelltől.

Írányított 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 címzetthez, 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

- Megolodás: 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.

Útvonalválasztási paradigmák

- Hálózati struktúra alapú protokollok
 - Elosztott (flat)
 - **Hierarchikus**
 - LEACH, TEEN, APTEEN
 - Elhelyezkedés alapú (location based)
 - egyéb...
-

Hierarchikus routing

LEACH

Hierarchikus útvonalválasztás

- Hierarchikus = **klaszter alapú**
 - Egy hierarchikus architektúrában...
 - a node-ok **nem** azonos szerepet töltenek be,
 - (Tipikusan) több erőforrással rendelkező node-ok foglalkoznak az információ feldolgozásával és továbbításával.
 - Előnye: skálázhatóság(?), hatékony kommunikáció
 - A hierarchikus routing kétrétegű:
 - Az első réteg feladata a **klaszterek formálása** és a **klaszter-vezérlő választása**.
 - A második rétegben van a tényleges útvonalválasztás.
 - *A legtöbb esetben nem a routing az érdekes, hanem a klaszterek és vezérlők menedzsmentje!*
-

LEACH protokoll

- LEACH = Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
 - Klaszter alapú protokoll, **elosztott klaszterképzéssel**
 - A klaszter vezérlőket (clusterhead – CH) véletlenszerűen választja, és ezt a szerepet időről időre cseréli az energiamegosztás miatt.
 - A CH a node-októl érkező adatokat aggregálja és tömöríti, majd továbbítja a BS-nek.
 - TDMA/CDMA MAC a klaszteren belüli és klaszterek közötti ütközések csökkentésére.
 - Az adatok gyűjtése centralizált és periódikus.
-

LEACH

- Feltételezések:
 - Minden node a BS rádiósugarában van.
 - Minden node elegendő energiával és számítási kapacitással rendelkezik a CH funkciók ellátásához.
 - Minden node képes CDMA és TDMA kommunikációra.
 - Minden node periódikusan küld adatot.
 - A szomszédos node-ok által küldött adatok erősen korreláltak.
-

LEACH

- A protokoll két fázisa:
 - **Inicializálás** (setup phase)
 - Klaszterek szervezése
 - Klasztervezérlők kijelölése
 - **Állandósult állapot** (steady phase)
 - Az adatforgalom vezérlése
 - Bizonyos időnként periódikusan a hálózat visszatér az inicializáló állapotba.
-

LEACH

Inicializálás

1. Minden node egy r véletlen számot sorsol magának. Ha r egy küszöbérték alatt van, a node klasztervezérlő (CH) lesz.
2. Minden CH hirdeti magát.
3. Minden nem-CH node a hirdetések alapján kiválasztja, hogy melyik CH-hoz akar tartozni (pl. vett jel erőssége alapján), majd értesíti erről a CH-t.
4. Minden CH egy TDMA ütemezést rendel a hozzá tartozó node-okhoz.

Állandósult állapot

1. A node-ok érzékelnek és továbbítják adataikat a CH-nak.
 2. A CH az adatok begyűjtése után aggregálja azokat, majd CDMA kóddal továbbítja azt közvetlenül a BS-nek.
-

LEACH

Problémák:

- Nem nyilvánvaló, hogy a node-ok milyen valószínűséggel válnak klasztervezérlővé.
 - Probléma lehet, hogy a CH-k eloszlása nem egyenletes, így egyes node-ok környezetében esetleg nem lesz CH.
- A dinamikus és periódikus klaszterképzés jelentős többlet-költséggel jár.
- A protokoll azzal számol, hogy minden körben a node-ok energiaszintje azonos.

Lehetséges kiterjesztés: Egy node az energiaszintjétől teszi függővé, hogy milyen valószínűséggel deklarálja magát CH-nak.

TEEN

- TEEN = Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol
 - Klaszter alapú megoldás.
 - Reaktív.
 - Időkritikus alkalmazásokhoz javasolták.
 - Alapötlet: A szenzorok folyamatosan figyelik környezetüket, de csak akkor küldenek adatot, ha a mért érték egy bizonyos küszöbérték felett van.
-

TEEN

- A protokoll működése:
 - A klasztervezérlő egy „kemény” és egy „puha” küszöbértéket küld a hozzá tartozó szenzoroknak.
 - Ha egy szenzor által mért mennyiség a kemény küszöb felett van, bekapcsolja rádióadóját és elküldi az adatot a vezérlőnek, majd tárolja azt magának is.
 - A továbbiakban csak akkor küld adatot, ha
 1. az adatküldés után a mért érték továbbra is a kemény küszöb felett van, és
 2. az új mérés eredménye a puha küszöbértéknél jobban eltér a tárolt értéktől.
 - Ha változik a klasztervezérlő, új küszöbértékeket küld szét a klaszteren belül.
-

TEEN

- Előnyök:
 - Energiatakarékos megoldás.
 - A kemény küszöb miatt csak a minket érdeklő adatokat mérjük.
 - A puha küszöb állításával egy kompromisszum állítható be a pontosság és az adatforgalom mennyisége között.
 - Módosítás: APTEEN – Adaptive Periodic TEEN
-

APTEEN

- Hibrid protokoll: küszöbértékek + periodicitás
 - A klasztervezérlő által küldött paraméterek:
 - Attribútum (fizikai mennyiség)
 - Küszöbértékek: kemény és lágy küszöb
 - TDMA ütemezési információ
 - Max periódusidő
 - A küszöbértékek használata u.a. mint a TEEN esetén.
 - Minden node a számára kijelölt TDMA időrésben küldhet adatot.
 - Minden node-nak legalább periódusonként egyszer kell mérnie és adatot küldenie. (proaktív működés)
-

APTEEN

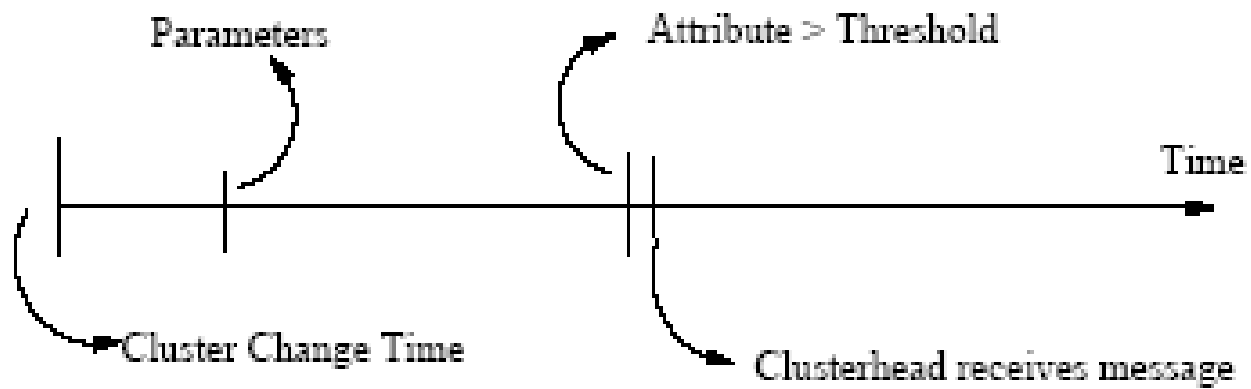
Előnyök:

- Rugalmasan paraméterezhető.
- Reaktív és proaktív működés.

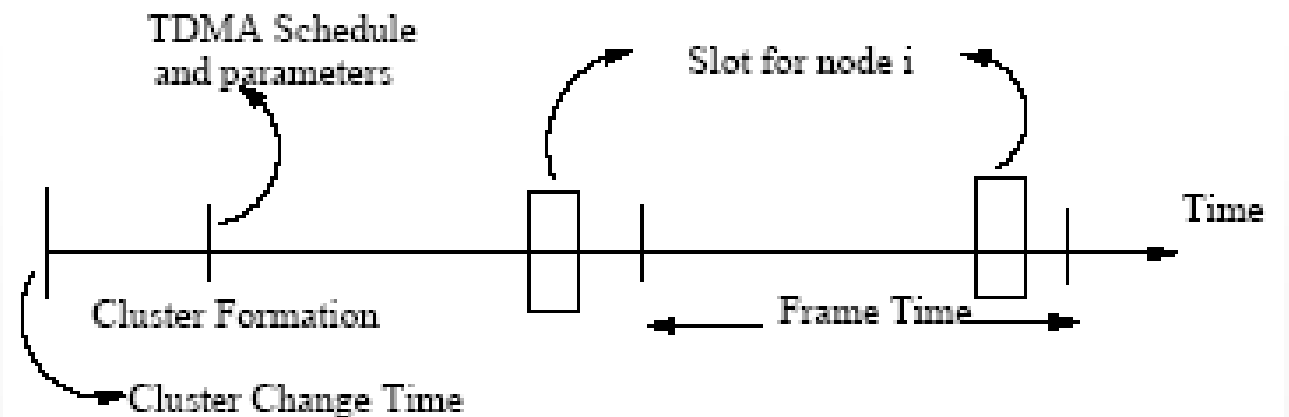
Hátrányok:

- Komplexitás (küszöbértékek és periódusidő)
 - Klaszterképzés és vezérlő-választás.
 - Attribútum alapú címzés.
-

TEEN és APTEEN



(a) operation of TEEN



(b) operation of APTEEN

Útvonalválasztási paradigmák

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

Elhelyezkedés alapú útválasztás

- A node-okat helyzetük alapján címezhetjük meg.
- Szükség van a node-ok helyzetének ismeretére.
 - GPS (drága!)
 - Távolság mérhető a vett rádiójel erősségéből vagy egyéb (pl. akusztikus) úton.
 - Háromszögelés.

(folyt köv...)
