

Energiahatékony kommunikáció szenzorhálózatokban

VASS DOROTTYA, VIDÁCS ATTILA

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
vass@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: szenzorhálózat, energiahatékonyság, klaszterezés, útvonalválasztás, adataggregálás

A vezeték nélküli ad-hoc hálózatok egy speciális esetét képezik a szenzorhálózatok, ahol a csomópontokban apró, szerényebb számítási kapacitással rendelkező, különféle érzékelőkkel ellátott eszközök állnak, ám a hálózat nagy területet fed le és tipikusan rendkívül sok csomópontból áll. A hálózat tervezésekor egyik legfontosabb szempont a hálózat energiatakarékossága, mivel a szenzorok korlátozott energiával rendelkeznek, és vagy nem lehetséges, vagy nagyon költséges az újratöltésük. A következő oldalakon az energiahatékony kommunikáció megvalósításának lehetőségeit vizsgáljuk szenzorhálózatokban.

1. Bevezetés

A hagyományos, huzalozott, központi irányítással ellátott, néhány csomópontból álló szenzorhálózat már a múlté. A mikroelektronikában és a vezeték nélküli kommunikációban az utóbbi években bekövetkezett óriási fejlődésnek köszönhetően lehetőség nyílt olyan kis fogyasztású, alacsony költségű szenzorok kifejlesztésére, melyek hatékonyan tudnak vezeték nélküli összeköttetés nélkül is kommunikálni egymással, vagy egy külső bázisállomással. A jövő emberének mindennapjaiban helyet követelnek (lásd intelligens otthon), de jelen vannak az egészségügy, a környezetvédelem, a környezet megfigyelése, a honvédelem, és az ipar számos területén is.

Az egyes szenzorok egy kis elemmel vannak telepítve, melyeknek nem megoldható, vagy nagyon költséges a cseréjük, újratöltésük. Amikor ez az energiaforrás kimerül, a szenzor többé nem képes sem érzékelni, sem adatokat továbbítani. Ezért a hálózat tervezés fő szempontja az energiahatékonyság, hiszen minél tovább élnek az egyes szenzorok, annál tovább életképes a hálózat. A továbbiakban bemutatjuk, hogy a hálózat működésének egyes részfeladataiban milyen energiahatékony megoldások születtek.

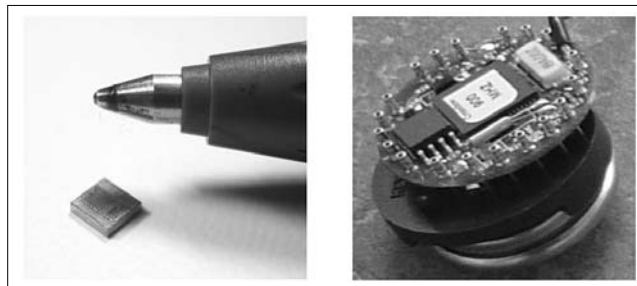
A második fejezetben áttekintjük a szenzorhálózatok sajátosságait. A harmadik fejezet témája a közeghosszú távú vezérlés, míg a negyedik fejezet a szenzorok klaszterekbe való összefogását vizsgálja. Az ötödik fejezet áttekinti az alkalmazható útvonalválasztási technikákat, a hatodik fejezet pedig az adatok aggregálásának lehetőségét vizsgálja, majd végül a hetedik fejezet egy rövid kitekintést ad a szenzorhálózatokban alkalmazható mobilitásról.

2. Szenzorhálózatok sajátosságai

Egy szenzorhálózat tipikusan nagyszámú, sok száz, vagy akár sok ezer, sűrűn elhelyezett szenzorból épül fel, a vizsgálandó jelenség vagy megfigyelt terület közvetlen

közelében, vagy a belsejében. Az egyes érzékelők elhelyezése nem feltétlenül előre megtervezett, lehetséges véletlenszerű telepítésük is. Egyes hálózatok például akkor is működőképesek, ha a szenzorokat egy repülőgépből szórják ki a vizsgálandó területre. Emiatt azonban a hálózat tervezőinek komoly nehézségekkel kell megküzdeniük, mivel olyan protokollokat és algoritmusokat kell kidolgozniuk, amelyek a hálózatot önszervező képességekkel ruházzák fel.

Egy tipikusnak mondható szenzorhálózat a következőképpen működik. A szenzorok feladata, hogy érzékeljék az érzékelési területükön bekövetkezett eseményeket és ezt jelentsék egy központi adatgyűjtő egységnek, az úgynevezett nyelőnek. Ez az esemény lehet egy behatoló detektálása, tűz felismerése, hőmérséklet, páratartalom, nedvességtartalom, esetleg sugárzás, szeizmikus aktivitás mérése, hang érzékelése vagy bármi más megfigyelése. A sokféle felhasználási lehetőséghez természetesen sokféle szenzor tartozik, de egy dolog közös ezekben a hálózatokban: a véges felhasználható energia. Az 1. ábra a hálózat alap építőkövét, a szenzort mutatja be.



1. ábra Szenzor csomópontok

A szenzorok energiafogyasztásának fő fázisai a következők. Energiát fogyasztanak érzékelés, az információ feldolgozása és adattovábbítás közben. Ezek közül a legjelentősebb a kommunikációra fordított energia. Az adatok átviteli költsége arányos a távolság magasabb hatványával, a hatványkitevő értéke általában

a környezettől függően 2-4 közé esik. Jelentős energiameennyiséget takaríthat meg a hálózat, ha az egyes szenzorok a rádiós adáskor teljesítményszabályozást alkalmaznak. Ekkor a csomópontok nem állandó nagyságú energiát használnak fel az információ továbbítására, hanem attól függően, hogy a szomszédai, vagy a célállomás milyen távolságra helyezkedik el, szabályozzák a rádiós adóteljesítményét, így a kommunikációs sugarat a szükséges mértékig lecsökkentik.

A következőkben arra összpontosítunk, hogy milyen módszerekkel csökkenthető a hálózat energiaszükséglete az adatok továbbítása során. (Egy alapos áttekintés található [1]-ben.)

3. Szenzorok közeghozzáférés-vezérlése

A szenzorok kommunikációja során számos probléma merül fel. Ha két, egymáshoz közeli szenzor adatküldéskor ugyanazt a csatornát használja, akkor két keret időben átlapolódik, a jelek összekeverednek és ütközés lép fel. Az újraküldés jelentős energia pazarlást jelent, ezért ennek az arányát a szenzorhálózatokban minimálisra kell csökkenteni, ugyanakkor el kell kerülni a túlzott jelzési és szinkronizációs költséget.

A közeghozzáférés vezérlés alapvető feladata a kommunikációs csatorna kiosztása, azaz hozzárendelése az egyes kommunikálni szándékozó szenzorokhoz.

A csatornakiosztás történhet statikus, vagy dinamikus módon. A megosztási módszer lehet:

- frekvenciaosztásos (FDM: Frequency Division Multiplexing),
 - időosztásos (TDM: Time Division Multiplexing),
 - kódosztásos (CDM: Code Division Multiplexing),
- esetleg e három módszer valamiféle kombinációja.

Sajnos a frekvenciagenerátorok (MEMS, olcsó kristály) pontossága csekély, így az időosztásos technikák nem hatékonyak.

A statikus kiosztás esetén a hálózat felépítésekor a csatornát fixen rendeljük hozzá az egyes szenzorokhoz, ezért az alkalmazás hátránya, hogy nagy állomásszám és/vagy nem egyenletes forgalom esetén a kihasználtság drasztikusan lecsökken.

Dinamikus csatornakiosztás esetén a változó igényeknek megfelelően oszthatjuk ki a csatornahozzáférés jogát. Igényeket figyelembe vevő vezeték nélküli hozzáférési technika például az ALOHA, a vivőérzékeléses többszörös hozzáférés (CSMA) és a lekérdezés (polling).

ALOHA az első véletlen hozzáféréseken alapuló vezeték nélküli MAC. Csillaghálózati topológiát feltételez, a központban egy vezérlővel. Külön csatornák vannak hozzárendelve a be- és kimenő forgalomnak, melyekhez az állomások aszinkron módon férnek hozzá. Ha ütközés lép fel, az állomások újra próbálkoznak egy véletlen várakozási idő után. A módszer problémája, hogy a csillagtopológia a mester csomóponttal a szenzorhálózati elvárásoknak nem megfelelő.

A CSMA alapötlete, hogy minden állomás az adás előtt belehallgat a csatornába, és csak akkor kezd el adni, ha a csatorna szabad. Lekérdezés (polling) esetén egy csomópont viszont csak akkor adhat, ha erre engedélyt kap egy mester csomóponttól.

A vezeték nélküli szenzorhálózatok speciális tulajdonságai miatt a közeghozzáférési technikáknak különleges követelményeknek kell megfelelniük. Energia-takarékossági szempontok miatt a csomópontok aktív részvétele csak az idő kis töredékében biztosítható. Mivel a szenzorok kiskapacitású, olcsó eszközök, egyszerűen implementálható (olcsó) megoldásokra van szükségünk. A vezeték nélküli szenzorhálózatok speciális igényeinek kielégítésére született meg az *S-MAC (Medium Access Control for Wireless Sensor Networks)* közeghozzáférés vezérlő protokoll.

S-MAC protokoll célja energiatakarékos, skálázható közeghozzáférés megvalósítása szenzorhálózatokban [2,3]. A protokoll három fő építőelemből épül fel:

- periódikus figyelés,
- ütközés és áthallás elkerülése,
- üzenet továbbadás.

A protokoll többgrásos (multihop) kommunikációt feltételez, tehát az üzenetváltás főként egyenrangú csomópontok között zajlik. Feltételezi továbbá, hogy az egész hálózat egyetlen alkalmazás céljából jött létre, tehát az egész rendszer teljesítményét vizsgálja, a csomópont szintű „fairness” másodlagos. Az alkalmazás során előfordulnak hosszú, tétlen időszakok. A következő alfejezetekben az S-MAC protokollt mutatjuk be.

3.1. Alvás-ébrenlét ütemezés

Az S-MAC megengedi az alvás-ébrenlét ütemezését, azaz két érzékelés közötti tétlen időszakban a szenzorok inaktív, úgynevezett alvó üzemmódba kapcsolhatnak. A szenzorok teljesítményfelvétele érzékelési szakaszban ~10 mW, míg alvó üzemmódban a teljesítményfelvétel ennek töredéke; ~10 μ W.

Általában az alvó üzemmód sokkal hosszabb, mint az ébrenléti, előfordulhat hogy a szenzorok az idő alig 1%-ában vannak ébren, esetleg még annyit sem. Ekkor az előre időzített ébredésig a szenzorok nem vesznek részt adattovábbításban, és nem érzékelik a környezetüket sem. Az alvó üzemmódba való átváltás történhet szinkronizáltan a többi csomóponttal, vagy véletlenszerű alvási és ébrenléti idők választásával (2. ábra).

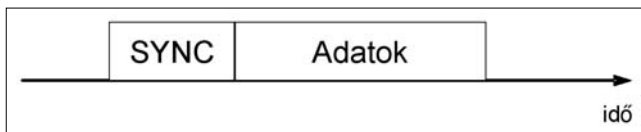


2. ábra Periódikus figyelés és alvás

Az alvás-ébrenlét ütemezés egy másik fajtája, amikor az egyes szenzorok azért váltanak alvó üzemmódba, mert a sűrűn telepített hálózat nélkülük is lefedett marad, így kímélik az energiaforrásaikat, amíg szükség nem lesz rájuk.

3.2. Ütemezés választása és karbantartása

Hogy egy állomás szinkronizációs (SYNC) csomagok mellett adatcsomagokat is fogadni tudjon, az aktív intervalluma két részre van osztva (3. ábra).



3. ábra S-MAC: Adatküldés és szinkronizáció

Minden csomag adása előtt az állomás egy véletlen ideig figyel a csatornát, hogy az szabad-e (vivőérzékelés – carrier sense). Egy szenzor aktív idejében küldhet egy SYNC és/vagy egy adatcsomagot is.

Minden csomópont karban tart egy ütemezési táblázatot a szomszédairól, amelynek felállításához a következő algoritmust használják.

1. Egy bizonyos ideig a szenzor figyel a csatornát. Ha nem hall ütemezési információt egyetlen állomástól sem, véletlenszerűen választ egy t időt az alváshoz, és közli ezt egy SYNC üzenetben a szomszédjaival. Ebben az esetben az állomás lesz a szinkronizáló.
2. Ha a csomópont a csatorna figyelése közben meghallja egy szomszédja ütemezését, akkor ugyanazt az értéket állítja be magának is, majd vár véletlen t_d ideig, és elküldi az ütemezését a szomszédainak. SYNC üzenet: $t - t_d$ másodperc múlva alszom.
3. Ha egy csomópont vesz egy sajátjától eltérő ütemezésű SYNC csomagot, akkor átveszi azt is, azaz felébreszti magát akkor is.

Egy szenzor akkor is küld időnként SYNC csomagot, ha nincsenek követői. Ez teszi lehetővé az esetleg újonnan érkező állomások szinkronizálódását is.

4. Szenzorok összefogása klaszterekbe

A fizikai összeköttetések véletlenszerűek a telepítés véletlenszerűségéből kifolyólag, ám szükség van logikai topológia kialakítására a skálázhatóság érdekében. A szenzorok összefogása csoportokba, úgynevezett klaszterekbe, széles körben elterjedt módszer a skálázhatóság növelésére és a kommunikációra fordított energia csökkentésére.

Minden szenzor tagja legalább egy klaszternek, és minden klaszterhez tartozik egy klasztervezérlő csomópont, amely vezérli a hozzá tartozó szenzorokat. A klasztervezérlő képes kommunikálni a többi klasztervezérlővel és a nyelővel is. Ebben a hálózati struktúrában a szenzorok nem egyenként, külön-külön küldik el az adataikat a nyelőnek, hanem először a klasztervezérlő kapja meg az összes információt a csoportjához tartozó szenzoroktól. Ez a csomópont összefogja az adatokat lehetőség szerint egyetlen csomaggá és csak ez az egyetlen csomag kerül továbbításra a nyelőnek.

A klasztervezérlők kiválasztása lehet determinisztikus, de számos protokoll szerint önszerveződen történik. Mivel a klasztervezérlőkre az átlagos szenzorokénál jóval nagyobb terhelés hárul, ezért ezt a szerepet időről időre váltogathatják is.

4.1. LEACH protokoll

A fentiekre példa a *LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarhy)* protokoll, amelyben a szenzorok önszerveződen alkotnak cellákat [4]. Minden klaszterben egy csomópont klasztervezérlőként működik. A hálózathoz tartozik egy gyűjtőállomás, amely fixen telepített.

A LEACH protokoll működése közben az idő körökre oszlik fel. Minden kör a felépítési fázissal kezdődik, amelyet az adatátviteli fázis követ, ekkor juttatják el a szenzorok a jelentéseiket a nyelőhöz. A felépítési fázisban minden csomópont egy bizonyos valószínűséggel klasztervezérlővé válhat. Ez a valószínűség függ többek közt az adott hálózatra jellemző optimális cellaszámtól.

A klasztervezérlők minden szenzort értesítenek az állapotukról, majd a csomópontok eldöntik, hogy melyik klasztervezérlőhöz akarnak csatlakozni. Azt választják, amelyikkel a legkevesebb energia befektetésével tudnak kommunikálni, ez általában a legközelebb elhelyezkedő klasztervezérlő.

Amint az összes csomópont klaszterekbe szerveződött, minden klasztervezérlő kihirdeti a *TDMA (Time Division Multiple Access)* ütemezést. Ez az ütemezés definiálja a szenzoroknak, hogy mikor adhatnak és mikor kell lekapcsolniuk a rádiójukat. Elkerülendő az ütközést a szomszédos klaszterek szenzorjaival, minden cella kódosztásos többszörös hozzáférést (Code Division Multiple Access, CDMA) alkalmaz.

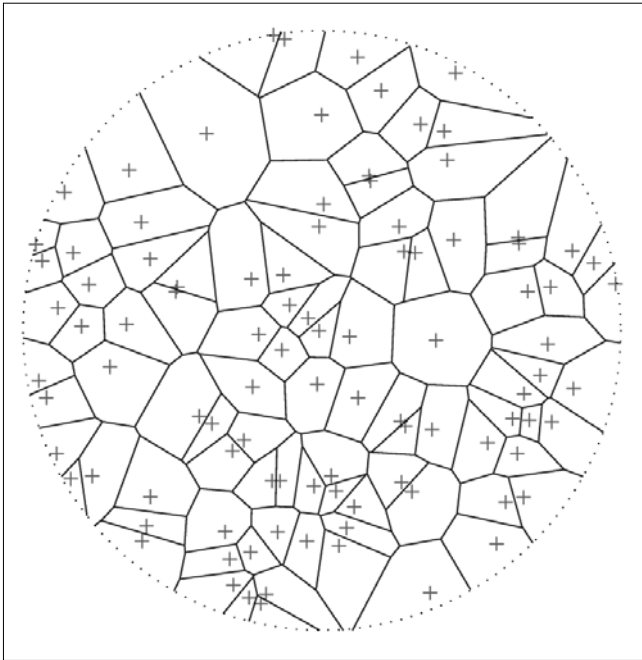
A klasztervezérlővé váló szenzor véletlenszerűen választ magának kódot a CDMA listából és meghirdeti a hozzá tartozó csomópontoknak. A klasztervezérlő az összes hozzá érkezett csomagot ezek után ennek a kódnak a segítségével szűri, így elkerülhető a cellák közötti ütközés.

A 4. ábrán egy szenzormezőben kialakított 100 klaszter látható.

Az adatgyűjtési fázisban a protokoll feltételezi, hogy minden szenzor adatokat gyűjt a környezetéből és beküldi azokat a klasztervezérlőnek. A klasztervezérlő végzi az adatok aggregálását és továbbküldését a nyelőnek.

Ha egy szenzor klasztervezérlőként funkcionál, az jelentősen igénybe veszi az energiaforrásait, ezek a csomópontok hamar kimerülnek. Ezt elkerülendő, a klasztervezérlői szerepet a szenzorok véletlenszerűen cseréltetik egymás között. Minden kör elején a csomópontok újraértékelik a klasztervezérlői szerepüket, s a döntésüket a hálózat többi részétől függetlenül hozzák meg. Amint változás történik a klasztervezérlők közt, a klaszterhatárok átalakulnak, minden csomópont újra döntést hoz, hogy melyik klasztervezérlőhöz is akar csatlakozni.

Néhány tanulmányban a szerzők az alap LEACH algoritmus továbbfejlesztését javasolják [5-7].



4. ábra Szenzormező 100 klaszterrel és vezérlőkkel

5. A hálózati réteg és az útvonalválasztás feladatai

A kommunikációs költségek csökkentésének egyik módja, ha az adatátviteli távolságokat csökkentjük. Ha a szenzorok a csomagokat nem közvetlenül a bázisállomásnak továbbítják, hanem az üzenet több lépésben, más szenzorokon keresztül jut el a célhoz, akkor a nagyobb távolságok sok kicsire oszlanak fel. Mivel a kommunikációs költségek a távolságnak egy magasabb hatványával egyenesen arányosak, ezért ezzel a módszerrel energiát takaríthatunk meg. Nagyobb kiterjedésű hálózatokban tehát érdemes többugrásos kommunikációt megvalósítani, ehhez azonban szükség van útvonalválasztásra.

A hálózati réteg feladata, hogy a hálózat bármely két szereplője között biztosítsa a hálózati kapcsolat létrejöttét, és karbantartsa azt. Szabályoznia kell a forgalmat, és bizonyos esetekben szolgáltatásminőség (QoS) biztosítási feladatai is lehetnek. A legfontosabb része azonban ezek mellett, és ezek részeként az útvonalválasztás.

A szenzorhálózatok több pontban eltérnek a hagyományos vezeték nélküli, vagy ad-hoc hálózatoktól, ezért eltérő útvonalválasztó eljárásokat kell használni. Az egyik ilyen probléma, hogy a szenzorok nagy száma miatt nem lehet egy olyan globális címzési sémát kialakítani, mint például az IP, mert túl nagy lenne az egyéni azonosító támogatás költsége. Nagy útvonalválasztó táblázatok fenntartása az egyes szenzorokban nem lehetséges, mert a szenzorok véges memóriakapacitással rendelkeznek, és a táblázatok periodikus frissítése is nagy terhet jelentene a hálózatnak. Így a hagyományos IP alapú útvonalválasztó módszerek nem használhatóak.

Ezen kívül a szenzorhálózat működésének önszervezőnek kell lennie, mivel a szenzorok magára hagyottan működnek, önállóan kell a hálózatnak felépülni, és az esetleges topológia változásokra reagálni. Mivel a szenzorhálózatok általában adatcentrikusak, sok esetben nem is az a lényeges, hogy az adott adatot melyik szenzor küldte, hanem maga az adat, ami az érzékelés körülményeit is leírja.

Szenzorhálózatokban olyan útvonalválasztó algoritmusok alkalmazhatóak, melyek szem előtt tartják az energia megkötések mellett a hálózat önszervező jellegét és az esetleges topológiaváltozásokat is. A szenzorhálózatokban alkalmazott útvonalválasztó megoldásokról bővebb áttekintést ad Al-Karaki és Kamal [8].

6. Adataggregáció

Az átviendő adatok lokális aggregálásával a többugrásos hálózatokban csökkenthetjük a továbbítandó adatok mennyiségét. Mivel a szenzorok rendelkeznek egy kis teljesítményű processzorral is, így lehetőség nyílik az adatok szelektálására, előzetes feldolgozására, esetleg tömörítésére is. A szenzorhálózatok általában sűrűn telepítettek, így egy eseményt több szenzor is érzékel. A legegyszerűbb példa, ha egy szenzor olyan eseményről kap jelentést egy másik csomóponttól, melyet maga is érzékelt, akkor elég csak egy üzenetet továbbítani.

Alkalmazástól függően lehetséges olyan algoritmusok használata, melyekkel jelentősen lecsökkenthető a továbbítandó csomagok száma anélkül, hogy ezáltal információt vesztenénk el a megfigyelt jelenségről. Egy lehetséges alkalmazás például egy terület maximális hőmérsékletének mérése.

Azok a szenzorok, melyek az adatok továbbításában vesznek részt a nyelő felé, valószínűleg több szenzor mérési eredményeit is továbbítják. Ha ezek a szenzorok egy ideig tárolják a beérkezett adatokat és ki tudják választani a legnagyobb hőmérsékletet tartalmazó adatcsomagot, akkor elegendő csak ezt az egy adatot továbbítani. Más alkalmazásokban lehetséges az adatok összekombinálása is. Ha egy átlagos értékre vagyunk kíváncsiak, akkor azoknak a csomópontoknak, amelyek több adatot is továbbítanak, elegendő egy átlagértéket és az adatok számát továbbítani.

Az adatok összefogása a hálózatban aggregációs pontokon történik. Aggregációs pont lehet a hálózat néhány kitüntetett csomópontja, de az is lehetséges, hogy az összes szenzor képes valamiféle adatösszegzésre. Fontos hogy az összegzés minél hamarabb megtörténjen, hogy fölösleges csomagok ne terheljék az amúgy is korlátos energiaforrásokat.

Sűrű hálózatokban előfordulhat, hogy néhány csomag továbbítása közeli, mégis éldiszjunkt utakon történik. Célszerű ilyenkor olyan útvonalválasztó algoritmust alkalmazni, amely az útvonalválasztási fában kerüli az éldiszjunkt utak létrehozását. Ez történhet minimális élszámú utak, vagy nagy foksámú aggregációs csomópontok létrehozásával.

7. Mobilitás szenzorhálózatokban

Néhány alkalmazás a kommunikációs távolság csökkentése érdekében mobil gyűjtőállomást feltételez. A kommunikációs távolság csökkentésével csökken a szenzor energiafogyasztása is.

Ekkor a nyelő mozgatása lehet véletlenszerű [9], vagy valamilyen energiaoptimalizáló stratégia szerinti [10,11].

8. Összefoglalás

Habár egy szenzorhálózat tervezésekor sok nehézséggel kell megküzdeni az önszerveződés, a véletlenszerűség és a korlátozott számítási kapacitás miatt, a legfontosabb kérdés a korlátos energiákkal rendelkező szenzorok energiahatékony működése.

A fentiekben összefoglaltuk, hogy a hálózat működésének egyes részfeladataiban milyen energiahatékony megoldások születtek. Ismertettünk energiahatékony közeghozzáférés vezérlést, valamint útvonalválasztó algoritmust. A kommunikációs távolságok csökkentésére a klaszterezés előnyeire mutattunk rá. Ismertettünk a forgalom csökkentésére adataggregációs módszereket is. Az adataggregáció megvalósítása egyszerű esetben a klasztervezérlőknél történik, míg többugrásos esetben az adatok összefogását kiemelt aggregációs pontok, vagy mindenegybes, az útvonalválasztásban résztvevő szenzor végzi.

Irodalom

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, A survey on sensor networks, IEEE Communications Magazine, 40 (8) 2002. pp.102–114.
- [2] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks. In Proc. of InfoCom 2002, NY, USA, pp.1567–1576.
- [3] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks. IEEE/ACM Transactions on Networking, 12 (3) 2004. pp.493–506.
- [4] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In Proc. of 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000. pp.3005–3014.
- [5] M. J. Handy, M. Haase, D. Timmermann, Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection. In Proc. IEEE Int. Conference on Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN), Stockholm, Sweden, 2002.
- [6] S. Lindsey, C. Raghavendra, Pegasus: Power efficient gathering in sensor information systems. In Proc. Aerospace Conf. 2002. Vol. 3, pp.1125–1130.
- [7] O. Younis, S. Fahmy, Heed. A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor network. IEEE Transactions on Mobile Computing, 3 (4), 2004.
- [8] J. N. Al-Karaki, A. E. Kamal, Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. IEEE Wireless Communication, Vol. 11, 2004. pp.6–28.
- [9] S. J. Rahul C. Shah, Sumit Roy, W. Brunette, Data MULEs: Modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks. In Proc. IEEE Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA), Anchorage, Alaska, USA, 2003. pp.30–41.
- [10] Z. Vincze, D. Vass, R. Vida, A. Vidács, „Adaptive Sink Mobility in Event-driven Clustered Single-hop Wireless Sensor Networks”, In Proc. 6th International Network Conference (INC 2006), Plymouth, UK, 2006. pp.315–322.
- [11] Z. Vincze, D. Vass, R. Vida, A. Vidács, A. Telcs, „Sink Mobility in Event-driven Multi-hop Wireless Sensor Networks”, In Proc. 1st Int. Conf. on Integrated Internet Ad hoc and Sensor Networks (InterSense), Article No.13, Nice, France, 2006.