

# Mobil eszközök alkalmazása szenzorhálózatokban

VINCZE ZOLTÁN, VIDA ROLLAND

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék  
{vincze,vida}@tmit.bme.hu

**Kulcsszavak:** vezeték nélküli szenzorhálózat, mobilitás, nyelőállomás, energiahatékonyság

A hálózati kommunikáció egyik jelenleg legtöbbet kutatott területe a vezeték nélküli szenzorhálózatok témaköre. A hálózat építőkövei a különböző fizikai paraméterek mérését végző szenzorok, és a mérési adatokat begyűjtő nyelőállomások. A szenzorok egyik legfontosabb tulajdonsága az erősen korlátozott energiatartalékuk. Ezt figyelembe véve, az eredeti sztatikus architektúráis elképzelések újragondolásával a hálózattervezők egyre több olyan megoldást javasolnak, amelyekben mind a szenzorok, mind a nyelők mobilitása megengedett. Az építőelemek mozgatása lehetővé teszi a hálózat energiahatékonyságának és egyéb funkcióinak további javítását. Ebben a cikkben bemutatjuk a legfontosabb eddigi javaslatokat a mobil eszközök szenzorhálózatokban való alkalmazására.

## 1. Bevezetés

A hálózati kommunikáció egyik jelenleg legtöbbet kutatott területe a vezeték nélküli szenzorhálózatok témaköre. A hálózat építőkövei a szenzorok, amelyek képesek fizikai jelenségek mérésére (például hőmérséklet, fény, páratartalom) és a mért adatok rádiós továbbítására egy speciális építőelem, a *nyelő* felé. Ez az eszköz kapcsolattal rendelkezik a külvilág felé, így az összegyűjtött adatokat hozzáférhetővé teszi a hálózat üzemeltetői számára. Mindemellett jóval nagyobb akkumulátorral rendelkezik mint a szenzorok, így működése során nem kell akkora figyelmet fordítani az energiafelhasználására (1. ábra).



1. ábra Mica2 és Mica2Dot típusú szenzorok

A szenzorhálózatok három kategóriába sorolhatók aszerint, hogy a szenzorok mikor küldik el mért adataikat. *Idővezérelt (time-driven)* hálózatokban minden szenzor periodikusan elküldi adatait, egy *eseményvezérelt (event-driven)* hálózatban csak azok küldenek adatot, akik egy eseményt érzékeltek, míg egy *lekérdezésvezérelt (query-driven)* hálózatban a nyelő kérésére küldenek csak adatot a szenzorok.

Az információ továbbításához felhasznált kommunikációs elv szerint is csoportosíthatjuk a hálózatokat, a következőképpen: *egyugrásos (single-hop)* esetben minden szenzor közvetlenül a nyelővel kommunikál, míg *többesugrásos (multi-hop)* esetben a nyelőtől távolabb lévő eszközök a társaikon keresztül juttatják el az adatokat a célhoz.

Kicsi méretük miatt a szenzorok energiatartaléka erősen korlátozott, ezért a hálózat tervezése és működése során különös figyelmet kell szentelni az energiafelhasználásra; a több ezer érzékelőből álló hálózatokban nem gazdaságos, illetve a telepítés helyszíne miatt esetleg nem is lehetséges az energia utánpótlása. Ez a tulajdonság motiválta a kutatókat arra, hogy számos olyan megoldást javasoljanak, melyek a hálózatok energiahatékony működését segítsék (például energiahatékony útvonalválasztás, topológia kontroll, alvászabályozás, klaszterezés, adataggregáció). A kezdeti elképzelések szerint mind a szenzorok, mind a nyelő sztatikus eszközök voltak, az utóbbi időben azonban egyre több olyan javaslat lát napvilágot, amelyek ezen eszközök mozgatásának bevezetését tanácsolják a működés hatékonyságának javítására. A következőkben összefoglaljuk az eddig kidolgozott legismertebb, mobilitást alkalmazó javaslatokat.

## 2. Szenzorok mobilitása

A szenzorok energia utánpótlása erősen korlátozott, az érzékelés–kommunikáció–mozgás hármas közül pedig az utóbbi igényli messze a legtöbb energiát, így a szenzorok mobilitása a hálózatban általában csak korlátozott számú érzékelőegységre terjed ki (ezek rendelkezhetnek nagyobb akkumulátorral is). Az érzékelők mozgatása során a cél sokszor nem a hálózat energiafelhasználásának a csökkentése, hanem a hálózat által felügyelt terület lefedettségének növelése, javítása.

A szenzorok elhelyezkedésének megváltoztatása két fő okból történhet: az egyik esetben a kezdeti telepítés után, vagy a működés közben lemerülő szenzorok miatt lefedetlenül maradt terület lefedése, a másik esetben pedig a kommunikációval jobban terhelt területeken elhelyezkedő társaik tehermentesítése a cél.

Az első cél elérésére javasolt protokollban a szenzorok közvetlen a telepítés után mozognak csak, a hálózat későbbi működése során már nem [1]. A mozgás célja a telepítés után lefedetlenül maradt területek lefedése. Feltételezik, hogy a szenzorok ismerik geográfiai koordinátáikat, például a GPS rendszernek, vagy más a szakirodalomban javasolt energiahatékonyabb lokalizációs algoritmusnak köszönhetően. A protokoll szerint a telepítés után minden szenzor elküldi szomszédainak saját koordinátáit, majd ezen információ alapján az érzékelők kiszámítják a hozzájuk tartozó Voronoi tartományokat (azon pontok halmaza, amelyek az adott érzékelőhöz vannak legközelebb [2]). Amennyiben a szenzor érzékelési sugara kisebb, mint a Voronoi tartománya valamely pontjának tőle mért távolsága, úgy ott a lefedettségben rés van, hiszen ő az ahhoz ponthoz legközelebbi érzékelő, de neki is a hatókörén kívül esik.

A szerzők három lehetséges iteratív mozgatási stratégiát javasolnak a rések lehető legjobb mértékű lefedésére: a *VEC* (*VECTor-based algorithm*) esetében a szenzorok elmozognak azokról a helyekről, ahol túl sűrűen vannak telepítve, így biztosítva az egyenletesebb eloszlást. A második stratégia a *VOR* (*VORonoi-based algorithm*), amely során a szenzorok a lyukak felé mozognak; ugyanezt teszik a harmadik javaslatban, a *Minimax*-ban is, de itt konzervatívabb módon hagyják el korábbi helyüket, ügyelve arra, hogy az elmozdulással ne generáljanak újabb lefedettségű réseket. Mindegyik stratégia esetén a mozgatás körökre van osztva: egy körben egy szenzor virtuálisan vagy ténylegesen mozoghat. Az előbbi esetben a szenzorok nem mozdulnak el ténylegesen, csak a szomszédoknak küldött információt módosítják az új virtuális helyüknek megfelelően. Amennyiben azonban a virtuális helyük már olyan messze kerül a tényleges pozíciójuktól, hogy nem tudnak új szomszédokkal kommunikálni, akkor fizikailag is elmozdulnak. Az érzékelők mozgása akkor fejeződik be, amikor már nem növelhető tovább a lefedettség.

Sokszor előfordulhat, hogy a telepítés előtt még nem ismert az események várható eloszlása a hálózat területén, így célszerű kezdetben egyenletes térbeli eloszlás alapján lerakni a szenzorokat. A megfigyelt esemény lehet például egy állatcsorda vonulása, ilyenkor célszerű lenne, ha a vonulási útvonal környékén sűrűbben helyezkednének el a szenzorok, hiszen így részletesebb információt tudnak küldeni az eseményről, illetve az információ továbbításában több érzékelő tudna részt venni, ezáltal jobban elosztva a kommunikációs terhelést. E kihívás leküzdése is lehetséges mozgó szenzorok segítségével [3].

A javasolt algoritmus feltételezi, hogy minden szenzor ismeri saját térbeli elhelyezkedését, ezenfelül pedig

a bekövetkező események helyéről a hálózat összes szenzora értesül. Az érzékelők kétféle algoritmus alapján mozoghatnak, az első esetben a szenzor a saját korábbi helyeinek és az események jelenlegi helyének függvényében határozza meg, hogy merre lép. A második esetben a szenzor az előbb felsorolt adatokon kívül az esemény korábbi helyeit – amit egy eloszlás függvény segítségével tárol – is figyelembe veszi következő helyének megállapításánál. Amennyiben az összes szenzor az események gyakori felbukkanási helyére mozogna, akkor a hálózat bizonyos részei lefedetlenek maradnának. Ezt elkerülendő, miután a szenzorok elmozdultak korábbi helyükről, folyamatosan felderítő üzeneteket küldözgetnek szomszédaiknak. Figyelik a beérkező válaszüzenetek irányszövegeit, és ha valamelyik térrészről nem kapnak ilyen üzenetet, akkor azon rész felé mozdulnak el, így biztosítva a lefedettséget ott is.

### 3. A nyelők mozgatása

A szenzorhálózatokban információt összegyűjtő nyelők speciális eszközök, amelyek a szenzorokhoz képest sokkal bővebb energiatartalékkal rendelkeznek, így mozgatásuk során általában nem kell törődni a mozgásra fordított energiával. Mozgatásuk sokféleképpen megoldható: felszerelhetőek robotokra, vezeték nélküli járművekre, repülőkre, állatokra. A mobilitás célja kettős: egyrészt ilyen módon csökkenthető a szenzorok által kommunikációra fordított energia nagysága, másrészt egyenletesebbé tehető az energiafogyasztás eloszlása a hálózatban.

Amennyiben egy vezeték nélküli kommunikációt használó eszköz  $d$  távolságra szeretne eljuttatni egy csomagot, akkor az ehhez szükséges energia nagysága arányos  $d^\alpha$ -al, ahol  $\alpha$  értéke 2 és 5 között mozoghat a jelterjedési viszonyoktól függően. Látható, hogy a nyelők közelítése az adatot küldő szenzorokhoz jelentős energiát képes megtakarítani a kommunikációs távolságok csökkentésével. Egyugrásos hálózatok esetén a nyelőtől távolabbi eszközöknek több energiát kell adattovábbításra fordítani, mint a közelebbi társaiknak, míg többesugrásos hálózatok esetében pont fordított az energiafogyasztás megoszlása, a nyelők körüli szenzorok terhelése jóval nagyobb a távolabbiakhoz képest, mivel rajtuk gyakorlatilag a hálózat teljes forgalma átfolyik. A nyelők mozgatása erre a problémára is gyógyír lehet.

Számos javaslat született már a nyelők mozgatására a tudományos szakirodalomban, ezek a használt mozgási modell alapján három fő kategóriába sorolhatók. A *véletlen* (*random*) mozgás során a nyelők egy véletlen útvonalat jár be, jövőbeli viselkedése nem jósolható meg; mindez alkalmazhatatlanná teszi olyan hálózatokban, ahol az információ továbbítására éles időbeli korlátok vannak. A *jósolható* (*predictable*) mozgás esetén a nyelők egy előre kijelölt pályán mozog, így korlát adható arra az időtartamra, amikor újra egy adott szen-

zor közelébe ér. A harmadik mozgás modell a *vezérelt (controlled) mozgás*; ezesetben a nyelő mozgását vezérlő protokoll a hálózat aktuális állapotát is figyelembe veszi.

### 3.1. Véletlen mozgás

*MULE (Mobile Ubiquitous LAN Extension)* eszköz bevezetését javasolták olyan hálózatok esetére, ahol a mért adatok továbbítása nem kell, hogy valós időben történjen [4]. Másrészt a szenzorok annyira ritkán vannak telepítve, hogy nem tudják egymáson keresztül eljuttatni a mért adatokat a nyelőhöz, mert vagy nincs egyetlen szomszédja sem egy szenzornak, vagy több független, egymással kommunikálni nem képes csoportra oszlanak az eszközök.

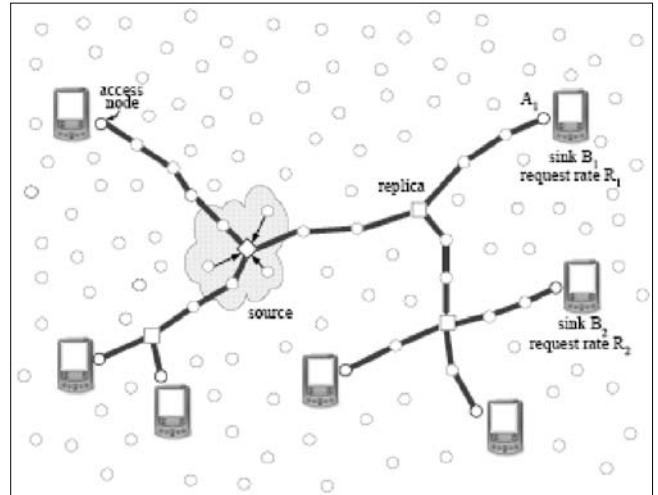
Ekkor az információk begyűjtéséhez több bázisállomást, vagy nagyobb mennyiségű szenzort kellene felhasználni, ami megnövelné a költségeket. Ez elkerülhető a *MULE* használatával, amely a nyelőt magával hordozó mobil eszköz, mozgása pedig egy véletlen bolyongást követ. Amikor egy szenzor közelébe ér, a szenzor átadja neki a mért adatokat, majd a mobil eszköz tovább folytatja útját. Az összegyűjtött információt fix hozzáférési pontoknak továbbítja, amint azok közelébe ér. Egy ilyen megoldás alkalmazható például arra, hogy egy adott területen a közlekedésmérnökök az egyes kereszteződések forgalmának nagyságát mérhessék. A teljes terület lefedése szenzorokkal felesleges lenne, elég helyette csak a kereszteződésekbe telepíteni szenzorokat, az adatokat begyűjtő nyelő pedig felszerelhető akár egy városi buszra is.

A *SENMA (SEnsor Networks with Mobile Agents)* architektúra is véletlenszerűen mozgó nyelőt alkalmaz az adatok begyűjtésére [5], de ellentétben az előző esettel itt a szerzők sűrűn telepített szenzorhálózatot feltételeznek. A nyelő a hálózat felett repül körbe-körbe, véletlen bolyongást követve; egy szenzor akkor kommunikál vele, amikor az éppen felette repül el. Ezesetben két okból is csökken az energiafelhasználás az adattovábbítás során. Egyrészt minden szenzor közvetlen a nyelővel kommunikál, így az adatnak nem kell több csomóponton áthaladnia. Másrészt a jel csillapítása a levegőben, függőleges irányban, kisebb mint a földi, vízszintes továbbítás esetén, ezért a kommunikáció folyamán a szenzoroknak elég kisebb erősségű jelet sugározniuk.

Azzal a kérdéskörrel, hogy hogyan lehet hatékonyan eljuttatni az információt egy adott szenzortól több mozgó nyelőhöz Kim és Abdelzaker foglalkozik [6]. A hálózatban a szenzorok ismerik a földrajzi helyüket és, ellentétben az eddigi feltételezett hálózatokkal, a nyelőkkel többesugrásos módon kommunikálnak. Egy esemény bekövetkezése után az azt érzékelő szenzornak a feladata elküldeni adatait az összes nyelőállomásnak. Ezen nyelők mindegyike véletlen bolyongás szerint mozog (2. ábra).

A javasolt *SEAD (Scalable Energy-efficient Asynchronous Dissemination)* protokoll a hálózat teljes eláraszta helyett kiépít egy adattovábbítási fát mindegyik

nyelő és a szenzor között. Kezdetben egy nyelőt a fában a fizikailag mellette elhelyezkedő szenzor reprezentál amennyiben a nyelő elmozdul, akkor értesíti az új helyéről ezt a szenzort, így az tudni fogja a nyelő új pozícióját, ezáltal képes továbbra is kézbesíteni az üzeneteket. Ennek következtében nem kell újraépíteni a fát a nyelő minden egyes elmozdulásánál. Amikor a kijelölt szenzor és a nyelő közötti távolság elért egy előre megadott küszöböt, akkor a fát újraépíti a protokoll.



2. ábra Adatok eljuttatása több mobil nyelőhöz

### 3.2. Jósolható mozgás

Ezen típusú mozgás esetén a nyelő egy előre meghatározott pályán mozog, kiszámíthatóvá téve jövőbeli viselkedését. Chakrabarti és társa véletlenszerűen telepített szenzorok alkotta hálózat minden elemét érintő útvonalon periodikusan körbe mozgó nyelő alkalmazását javasolják [7]. A nyelő állandó sebességgel halad úgy, hogy minden szenzor kommunikációs hatósugarát érintse az úton; egy szenzor csak ezen jól meghatározott időintervallum alatt küldheti el neki a mért adatokat. Ha a nyelő túl kevés ideig tartózkodik a szenzor szomszédságában, akkor az adatok egy része elveszik. Minden szenzor azonos sebességgel generálja az elküldendő adatokat, illetve azonos sebességgel képes továbbítani azokat.

A szerzők sorbanállási elmélet alkalmazásával vizsgálják, hogy adott adatvesztési valószínűséghez hogyan kell megválasztani a szenzorok adótávolságát, illetve az adattovábbítás sebességét. A vizsgálatokat két részre osztják. Az első esetben a szenzorok teljesen véletlenszerűen vannak telepítve. A második esetben is véletlenszerű a telepítés, de a szenzorok közötti távolság nem lehet kisebb egy küszöbértéknél. Míg az első esetben nehéz elkerülni az adatvesztést, a második esetben a küszöbérték megfelelő beállítása mellett garantálható az összes adat megérkezése a nyelőhöz.

Luo és társa egy sűrűn telepített, erősen összefüggő, kör alakú hálózatot feltételez, ahol a működés idővezérelt és a szenzorok többesugrásos módon kommunikálnak a nyelővel, egy legrövidebb út algoritmust al-

kalmazva [8]. Analitikus vizsgálatokon keresztül elemzik, hogy egy ilyen hálózatban mekkora a nyelő körüli szenzorok terhelése, a kapott eredmények pedig azt mutatják, hogy a nyelő környékén kialakuló nagy terhelés elosztása érdekében annak mozognia kell a hálózatban. A mozgás útvonalának olyan utat keresnek, amely periodikus és szimmetrikus a kör középpontjára. Az általuk használt analitikus modell segítségével bizonyítják, hogy az ilyen típusú utak közül a legjobb választás az, ha a nyelő a hálózat szélén mozog körbe. A bevezetett mobilitás jobb kihasználása érdekében új útvonalirányítási megoldást is javasolnak, melynél azt a tényrt használják ki, hogy hálózat szélén elhelyezkedő szenzorok kommunikációs terhelése jóval kisebb a középpontban lévőkéhez képest. A nyelő egy a középponthoz közelebbi körön mozog körbe, amelyen belül az adattovábbítás továbbra is legrövidebb út algoritmus alapján történik. A körön kívüli részre viszont a szerzők javaslata a „round routing”: a szenzor által küldött csomag egy köríven halad, párhuzamosan a nyelő pályájával, majd amikor a nyelővel egy magasságába ér, áttér a legrövidebb útra.

Erősen partícionált ad-hoc hálózatokbeli adattovábbításra ad megoldást Zhao és Ammar [9]. A partíciók között egy „komp” mozog előre megadott útvonalon, biztosítva az egyes részek közötti üzenetátvitelt. A szerzők feltételezik, hogy ismert a hálózat alkotóelemeinek elhelyezkedése és a köztük folyó forgalom nagysága. Az útvonal kialakításánál három szempontot vesznek figyelembe: minden eszköz tudjon közvetlenül kommunikálni a komppal, legyen minimális az üzenetek késleltetése, és legyen maximális az átvitt adatmennyiség. Ezen feltételek teljesítése NP nehéz, így heurisztikákat javasolnak az útvonal kialakításához: először az utazó ügynök problémájának közelítő megoldásával létrehoznak egy kezdeti útvonalat. Következő lépésként egy másik heurisztika segítségével a késleltetést csökkentendő módosítják a bejárás sorrendjét, majd az utolsó lépésben az adatátvitel mennyiségét maximalizálják egy lineáris programozási feladat segítségével. Bár ezen javaslat nem speciálisan szenzorhálózatok esetére született, jól használható ott is, amennyiben a hálózat erősen partícionált.

Az eddigi jószolható mozgások mind ciklikus útvonalat használtak. Ettől eltérően, Wang és társai idővezérelt, többesugrásos kommunikációt használó szenzorhálózatot feltételeznek, amelyben a szenzorok egy négyzetrács pontjaiba vannak telepítve és a nyelő is a rács mentén mozoghat csak [10]. Megbecsülik a hálózatban fellépő forgalom nagyságát és lineáris programozási modell segítségével meghatározzák, hogy a nyelő melyik rácspontra mennyi ideig tartózkodhat a hálózat lemerüléséig. Egy pontot azonban csak egyszer látogathat meg, a mozgása tehát nem lesz ciklikus.

### 3.3. Vezérelt mozgás

A három típusú mozgás közül ez a legintelligensebb: a nyelő mozgását vezérlő algoritmus a hálózat

aktuális állapotát figyelembe véve alakítja a bejárt útvonalat. Az algoritmusok általában két paraméter változtatásával módosítják a bejárást: fix útvonal esetén a mozgás sebességét módosítják, ellenkező esetben pedig a mozgás irányát és sebességét változtatják. Az első típusra példa az AIMMS (*Autonomous Intelligent Mobile Micro-server*) protokoll [11,12].

A véletlenszerűen telepített, többesugrásos kommunikációt használó hálózatban egy „mikroszerver” mozog körbe egy előre meghatározott útvonalon (3. ábra); feladata a mérési adatok begyűjtése a szenzoroktól. Az útvonal szomszédságában elhelyezkedő érzékelők közvetlenül a szerverrel kommunikálnak, míg a távolabbi szenzorok multi-hop kommunikációt használnak. A szerver  $t$  idő alatt ér körbe az útvonalán maximális sebességgel haladva. Amikor körbe ért, átadja a begyűjtött adatokat a nyelőnek. Az adatokat legfeljebb  $T$  idő késleltetéssel kell begyűjteni, ezért  $t < T$  esetén lehetőség van rá, hogy a szerver bizonyos helyeken lelassítson. Erre szüksége lehet, hiszen előfordulhat, hogy egyes helyeken sűrűbben helyezkednek el a szenzorok, így ott a közeghozzáférési nehézségek miatt lassabb lehet a kommunikáció. Ugyancsak lassításra van szükség ott, ahol a rossz jelterjedési viszonyok miatt csak lassabb adatátvitel lehetséges.



3. ábra A „mikroszerver” pályája egy erdőben telepített szenzorhálózatban

Gandham és társai is több mozgó nyelő alkalmazását javasolják többesugrásos kommunikációt használó, idővezérelt hálózat esetén [13]. Minden szenzor azonos mennyiségű adatot küld, így a forgalmi minta ismert, az érzékelők elhelyezkedését pedig a MAC protokoll segítségével állapítja meg a javaslat. A hálózatban jelen lévő nyelők száma korlátozott és ezek csak a hálózat szélén, előre megadott helyeken tartózkodhatnak.

Ugyancsak ismert az egyes szenzorok aktuális energiaszintje, amely információ a cikkben javasolt routing algoritmus segítségével gyűjthető be. A hálózat élettartama körökre van osztva; mindig a kör elején kerül sor a nyelők új helyének megállapítására, mely helyekre a nyelők rögtön oda tudnak lépni. Ezen információk alapján a szerzők egy egészértékű programozási feladatként fogalmazzák meg a nyelők új helyének megállapítását.

Az eddigi javaslatok mind idővezérelt hálózatokat feltételeztek. Széles körben alkalmazhatóak azonban az eseményvezérelt hálózatok is, hiszen bizonyos feladatok esetén társaiknál energiatakarékosabbak. Egy behatolás-detektálási feladat esetén például nincs szükség arra, hogy periodikusan minden szenzor küldjön csomagot a nyelőnek; elég csak a behatolót észlelőknek megtenni azt. Az eseményvezérelt, valós idejű továbbítást igénylő szenzorhálózatok esetére is születtek a nyelő mobilitására vonatkozó javaslatok, úgy egyugrásos [14] mint többesugrásos [15] kommunikációt használó hálózatokra.

Egyugrásos esetben azt feltételeztük, hogy a hálózatban a szenzorok klaszterekbe vannak szervezve. A szenzorok a klasztervezérlőnek (KV) küldik a mért adatokat, a KV szerep pedig periodikusan vándorol a szenzorok között. A KV-k aggregálás után továbbítják a nyelőnek a megkapott adatokat; csak azon KV-k kommunikálnak, amelyek területén esemény következett be. A nyelő ismeri a KV-k földrajzi helyét, a KV-k pedig ismerik a nyelő helyzetét. A KV-k képesek szabályozni adóteljesítményüket, így amennyiben a nyelő közelebb helyezkedik hozzájuk, úgy kisebb erővel sugározzák az adatot a nyelő felé. A mozgatás célja az, hogy csökkentse az aktív KV-k által kommunikációra fordított energiát.

Ennek megfelelően három mozgatási stratégiát javasoltunk. *Minavg* esetben a cél az összes aktív KV által felhasznált energia minimalizálása. A kommunikációhoz szükséges energia a felek közötti távolság 2 és 5 közötti hatványával arányos, így az energia minimalizálásához a nyelő és az aktív KV-k közötti távolságok hatvány összegét kell minimalizálni. Ez esetben előfordulhat, hogy a KV-k energiafogyasztása nagyon egyenetlen lesz, ami a másodikként javasolt *minmax* stratégia alkalmazásával kerülhető el.

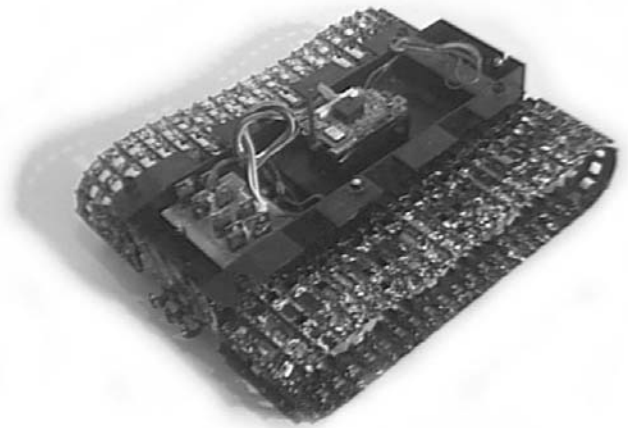
Ez a nyelőt úgy helyezi el a hálózatban, hogy a tőle legtávolabb eső aktív KV távolsága minimális legyen. Amennyiben a nyelő a klaszterek aktuális összenergia szintjét is ismeri, akkor a nyelő mozgatásának adaptivitása tovább növelhető; ezt a stratégiát *minrel*-nek nevezték el.

A stratégia a nyelő mozgatása során azon klaszterek energiafogyasztását igyekszik csökkenteni, amelyek kevesebb energiátartálékkal rendelkeznek. Ennek elérésére minden aktív KV esetére kiszámolja a kommunikációhoz szükséges energiatartalom és a klaszter energiátartalmának a hányadosát; a nyelő új helyének kiválasztásakor pedig ezen hányadosok maximumát minimalizálja.

Eseményvezérelt, többesugrásos kommunikációjú szenzorhálózatok esetén [15] analitikus vizsgálatokon keresztül előbb bemutattuk, hogyan alakul az egyes szenzorok terhelése, majd a kapott eredményeket felhasználva két fajta mozgatási algoritmust javasoltunk. Multihop kommunikáció esetén, az egy esemény jelentéséhez szükséges energia lineárisan arányos az esemény és a nyelő távolságával.

Ennek megfelelően, az első stratégiában a nyelő úgy mozog, hogy az események és a saját maga közötti távolságok összege minimális legyen; ez a *mintotal* algoritmus. A *minmax* algoritmus esetén a cél az események jelentése következtében fellépő terhelés egyenletesebb elosztása, ezért itt a nyelő a mozgásával a tőle legtávolabb eső esemény távolságát minimalizálja.

A BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékén már elkezdődött a mobil nyelő gyakorlati megvalósítása. A 4. ábrán látható lánctalpas mobil eszköz már képes közel mozdulni ahhoz a szenzorhoz, amelynek küldendő adata van.



4. ábra Mobil nyelőállomás

#### 4. Összefoglalás

Amint azt bemutattuk, rengeteg olyan javaslat született a közelmúltban, mely a szenzorhálózatokbeli eszközök mobilitásának bevezetését szorgalmazta. Ezen javaslatok közös célja a hálózat működési minőségének a javítása, illetve a hálózat használhatóságának meghosszabbítása.

Az elméleti és szimulációs eredmények azt mutatják, hogy ezek a megoldások tényleg képesek a kitűzött célok elérésére. Sajnálatos módon azonban a gyakorlati megvalósítások még váratnak magukra.

## Irodalom

- [1] G. Wang, G. Cao, T. Porta,  
„Movement-assisted sensor deployment”,  
In Proc. of IEEE INFOCOM'04, Hong Kong, 2004.
- [2] F. Aurenhammer,  
„Voronoi Diagrams – A Survey of a Fundamental  
Geometric Data Structure”, ACM Computing Surveys,  
1991, Vol. 23, pp.345–405.
- [3] Z. Butler, D. Rus,  
„Event-based Motion Control for Mobile Sensor  
Networks”, IEEE Pervasive Computing, October 2003.  
Vol. 2, No.4, pp.34–42.
- [4] R. C. Shah, S. Roy, S. Jain, 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, 2003.  
pp.30–41.
- [5] L. Tong, Q. Zhao, S. Adireddy,  
„Sensor networks with mobile agents”,  
In MILCOM 2003 – IEEE Military Communications  
Conference, Boston, MA, October 2003.  
Vol. 22, No.1, pp.688–693.
- [6] H. S. Kim, T. F. Abdelzaher,  
„Minimum-energy asynchronous dissemination  
to mobile sinks in wireless sensor networks”,  
In ACM SenSys, Los Angeles, CA, November 2003.
- [7] A. Chakrabarti, A. Sabharwal, B. Aazhang,  
„Using predictable observer mobility for  
power efficient design of sensor networks”,  
In Proc. of IPSN '03, 2nd International Workshop  
on Information Processing in Sensor Networks,  
Palo Alto, CA, USA, April 2003.  
pp.129–145.
- [8] J. Luo, J.-P. Hubaux,  
„Joint mobility and routing for lifetime elongation  
in wireless sensor networks”,  
In Proc. of IEEE INFOCOM '05, March 2005.
- [9] W. Zhao, M. Ammar,  
„Message ferrying: Proactive routing in highly  
partitioned wireless ad hoc networks”,  
In Proc. of the 9th IEEE Workshop on Future Trends  
in Distributed Computed Systems (FTDCS '03),  
San Juan, Puerto Rico, May 2003,  
pp.308–314.
- [10] Z. Wang, S. Basagni, E. Melachrinoudis, C. Petrioli,  
„Exploiting sink mobility for  
maximizing sensor networks lifetime”,  
In Proc. of the 38th Hawaii International Conference  
on System Sciences,  
Big Island, Hawaii, Januar 2005.
- [11] A. Kansal, M. Rahimi, W.J. Kaiser, M.B. Srivastava,  
G.J. Pottie, D. Estrin,  
„Controlled mobility for sustainable wireless networks”,  
In IEEE Sensor and Ad Hoc Communications and  
Networks (SECON '04),  
Santa Clara, CA, October 2004.
- [12] A. Kansal, A. Somasundara, D. Jea,  
M.B. Srivastava, D. Estrin,  
„Intelligent fluid infrastructure for embedded networks”,  
In ACM MobiSys'04, Boston, MA, USA, June 2004.  
pp.111–124.
- [13] S. R. Gandham, M. Dawande,  
R. Prakash, S. Venkatesan,  
„Energy efficient schemes for wireless sensor  
networks with multiple mobile base stations”,  
In Proc. of IEEE Globecom, SF, California, Dec. 2003,  
Vol. 22, No.1, pp.377–381.
- [14] Z. Vincze, D. Vass, R. Vida, A. Vidács,  
„Adaptive Sink Mobility in Event-driven Clustered  
Single-hop Wireless Sensor Networks”,  
accepted: 6th Int. Network Conference (INC 2006),  
Plymouth, UK, 11-14 July, 2006.
- [15] Z. Vincze, D. Vass,  
R. Vida, A. Vidács, A. Telcs,  
„Sink Mobility in Event-driven Multi-hop Wireless  
Sensor Networks”,  
In Proc. 1st International Conference on Integrated  
Internet Ad hoc and Sensor Networks (InterSense),  
Nice, France, 30-31 May, 2006.  
(Best Paper Award)