

VII. Évfolyam 3. szám - 2012. szeptember

Nagy Tibor István
nagy.tibor@nik.uni-obuda.hu

HÁLÓZATI RÉTEG A SZENZORHÁLÓZATOKBAN

Absztrakt

A felügyelet nélküli szenzorhálózatok a civilszférában és a szárazföldi harcászati felderítésben egyaránt fontos szerepet játszanak. A legtöbb informatikai eszközhöz hasonlóan a szenzorok működéséhez is szükségesek a hardverösszetevők, melyeknek jellemzői jelentős mértékben befolyásolják a felhasználás módját és helyét.

Ez a cikk a vezeték nélküli szenzorhálózatok hálózati hivatkozási modelljének hálózati és útvonal-választási rétegét elemzi, leírja a létező protokollokat, módszereket és algoritmusokat, feltárja ezek hiányosságait és megoldást ad rájuk.

The unattended ground sensor networks play a significant role in the civil sector and in ground tactical intelligence. Like in most of the IT devices, to be able to operate a sensor, hardware components are needed, and the parameters of these components significantly determine the application mode and place of the sensors.

This paper analyzes the networks and routing layer of the sensor network reference model, describes the existing protocols, methods and algorithms, unfolds their deficiency and gives solutions to them.

Kulcsszavak: *szenzor, felügyelet nélküli szenzorhálózat, intelligens szenzorhálózat, hálózati réteg, útvonalválasztás ~ sensor, unattended sensor network, intelligent sensor network, network layer, routing*

BEVEZETŐ

A szenzorhálózatok a modern kor automatizálási törekvéseinek eklatáns megvalósulásai. Céljuk az ember kiiktatása bizonyos folyamatokból, amelyek egyrészt veszélyesek lehetnek, másrészt pontosságot, bonyolult számítások gyors elvégzését igénylik. Hasznosságuk megmutatkozik katonai feladatok elvégzésében, mint például a harcászati felderítésnél az ellenséges erők számának, összetételének, helyzetének meghatározásában, határvédelmi teendők ellátásában, de ugyanilyen jelentős a szerepük a civil élet különböző területein a vulkanikus aktivitás előrejelzésétől az állatvilág veszélyeztetett fajai viselkedésének megfigyelésén át a vegyi üzemek termelési folyamatainak ellenőrzéséig. Széleskörű alkalmazhatóságuk az elmúlt évek kutatásainak egy aktuális témájává emelték.

Lévén, hogy a szenzorhálózatok egymással összekapcsolt eszközökből állnak, az eszközök közti kapcsolat felépítése, karbantartása, megbízható kommunikáció megvalósítása mindenképpen szükséges a kielégítő szolgáltatás eléréséhez. A számítástechnika egyéb területein régóta használatosak a hálózatok; sok módszert, algoritmust, protokollt kidolgoztak, amelyek biztosítják a helyes, optimális működést. Ezek a módszerek a szenzorhálózatoknál is alkalmazhatóak, természetesen némi finomhangolással, a speciális igények figyelembevételével megalkotott változtatásokkal. Ehhez szükséges ismerni a kialakítandó hálózat szerkezetét, az azt felépítő eszközök tulajdonságait, jellemzőit. Ezek ismeretében a hálózat felépítésére, karbantartására, a megfelelő információáramlás biztosítására, a lehető leghosszabb élettartam elérésére kialakíthatóak új, vagy kiválaszthatóak a meglévők közül a legjobb módszerek.

A cikkben meghatározom a node-ok, illetve szenzorhálózatok azon jellemzőit, amelyek befolyásolják a teljesítményt, élettartamot, megbízhatóságot, és amelyek figyelembevételével megalkotható egy, vagy több módszer, algoritmus az optimális teljesítmény, élettartam, megbízhatóság eléréséhez. Áttekintést adok a létező útvonal-választási módszerekről és értékelem azokat.

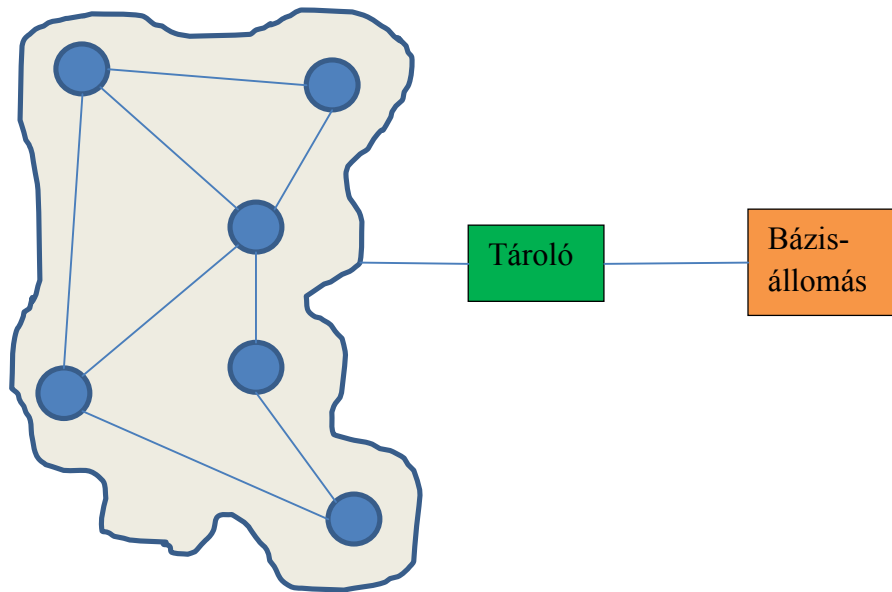
VEZETÉK NÉLKÜLI SENZORHÁLÓZATOK FOGALMA, SZERKEZETE, JELLEMZŐI

A vezeték nélküli szenzorhálózat szenzorokat – azaz valamilyen környezeti jellemző mérésére alkalmas érzékelőket – tartalmazó csomópontokból (node, vagy mote) álló hálózat, melyben a node-ok egymással vezeték nélküli kapcsolat segítségével kommunikálnak. Használatukkal civil és katonai alkalmazásoknál egyaránt automatizálhatók az emberek számára veszélyeket rejtő felderítési, megfigyelési, kármentési feladatok.

Node-ok fajtái:

- Homogén/heterogén node-ok: a hálózatban vagy azonos, vagy különböző képességekkel, szenzorokkal, energiatároló kapacitással, hatótávolsággal rendelkező node-ok találhatóak. A költségek számítása és a hálózat karbantartása egyszerűbb a homogén hálózatok esetén.
- Különböző/azonos hatáskörrel rendelkező node-ok: a hálózatot ki lehet úgy építeni, hogy legyenek olyan node-ok, melyek csak az adatgyűjtéssel, és legyenek olyanok, amelyek csak adattovábbítással, forgalomirányítással, esetleg olyanok, amelyek mindkét feladattal foglalkoznak működésük során. Egy ilyen megvalósítás rögzített topológia esetén könnyebben megvalósítható, ad-hoc hálózat esetén azonban bonyolultabb algoritmus szükséges hozzá.
- Adatgyűjtő központ, bázisállomás: Ez általában a node-októl teljesen különböző felépítésű eszköz, számítógép, melynek feladata a hálózattól érkező információk

begyűjtése. A harcászati felderítésnél ez tipikusan egy szárazföldi, vagy légi jármű, amely a szenzorhálózatot megfelelő távolságban megközelítve le tudja kérdezni az információkat. A légi járművel történő lekérdezés bizonyos időközönként lehetséges, hiszen az üzemanyag nem elégséges korlátlan hosszú ideig, illetve az egy adott pont fölötti körözés felfedi az ellenség számára a szenzorok pozícióját. A földi járművek használata kézenfekvőbb, mivel a hálózat megközelítése után a pozíció tartása nem jár üzemanyag-fogyasztással, viszont a jármű felfedezését a stacioner pozíció szintén megkönnyíti. Ezért javaslom egy olyan eszköz közbeiktatását, amely kis mérete révén nehezen megtalálható, mégis rendelkezik elegendő tárolókapacitással, és teljesítménnyel a node-októl érkező adatok begyűjtéséhez, és átmeneti tárolásához. Az egyszerűség kedvéért nevezzük ezt az eszközt tároló csomópontnak. (1. ábra)



1. ábra. A szenzorhálózat kapcsolata a bázisállomással

Hálózat szerkezete:

- Előre megtervezett: pontosan megtervezett az egyes node-ok helye, minden egyes node szerepe, a hálózat topológiája. Ez csak olyan telepítési módokkal valósítható meg, amelyek garantálni tudják az előzetes tervben meghatározott paraméterek pontos betartását (ilyen például a kézi telepítés).
- Ad-hoc hálózat: a hálózatokban a node-ok helye, feladata nincs előre megszabva, az a telepítést követően kerül kialakításra általában automatikusan. Ilyen hálózat készülhet a node-ok repülőgépről történő kiszórásával, tüzérségi löveggel való kijuttatásával is.
- Mozgó node-okkal működő hálózat: a csomópontoknak általában nincs előre meghatározott helyük, és ez a telepítés után is változhat. Ilyen lehet például mozgó robotok, UAV-k által alkotott hálózat, illetve egy szenzorokkal felszerelt járműkonvoj is.

A hálózat felépítése, szerkezete, a benne található elemek tulajdonságai jelentős szereppel bírnak a biztonságos és megbízható kommunikáció kivitelezésében.

A node-ok esetében a legfontosabb tulajdonságok közé az akkumulátor élettartama, aktuális energiaszintje, a szenzorok típusa és a kommunikációt biztosító vezeték nélküli adóvevő hatótávolsága tartoznak.

A hálózatok élettartamának minél hosszabb idejű fenntartása érdekében az egyes node-ok aktuális akkumulátor-töltöttségi szintjét minél magasabban kell tartani, azaz

energiafelhasználásukat minimalizálni kell. Az egyik legköltségesebb művelet ebből a szempontból a vezeték nélküli kommunikáció. Az energiafelhasználás mértékét a kommunikációval töltött idő és a kommunikációs vonal hossza is befolyásolja (ezen kívül természetesen még sok egyéb tényező játszik ebben szerepet, mint az alkalmazott moduláció, a frekvencia, a sáv szélesség, stb.). A feladat tehát az egyes node-ok esetén a kommunikációs idő csökkentése, különös tekintettel azokra a node-párokra, amelyek között nagy a távolság. A kommunikáció költségét egy node esetén az alábbi képlettel írnám le:

$$C_i = \sum_{j=1}^k x_j d_{ij}^2 t_{C_{ij}}, \text{ ahol } k = i \text{ szomszédainak száma}$$

C_i -vel jelöltem az i -edik node kommunikációra fordítandó költségét, d_{ij} -vel az i -edik node és egy szomszédja közti távolságot, $t_{C_{ij}}$ -vel az i -edik node egyik szomszédjával való kommunikáció időtartamát, x_j -vel pedig az i -edik node és egyik szomszédja közti kommunikációk számát a teljes hálózat működésének időtartama alatt. A képletben azokat a jellemzőket vettem figyelembe, amelyek az egyes node-ok esetén különbözőek lehetnek, és az útvonalválasztást, illetve a hálózat kiépítését befolyásolhatják, tehát az egyéb elektronikai paramétereket itt nem jelöltem, pontosabban a nem jelölt paraméterek a képletben található tényezőkben megjelenhetnek. A képletben leírt, egy node-ra vonatkoztatott költséget kell minimalizálni a node minél hosszabb működése érdekében. Az egyes paraméterek a hálózat típusától függően változó, vagy állandó értékek. A változó értékek módosításával lehet elérni a költségek csökkentését. x -et változtathatjuk a megfelelő útvonalválasztó algoritmus használatával, d -t a mozgó node-okat tartalmazó hálózatoknál lehet módosítani a mozgás optimalizálásával, t pedig a két node között folyó adatforgalom mennyiségével áll egyenes arányban, tehát ezt is egy megfelelő útvonalválasztó algoritmussal lehet csökkenteni. Természetesen ezen túlmenően fontos a teljes hálózatra vonatkoztatott költség meghatározása és annak minimalizálása is. Erre a képlet a fentiek felhasználásával:

$$C_n = \sum_{i=1}^m C_i, \text{ ahol } m = a \text{ node - ok száma}$$

A költségek minimalizálása a feladatok szétesztésének megfelelő koordinálásával, és az információátvitel racionalizálásával lehetséges.

VEZETÉK NÉLKÜLI SENZORHÁLÓZATOK HIVATKOZÁSI MODELLJEI

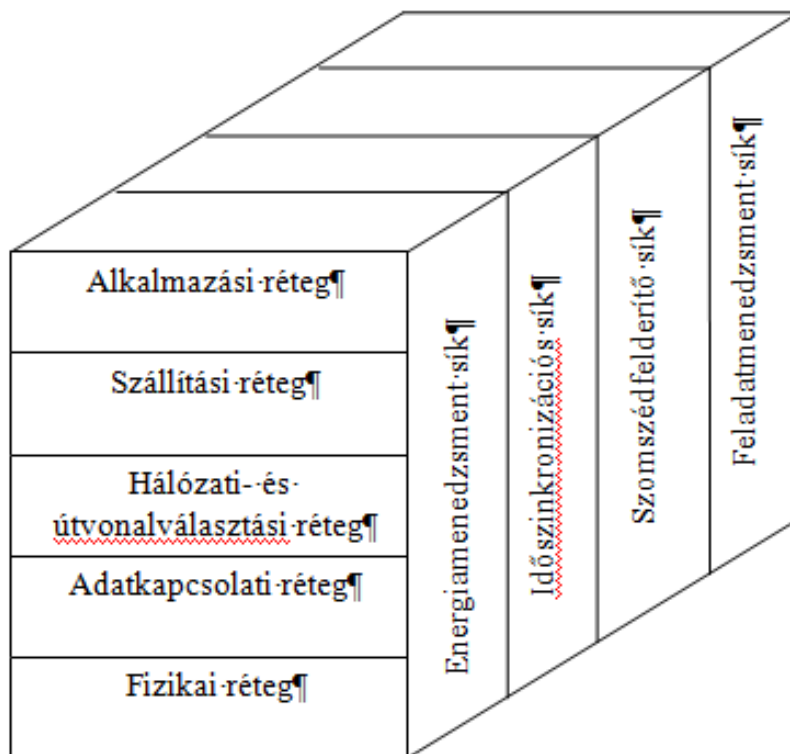
A hálózatok rendkívül sokfélék, alkalmazási helyük, módjuk, összetételük, szerkezetük tekintetében. Működésük általános leírásához, a különböző típusú, különböző módszereket, elveket használó hálózati csomópontok összekapcsolásának megvalósításához szükséges egy hivatkozási modell meghatározása, amely leírja, hogy az egyes csomópontok az egyes részfeladataikat milyen keretek, szabályok között kell, hogy megvalósítsák, milyen interfészekon keresztül tudnak kapcsolatot létesíteni más csomópontokkal.

A hivatkozási modellek rétegek definiálnak, amelyek a működés egy-egy önálló szeletét képviselik. Minden réteg rendelkezik egy meghatározott feladattal, amelynek végrehajtásához a közvetlenül alatta található rétegből veszi az információkat, és az általa előállított eredményt a közvetlen felette lévő rétegnek továbbítja. Az egymásra épülő rétegek közül a legalsó

mindig a hardver legalacsonyabb szintű vezérlését látja el, egyre feljebb lépve a rétegek egyre inkább a szoftver, az alkalmazások irányába tolódnak el.

Többféle hivatkozási modell is létezik, amelyek az idők folyamán kerültek kidolgozásra a változó igényeket figyelembe véve. A legáltalánosabb és legrégebbi ezek közül az OSI modell, amely 7 réteget definiál, név szerint: fizikai, adatkapcsolati, hálózati, szállítási, viszony, megjelenítési, és alkalmazási réteg. Az összes többi modell ebből alakult ki, ennek a különleges igényekhez igazított, specializált változata, mint például a TCP/IP modell, amely az internet születéséhez köthető. Célja különböző szerkezetű, működésű hálózatok összekapcsolásának megvalósítása. 4 réteget definiál: a hoszt és hálózat közti réteget, internet réteget, szállítási réteget, és alkalmazási réteget. [1]

A szenzorhálózatoknál is készítettek hasonlót, amelyet itt protokoll-veremnek hívnak. (2. ábra) A protokoll-verem nemcsak rétegeket, hanem a réteget átszelő síkokat is tartalmaz. A síkok feladata a több rétegben is megjelenő, fontos tevékenységek meghatározása. A rétegekből itt 5-öt használnak: a fizikai, adatkapcsolati, hálózati- és útvonal-választási, szállítási, és alkalmazási réteget. A következő fejezetek a hálózati- és útvonal-választási réteg kifejtésére koncentrálnak. Síkokból 3-at, vagy 4-et szoktak használni, összesen 6 különböző fajtát, úgymint: energia-menedzsment, mobilitás-menedzsment, feladat-menedzsment, biztonsági, időszinkronizációs és szomszédfelderítő. [2][3] Egy korábbi cikkemben [4] javasoltam egy olyan protokoll-vermet, amely a már létezők ötvözete:



2. ábra. Javasolt WSN protokoll verem

ÚTVONALVÁLASZTÁSI MÓDSZEREK SENZORHÁLÓZATOKBAN

Útvonalválasztási módszerek [1][5]

1. Legrövidebb útvonal alapú útvonalválasztás: a forrás és cél között a legkisebb költséggel járó útvonalat választja. A költség lehet az út csúspontjainak száma, fizikai távolság, kommunikációs költség, stb.

2. Elárasztás (flooding): A node az összes szomszédjának elküldi az adatokat, amíg azok el nem jutnak a címzethez. Ennek egy fajtája a szelektív elárasztás (selective flooding, gossiping): A node egy véletlenszerűen kiválasztott szomszédjának, illetve a célhoz vezető legvalószínűbb úton küldi tovább az adatokat.
3. Távolságvektor alapú útvonalválasztás: minden csomópont tárol egy táblázatot a szomszédjain át a célhoz vezető eddig ismert legrövidebb út hosszáról. A táblázatot a szomszédok rendszeres újrakérdezésével frissíti.
4. Kapcsolatállapot alapú útvonalválasztás: minden csomópont megméri a szomszédai és közte jelentkező költséget és ebből egy kapcsolatállapot-csomagot készít, amit az összes többi csomóponthoz eljuttat. A kapcsolatállapotokból aztán a legrövidebb út módszerét használva választ optimális útvonalat.
5. Hierarchikus útvonalválasztás: a teljes hálózatot részhálózatokra osztja, és mindegyikben kijelöl egy központi csomópontot, amely a saját alhálózatának útvonaltáblázatait tartja karban.
 - a) LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy): a hálózatot klaszterekre osztja. A klasztereken belül minden kommunikációs menetben választ egy központi csomópontot, akivel az összes többi klasztertag kommunikálhat. A központ küldi tovább az adatot a cél node felé.
 - b) PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems): a klaszterben található node-okból egy kommunikációs sort hoz létre, amelyben minden node a szomszédjának küldi a fuzionált adatokat, majd a központi csomópont továbbítja a címzett felé. A központi csomópont nem változik a kommunikációs menetek közben.
 - c) TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol), APTEEN (AdaPtive Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol): a klaszterek kialakítása az egymás közel álló node-okból történik. A központi csomópont meghatároz egy küszöbértéket és egy deltát a node-ok számára. Ha az általuk mért érték ezt meghaladja, akkor az adat elküldésre kerül a központnak. A következő mért érték csak akkor kerül elküldésre, ha az előző értéket meghaladja a delta által meghatározott értékkel.
6. SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation): A node jelzi az összes szomszédjának, hogy rendelkezik egy bizonyos adattal, a szomszédok pedig jelezhetik, hogy érdekli-e őket ez az adat. A node az érdeklődő szomszédoknak küldi el az adatot.
7. Directed Diffusion: A forrás node a szomszédjainak kihirdeti, hogy rendelkezik egy bizonyos adattal. Ezt a szomszédok megismétlik az ő szomszédjaikkal is. A szomszédok visszajeleznek, hogy érdekli-e őket az adat. Az érdeklődést jelző mező tartalmaz még gradiens mezőket is, amelyek tárolják az adatküldési rátát, időt és lejáratú időt. A gradiens és az érdeklődésjelző alapján kialakulnak útvonalak a forrás és a cél között.
8. Energiatakarékos útvonalválasztás (Energy-aware routing): útvonaltáblázatot készít minden node a hozzá vezető utakon lévő node-ok energiaszintje alapján. Ezekhez valószínűségeket rendel, amit a lehetséges utak közül optimális kiválasztáshoz használ.
9. Híresztelő útvonalválasztás (Rumor routing): Csak azokhoz a node-okhoz juttatja el a lekérdezést, amelyeknél a lekérdezendő események bekövetkeznek. Az események bekövetkeztéről a hálózaton utazó, forrás node által létrehozott ágensek értesítik a többi node-ot. Egy lekérdezés elküldésekor az eseményről értesült node-ok által meghatározott útvonalon lehet eljuttatni az adatokat az esemény forrásától a lekérdezés forrásáig.

10. GAF (Geographic Adaptive Fidelity): a node-ok azonosítása GPS koordinátáikkal történik. Az algoritmus virtuális rácsot definiál, amelynek az egyes celláiban található node-ok azonos távolságúnak tekintendők az őket elérni tudó node-októl számítva. Emiatt az azonos cellában lévő node-ok közül egyszerre csak egy aktív, a többi alvó állapotban van.
11. GEAR (Geographic and Energy-Aware Routing): régiókra osztja a hálózatot. A forrástól a célig úgy jut el az adat, hogy a forrás szomszéd régiói közül a célrégióhoz legközelebb eső régióba kerül elküldésre, amíg a célrégióhoz el nem jut. Azon belül a cél node megkereséséhez elárasztásos, vagy egyéb más, korábban tárgyalt módszer használható.

Útvonalválasztó algoritmusok csoportosítása

1. Terhelésfigyelés:
 - a) Statikus: az útvonal kiválasztásánál nem veszi figyelembe az egyes csomópontok, illetve útvonalak terhelését.
 - b) Dinamikus: az időben változó terhelés alapján választja ki a legjobb útvonalat.
2. Működési elv:
 - a) Adatközpontú: az elvárt adatok lekérdezésén alapul.
 - b) Hierarchikus: a teljes hálózatot részhálózatokra bontja.
 - c) Helyzetalapú (az egyed node-ok pozíciója alapján küldi az adatokat a megfelelő címzettnek, és nem mindenkinek)
3. Adatátviteli módok a forrás és cél között:
 - a) Folyamatos (minden szenzor periodikusan küldi az adatokat)
 - b) Eseményvezérelt (egy esemény bekövetkeztekor küldi az adatokat)
 - c) Lekérdezésvezérelt (a cél lekérdezés-generálásakor küldi az adatokat)

Az 1. táblázat ezek alapján a szempontok alapján osztályozza az egyes algoritmusokat.

	Terhelésfigyelés	Működési elv	Adatátviteli mód
Legrövidebb út	statikus	adatközpontú	bármilyen
Elárasztás	statikus	adatközpontú	bármilyen
Távolságvektorral	dinamikus	táblázatos	bármilyen
Kapcsolatállapottal	dinamikus	táblázatos	bármilyen
LEACH	dinamikus	hierarchikus	bármilyen
PEGASIS	dinamikus	hierarchikus	bármilyen
TEEN	dinamikus	adatközpontú, hierarchikus	eseményvezérelt
SPIN			eseményvezérelt
Directed Diffusion			eseményvezérelt
Energiatakarékos			bármilyen
Híresztelő			lekérdezés-vezérelt, eseményvezérelt
GAF		helyzetalapú, hierarchikus	Bármilyen
GEAR		adatközpontú, helyzetalapú, hierarchikus	lekérdezés-vezérelt

1. táblázat. Útvonalválasztó algoritmusok osztályozása

ÖSSZEFOGLALÁS

A szenzorhálózatok széles felhasználási körének köszönhetően a téma a kutatók kedvencévé vált az elmúlt években. A cikkben részleteztem a szenzorok és szenzorhálózatok útvonalválasztást befolyásoló jellemzőit, megadtam egy lehetséges költség számítási módot a szenzorhálózatok működése későbbi optimalizálási lehetőségének kidolgozásához, leírtam a vezeték nélküli szenzorhálózatoknál használható hivatkozási modelleket és egy általam ez alapján javasolt protokoll-variant, felsoroltam az útvonalválasztó módszerek közül néhányat és csoportosítottam őket meghatározott szempontok szerint. A cikk alapul szolgálhat egy későbbi részletesebb elemzéshez, és új algoritmusok kidolgozásához, illetve ezek adott szempontok szerinti értékeléséhez.

Felhasznált irodalom

- [1] A. S. Tanenbaum: Számítógéphálózatok, második, bővített, átdolgozott kiadás, Panem kiadó, 2004. ISBN 963 545 384 1
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci: Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks 38, 2002, pp 393-422.
<http://www.larces.uece.br/~celestino/RSSF%20I/Wireless%20Sensor%20Networks%20a%20Survey.pdf>, (letöltés: 2012.01.30.)
- [3] Siddhart Ramesh: A Protocol Architecture for Wireless Sensor Networks, University of Utah.
http://www.cs.utah.edu/~sramesh/attachments/sensornet_archi.pdf,
(letöltés: 2012.01.30.)
- [4] Nagy T. I.: Szenzorhálózatok szoftverfejlesztési kérdései, Hadmérnök, 2012 március, VII. évfolyam, 1. szám,
http://www.hadmernok.hu/2012_1_nagy1.pdf, (letöltés: 2012.06.21.)
- [5] K. Akkaya, M. Younis: A Survey on Routing Protocols in Wireless Sensor Networks, Ad Hoc Networks 3, 2005, pp 325- 349.
<http://www.cs.binghamton.edu/~kang/teaching/cs526/routing-survey.pdf>,
(letöltés: 2012.06.19.)