

Produženje životnog vijeka bežičnih senzorskih mreža, zasnovano na Hamiltonovoj hipotezi

Goran Popović, Goran Đukanović

Mtel, a.d. Banja Luka

goran.popovic@mtel.ba, goran.djukanovic@mtel.ba

Sažetak—U radu je predložen novi algoritam za produženje životnog vijeka bežičnih senzorskih mreža. Kritičan resurs u ovim mrežama je energija, pošto se senzori napajaju iz baterija čiju zamjenu na terenu obično nije moguće izvršiti. Najveći dio energije troši se na komunikaciju između senzora pa je i uštede neophodno izvršiti u tom dijelu. Predstavljen je algoritam koji polazi od ideje uvođenja dodatnog solarnog napajanja senzora, koje bi se aktiviralo samo u svrhu pomjeranja senzora koji ima ulogu vođe klastera u poziciju koja je optimalna iz aspekta ukupne potrošnje energije, koja se troši prilikom razmjene podataka. Predloženo je da pozicija vođe klastera bude centar mase odgovarajućeg klastera, shodno Hamiltonovoj hipotezi. Izvršene su simulacije u različitim uslovima i predstavljene prednosti korišćenja ovog algoritma.

Ključne riječi—bežične senzorske mreže; centar mase; vođa klastera

I. UVOD

Bežične senzorske mreže WSN (Wireless Sensor Networks) predstavljaju izuzetno važan dio globalne informacione mreže savremenog društva. Njihov zadatak je da izvrše očitavanja različitih fizičkih fenomena na terenu i da izvrše prenos dobijenih podataka do bazne stanice, mjesta gdje se vrši centralizovana akvizicija i obrada. Očekivanja su da će već u bližoj budućnosti ove mreže biti sveprisutne i da će pokrivati sve aspekte života i rada savremenog čovjeka. Teško je izdvojiti neka od mnogih područja gdje se WSN već sada koriste, ali trenutno su najznačajnija: bezbjednost građana i imovine, zaštita životne sredine, medicina, saobraćaj, industrija, zaštita od prirodnih katastrofa, vojne primjene... Brzom širenju bežičnih senzorskih mreža značajno doprinosi niska cijena i male dimenzije senzora proizvedenih u MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) tehnologiji [1]. Sa druge strane, ovi uređaji raspoložuju konačnom energijom, pošto se napajaju iz baterija koje obično nije moguće zamijeniti na terenu. Nakon što se raspoloživa energija baterije potroši, senzor gubi svoju funkciju pa kažemo da senzorska mreža ima ograničen životni vijek. Veći dio istraživanja u vezi sa bežičnim senzorskim mrežama usmjeren je stoga u pravcu iznalaženja načina za ekonomično trošenje raspoložive energije senzora, kao elemenata bežične senzorske mreže, u cilju produženja životnog vijeka mreže.

Komunikacija između senzora troši najveći dio energije, daleko više od samog očitavanja koje senzor vrši. Stoga je i uštede energije potrebno vršiti prvenstveno u fazama razmjene

podataka između senzora. Konvencionalni model prenosa podataka u senzorskoj mreži podrazumijeva direktnu vezu svakog senzora sa baznom stanicom [2]. Energija koju svaki senzor troši, prilikom slanja podataka ka baznoj stanici, raste sa kvadratom udaljenosti od bazne stanice [3]. Bazna stanica se obično nalazi negdje van prostora na kome su senzori raspoređeni, pa je jasno da će energija koja se potroši za komunikaciju, u ovako organizovanoj mreži, biti nedopustivo velika. Među alternativnim modelima organizovanja komunikacije između senzorskih čvorova, ističu se oni koji podrazumijevaju hijerarhijsku organizaciju bežičnih senzorskih mreža [4]. U ovim modelima, senzorski čvorovi se grupišu u klustere. Svaki klaster ima svog vođu (*Cluster Head CH*), koji pored osnovnog zadatka, očitavanja podataka sa terena, ima i posebna zaduženja kao što su: agregacija podataka primljenih od drugih čvorova u klasteru, njihova fuzija kao i prosljeđivanje prema krajnjem odredištu. Dodatna zaduženja CH čvorova imaju za posljedicu znatno veću potrošnju energije, pa je uloge CH čvorova potrebno periodično rotirati, kako bi se ovo opterećenje ravnomjerno rasporedilo na sve čvorove u mreži. Tipičan protokol iz ove grupe je LEACH [5]. Algoritam se izvršava u rundama. Na početku se bira željeni procenat čvorova P u senzorskom polju koji će imati ulogu CH. Svaka runda se sastoji iz dvije faze: *setup* i *steady*. U toku *setup* faze svaki od čvorova samostalno odlučuje, da li će u toj rundi biti CH ili ne, birajući slučajan broj između 0 i 1. Ako je ova slučajno izabrana vrijednost manja od vrijednosti praga $T(n)$ za čvor n , tada će čvor n postati CH u r -toj rundi. Prag se računa pomoću izraza :

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

Gdje je G skup senzora koji nisu bili CH u poslednjih $1/P$ rundi, a r je broj tekuće runde. Na početku algoritma, svaki čvor ima jednaku vjerovatnoću da postane CH. Parametar $T(n)$ se u svakoj sledećoj rundi povećava, jer je sve manje preostalih kandidata za ulogu CH. Nakon izbora, svaki CH saopštava svoj status ostalim čvorovima u mreži. Čvorovi biraju klaster kome će pripadati na osnovu jačine primljenih signala od svih novoizabranih CH. Potom, svaki od čvorova informiše izabrani CH da će biti član njegovog klastera, pa se tako svi klasteri konačno formiraju. Tokom *steady* faze, senzorski čvorovi vrše

svoj primarni zadatak, tj. očitavaju odgovarajući fizički fenomen, a prikupljeni podaci se šalju ka CH. CH vrše agregaciju podataka primljenih od pripadajućih čvorova i potom ih šalju ka BS. Nakon određenog vremena, koje mreža provodi u *steady* fazi, prelazi se u novu *setup* fazu i tako u krug dok ima aktivnih senzora u mreži. Osnovna prednost organizovanja bežičnih senzorskih mreža u klastere je u tome što se smanjuje broj veza koje se uspostavljaju na velikim razdaljinama, pošto samo CH imaju direktnu komunikaciju sa BS. Međutim, u LEACH protokolu, kao i u većini sličnih hijerarhijskih protokola, koji predstavljaju modifikacije osnovnog LEACH-a, ulogu CH mogu imati i senzori koji su veoma daleko od BS tj. nalaze se na granicama svojih klastera ili su čak najdalji od BS prema kojoj trebaju usmeriti svoj prenos. Ovi CH troše izuzetno veliku energiju za komunikaciju sa baznom stanicom. Može se desiti da se za CH izaberu i senzori koji su toliko daleko da uopšte ne mogu uspostaviti vezu direktno sa BS. Pored toga, fizička pozicija CH u klasteru značajno utiče i na potrošnju energije koju ostvaruje svaki od pripadajućih čvorova prilikom komunikacije sa njim.

U ovom radu predlažemo algoritam kojim se uklanjaju ovi nedostaci, koji doprinose nepotrebnom trošenju energije senzorskih čvorova. Kako bi se to postiglo uvodi se kontrolisana mobilnost čvorova koji imaju ulogu CH, u cilju zauzimanja optimalne pozicije unutar klastera u odnosu na ostale članove. Pri tome se polazi od Hamiltonove hipoteze. Pomijeranje CH u senzorskom polju vrši se uz pomoć rezervnog solarnog napajanja, koje se koristi isključivo za tu namjenu. Predstaviceemo ovaj algoritam kao i ideje na kojima je nastao a potom prikazati rezultate simulacija, koje dokazuju prednosti predloženog algoritma u različitim situacijama.

II. NOMADSKI CH U SENZORSKOM POLJU

Primarno napajanje senzora predstavljaju baterije koje imaju konačan životni vijek. Solarno napajanje senzora, kao obnovljivi izvor energije, predloženo je u velikom broju radova [6]–[8]. Problem sa solarnim napajanjem je naravno njegova nepouzdanost i zavisnost od vremenskih uslova na terenu. Iz tog razloga sva rješenja koja podrazumijevaju isključivo solarno napajanje za čvorove u senzorskoj mreži nisu realna. U ovom radu predlažemo da se solarno napajanje koristi isključivo za pomijeranje senzora, koji ima ulogu vođe klastera, u poziciju koja je optimalna u smislu potrošnje energije ostalih članova klastera prilikom komunikacije sa njim. Pomijeranje CH u senzorskom polju predlagano je u nekim ranijim rješenjima [9], [10], gdje su svi članovi senzorske mreže kao i bazna stanica, statični dok se samo čvorovi koji imaju ulogu vođa klastera kreću između ostalih čvorova, prikupljajući usput sve podatke koje je potrebno prenijeti dalje. U našem prijedlogu koristimo osnovni LEACH algoritam ali ga modifikujemo tako da se senzor, čim bude izabran za vođu klastera, počinje kretati prema centru masa klastera korišćenjem akumulisane solarne energije. Pretpostavlja se da je trajanje svake runde toliko da CH ima sasvim dovoljno vremena da se pozicionira na određitu prije nego što članovi klastera počnu da mu šalju podatke. Takođe se pretpostavlja da je vrijeme između dva izbora istog senzora za ulogu CH dovoljno da se akumulira dovoljno energije za potrebno

kretanje u narednoj rundi u kojoj će predvoditi svoj klaster, bez obzira na vremenske uslove. Ovdje preferiramo primjene gdje se podaci ne šalju tako često ka baznoj stanici, pa su ove pretpostavke sasvim opravdane. Podaci se mogu očitavati i prosljeđivati na dnevnom nivou, što je realno u velikom broju situacija, na primjer pri nadzoru zagađenih ili opasnih oblasti.

Pozicija centra masa izabrana je na osnovu Hamiltonove hipoteze o sebičnom ponašanju članova krda prilikom samoorganizovanja, u cilju odbrane od predatora [11]. Dominantni članovi se pomjeraju ka centru masa čitavog krda kako bi za sebe obezbijedili sigurnost od napada, ostavljajući tako slabije članove na periferiji, izložene znatno većem riziku. Iako je ova ideja iskorišćena kao model, logika je potpuno obrnuta. U našem primjeru ovo ponašanje nije sebično već je naprotiv u interesu cijele grupe. Centar mase svakog klastera određuje se na osnovu izraza (2).

$$\bar{r}_{cm} = \sum_{i=1}^K \frac{\bar{r}_i m_i}{m_{tot}} \quad (2)$$

Gdje je m_i masa i -tog senzora, r_i pozicija odgovarajućeg senzora u polju, K je broj senzora u klasteru a m_{tot} je ukupna masa svih senzora u klasteru. U radu je pretpostavljeno da su sve mase jednake. Nakon što CH primi poruke od svih senzorskih čvorova u klasteru i prosljedi ih ka baznoj stanici on se vraća na svoju inicijalnu poziciju kako bi se izbjeglo grupisanje senzora u jednoj tački i obezbijedilo uniformno pokrivanje područja od interesa. U slijedećim rundama čitav postupak se ponavlja.

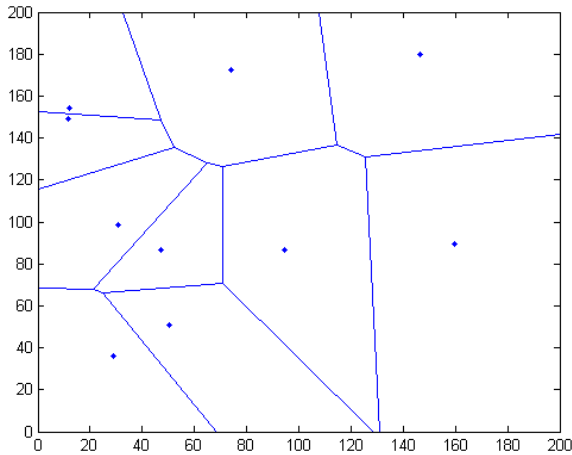
III. REZULTATI SIMULACIJE

Urađena je simulacija predloženog algoritma u MATLAB-u i izvršeno poređenje sa direktnom vezom svakog senzora sa baznom stanicom i sa osnovnim LEACH algoritmom. Simulacija je izvršena paralelno sa ova tri algoritma, za isti skup senzorskih čvorova u mreži, sa istim početnim energijama i istim prostornim rasporedom. Posmatra se senzorsko polje dimenzija 200 m x 200 m sa 100 uniformno raspoređenih čvorova. Bazna stanica se nalazi van senzorskog polja na poziciji [0,-100] m. Svaki od čvorova ima inicijalnu energiju od 1J. Na Sl.1 prikazan je Voronoi dijagram za posmatrano senzorsko polje [12]. Na njemu se vide pozicije vođa klastera izabranih u *setup* fazi u prvoj rundi simulacije, kao i granice odgovarajućih klastera. Uočljivo je da se pojedini CH nalaze na granicama svojih klastera i da nisu optimalno pozicionirani u odnosu na položaj ostalih čvorova u klasteru, imajući u vidu energiju koja će biti utrošena prilikom komunikacije ovih čvorova sa svojim CH.

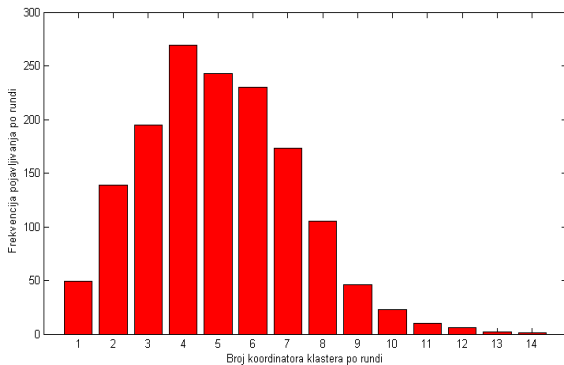
Na Sl. 2 prikazana je frekvencija pojavljivanja određenog broja CH u senzorskoj mreži u toku njenog životnog vijeka. Uočljivo je da je mreža u značajnom broju rundi imala 4 do 6 CH što je u skladu sa postavljenim uslovima. Dešavalo se i da mreža ima samo jedan klaster ali i čitavih 14 klastera, što je

posljedica slučajnog izbora broja između 0 i 1 koji se poredi sa pragom u izrazu (1).

Na Sl. 3 predstavljeno je poređenje rezultata simulacije za tri posmatrana algoritma, po broju senzorskih čvorova koji su još uvijek aktivni u odnosu na broj proteklih rundi. Trošeci energiju iz primarnog napajanja, senzorski čvorovi se isključuju jedan po jedan. Nakon određenog broja rundi više neće biti aktivnih senzora u mreži. Simulacija se izvršava sve dok postoji barem jedan aktivan čvor. Za slučaj nomadskih CH izvršice se blizu 1200 rundi.



Slika 1. Voronoi dijagram senzorskog polja

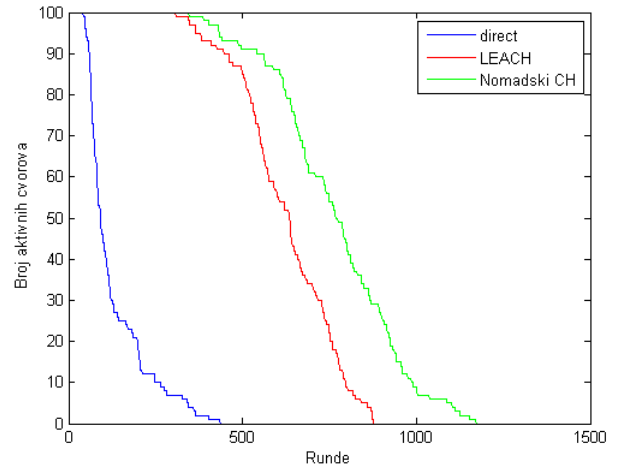


Slika 2. Frekvencija pojavljivanja CH u toku životnog vijeka mreže

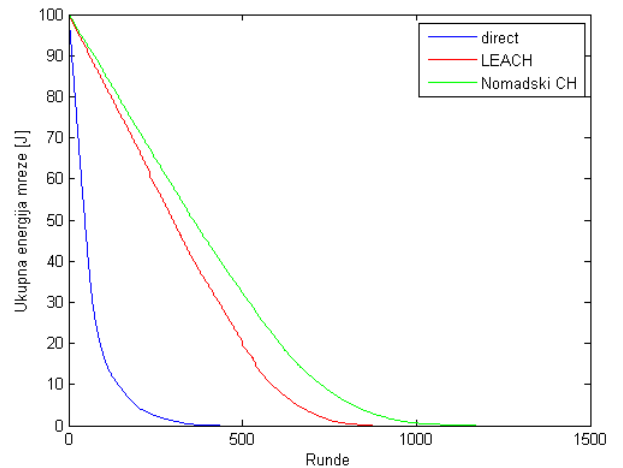
Očigledna je prednost algoritma sa nomadskim CH u odnosu na osnovni LEACH a pogotovo u odnosu na direktnu komunikaciju senzora. Na početku, dok su baterije još u dobrom stanju, oba algoritma imaju slične performanse. Kako vrijeme odmiče razlike su sve veće. Ako uzmemo da jedna runda traje jedan dan, u mreži sa nomadskim CH biće aktivnih senzora blizu 200 dana nakon što je isključen poslednji senzor u mreži u kojoj se rutiranje vrši po osnovnom LEACH protokolu. U trenutku kada mreža sa nomadskim CH ima 50% aktivnih čvorova, broj aktivnih čvorova u mreži sa osnovnim LEACH je ispod 20% i teško se može smatrati da ovakva mreža može vršiti svoju funkciju na čitavom senzorskom polju.

Poređenje sa direktnom komunikacijom senzora pokazuje da će i mreže sa nomadskim CH i sa osnovnim LEACH algoritmom još uvijek imati sve čvorove u aktivnom stanju u trenutku kada se i poslednji čvor koji komunicira direktno sa baznom stanicom isključuje.

Na Sl.4 može se vidjeti poređenje preostale ukupne energije bežične senzorske mreže za algoritme koje posmatramo. Za slučaj direktne komunikacije senzorskih čvorova ukupna energija mreže vrlo brzo počinje naglo da pada.



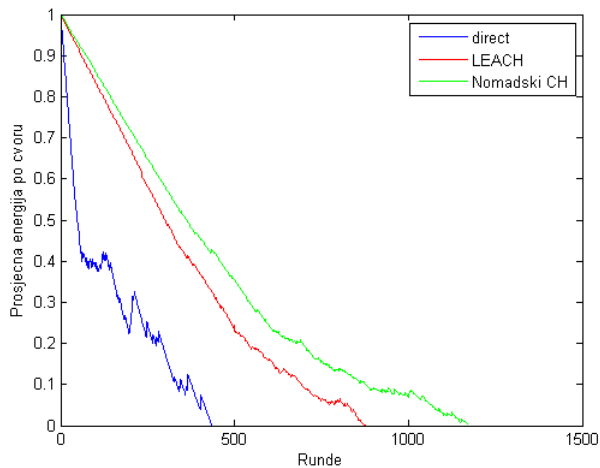
Slika 3. Broj aktivnih čvorova u odnosu na broj završenih rundi



Slika 4. Ukupna energija mreže u odnosu na broj završenih rundi

Prvo se isključuju senzori koji su najdalji od bazne stanice pa stoga troše najviše energije za komunikaciju. Zatim postepeno bez napajanja ostaju senzori sve bliži i bliži baznoj stanici, dok se na kraju ne isključe i oni najbliži. Uočljivo je da senzori koji se nalaze relativno blizu baznoj stanici znatno sporije troše energiju pa u tom dijelu ukupna energija sporije opada. Poređenjem mreže sa nomadskim CH u odnosu na osnovni LEACH, vidljivo je da se, kako se broj rundi povećava, razlika ukupnih energija sve više povećava u korist mreže sa nomadskim CH.

Na Sl. 5 je prikazana prosječna energija po senzorskom čvoru u odnosu na broj završenih rundi. Za direktnu komunikaciju vidljive su skokovite promjene od trenutka kada aktivni ostaju čvorovi koji su relativno blizu baznoj stanici, jer njihova energija znatno sporije opada. Poređenje mreže sa nomadskim CH u odnosu na osnovni LEACH i ovdje pokazuje prednosti prvog, pogotovo kako se broj rundi povećava.



Slika 5. Prosječna energija po čvoru u odnosu na broj završenih rundi

IV. ZAKLJUČAK

U radu je predložen novi algoritam sa nomadskim CH za rutiranje u hijerarhijski organizovanim bežičnim senzorskim mrežama. Algoritam ima za cilj prevazilaženje jednog od nedostataka osnovnog LEACH algoritma, gdje, s obzirom na slučajni izbor senzora koji ima ulogu CH u određenoj rundi, njegova lokacija nije optimalna u odnosu na preostale senzore u klasteru, koji sa njim ostvaruju direktnu komunikaciju. Imajući u vidu da energija koju sensor troši prilikom komunikacije raste sa kvadratom udaljenosti do prijemnika, predložili smo da se lokacija CH u svakom klasteru koriguje a pri tome smo se vodili primjerom iz prirode, iz životinjskog svijeta, izraženim kroz Hamiltonovu hipotezu. CH zauzima poziciju koja predstavlja centar masa u odnosu na sve senzorske čvorove pripadajućeg klastera. Kretanje koje CH vrši do ove pozicije i nazad na početnu lokaciju, vrši se uz pomoć solarne energije koja se akumulira u senzoru isključivo za ovu namjenu. Na taj način ulaganjem obnovljive energije za vršenje rada, koji se vrši u dovoljno rijetkim periodima, postiže se značajna ušteda primarne energije senzora, koji se napaja iz baterija koje se na terenu ne mogu mijenjati. U simulacijama smo izvršili poređenje predloženog algoritma sa direktnom komunikacijom između senzora i sa mrežama u kojima se saobraćaj rutira po osnovnom LEACH algoritmu. Pokazana su poboljšanja koje daje uvođenje nomadskih CH, iskazana kroz značajno produženje životnog vijeka mreže.

LITERATURA

- [1] A.E. Franke, T.J. King, R.T. Howe, "Integrated MEMS technologies," MRS Bulletin, vol.26, (no.4), Mater. Res. Soc, April 2001, p.291-5

- [2] T. Meng, V. Rodoplu, "Distributed network protocols for wireless communication," IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'98), vol. 4, pp. 600--603.
- [3] G. Popovic, G. Djukanovic, "Cluster formation techniques in hierarchical routing protocols for Wireless Sensor Networks," Journal of Information Technology and applications (JITA) 2016; 1:5-11.
- [4] G. Đukanović, G. Popović, "Tehnike za klasterizaciju u bežičnim senzorskim mrežama," ITeO 2016. Zbornik radova, Banja Luka, Septembar 2016.
- [5] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, "Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," IEEE Computer Society 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '00) vol. 8; 4-7 January 2000; Maui, Hawaii, USA. New York, NY, USA: IEEE. pp. 1-10.
- [6] T. Voigt, H. Ritter, J. Schiller, A. Dunkels, J. Alonso, "Solar-aware Clustering in Wireless Sensor Networks," Ninth IEEE Symposium on Computers and Communications; 28-30 June 2004; Alexandria, Egypt. New York, NY, USA: IEEE. pp. 238-243.
- [7] C. Gongben, W. Shaorong, "A Novel Node Deployment and Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks," Second International Symposium on Electronic Commerce and Security (ISECS '09); 22-24 May 2009; Nanchang, China. New York, NY, USA: ACM. pp. 499-503.
- [8] J. Islam, M. Islam, N. Islam, "A-sLEACH : An Advanced Solar Aware LEACH Protocol for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," Sixth International Conference on Networking (ICN '07); 22-27 April 2007; Sainte-Luce, Martinique, France.
- [9] M. Ma, Y. Yang, "Clustering and load balancing in hybrid sensor networks with mobile cluster heads," 3rd International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks; 7-9 August 2006. Waterloo, Canada. New York, NY, USA: ACM.
- [10] T. Banerjee, B. Xie, J.H. Jun, D.P. Agrawal, "Increasing lifetime of wireless sensor networks using controllable mobile cluster heads," Wireless Communications & Mobile Computing 2010; 3: 313-336.
- [11] W.D. Hamilton, "Geometry for the selfish herd," J Theor Biol 1971; 31: 295-311.
- [12] Y.C. Wang, Y.C. Tseng, "Intentional mobility in wireless sensor networks," Wireless Networks: Research, Technology and Applications, Nova Science Publishers, 2009

ABSTRACT

The paper proposes a new algorithm for the prolonging of lifetime of wireless sensor networks. The critical resource in these networks is energy, since the sensors are supplied from the batteries which replacement in the field is usually not possible to manage. The most of the energy is spent on communication between the sensors so the savings are necessary to be made in that area. In this paper, an algorithm is presented based on the idea of introducing additional solar supply to the sensor, which could be activated only for the purpose of relocating the sensor that has a cluster head role. Moving is used only to take a position that is optimal from the point of total energy consumption, which is consumed during the exchange of data. It is proposed that the destination position of the cluster head be the center of masses of the corresponding cluster, according to Hamilton's hypothesis. We performed the simulations under various conditions and presented the advantages of using this algorithm.

WIRELESS SENSOR NETWORK LIFETIME PROLONGATION BASED ON HAMILTON HYPOTHESIS

Goran Popovic, Goran Djukanovic