

OPTIMIZACIJA POTROŠNJE ENERGIJE U LINEARNIM BEŽIČNIM SENZORSKIM MREŽAMA U FUNKCIJI FIZIČKOG SLOJA PAMETNOG ULIČNOG PARKINGA KORIŠTENJEM REDIL ALGORITMA / OPTIMIZACIJA POTROŠNJE ENERGIJE U LINEARNIM BEŽIČNIM SENZORSKIM MREŽAMA U FUNKCIJI FIZIČKOG SLOJA PAMETNOG ULIČNOG PARKINGA KORIŠTENJEM REDIL ALGORITMA

Almir Ahmetpahić¹, Goran Popović²

¹BH Telecom, d.d. Sarajevo, Franca Lebara 7, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina,

²Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Fakultet politehnički nauka Travnik, Aleja konzula –
Meljanac bb, 72270 Travnik, Bosna i Hercegovina,
e-mail: ultra@bih.net.ba, goran.popovic@iu-travnik.com

Stručni članak

UDK /UDC 004.8:004.42:621.3

Sažetak

Ovaj rad predstavlja REDIL algoritam ("Reduced Energy Dissipation In LWSN") razvijen za optimizaciju potrošnje energije u linearnim bežičnim senzorskim mrežama (LWSN) koje se koriste u funkciji fizičkog sloja na uličnim pametnim parkinzima u realnom okruženju centralnog djela grada Sarajeva. Algoritam koristi relejne čvorove koji imaju autonomno napajanje (baterijsko napajanje) za prijenos podataka prema sinku, s ciljem da ravnomjerno raspodijeli opterećenje i potrošnju energije među čvorovima, čime se sprječava prekomjerno pražnjenje pojedinih čvorova i samim tim produžava vijek mreže. Koristeći metod linearnog programiranja, algoritam odabira optimalne putanje u svakoj rundi rutiranja na osnovu kriterijuma poput preostale energije čvora, udaljenosti do sinka i distribucije relejnih čvorova duž pravca ka sinku. Za testiranje ovog algoritma, uzeto je realno urbano okruženje u gradu Sarajevu. Centralni dio grada, poznat po izazovima u pogledu infrastrukture, predstavlja idealnu lokaciju za simulaciju performansi REDIL algoritma u uvjetima stvarne mreže. Korištenjem modela koji simulira topologiju uličnih parkirališta i raspored senzorskih čvorova, testiranje algoritma omogućava procjenu njegovih sposobnosti u optimizaciji potrošnje energije i produžavanju vijeka trajanja mreže, čime se doprinosi većoj pouzdanosti i efikasnosti u upravljanju pametnim parkinzima.

Ključne riječi: REDIL, LWSN, Pametni parking, Ulični parking, Ušteda energije.

JEL klasifikacija: L86

Abstract

This paper presents the REDIL algorithm ("Reduced Energy Dissipation In LWSN") developed to optimize energy consumption in linear wireless sensor networks (LWSN) used in the physical layer of smart street parking systems in the real environment of downtown Sarajevo. The algorithm uses relay nodes with autonomous power supply (battery power) to transmit data to the sink, aiming to evenly distribute the load and energy consumption among the nodes, thereby preventing the excessive depletion of individual nodes and extending the network's lifespan. By using a linear programming method, the algorithm selects optimal paths in each routing round based on criteria such as the remaining energy of the node, the distance to the sink, and the distribution of relay nodes along the path to the sink. To test this algorithm, a real urban environment in the city of Sarajevo was chosen. The central part of the city, known for its infrastructure challenges, provides an ideal location for simulating the performance of the REDIL algorithm in a real network setting. Using a model that simulates the topology of street parking and the arrangement of sensor nodes, the algorithm's testing allows for the assessment of its capabilities in optimizing energy consumption and prolonging the network's lifetime, contributing to greater reliability and efficiency in managing smart parking systems.

Keywords: REDIL, LWSN, Smart Parking, Street Parking, Energy Efficiency.

UVOD

Analizirajući i izučavajući postojeća rješenja algoritama za rutiranje kao što su: Direktan prenos, MTE rutiranje (Minimum Transmission Energy), LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), Genetski algoritam GA, ACO (Ant Colony Optimization) i MERR (Minumum Energy Relay Routing). Inspirisani sa nekoliko zanimljivih ideja i vođeni vlastitim promišljanjima utvrdili smo principe, na kojima smo utemeljili originalan algoritam za rutiranje podataka primjenljiv za rješavanje opisanog problema. Algoritam je nazvan REDIL (*Reduced Energy Dissipation In LWSN*) "Umanjena potrošnja energije u linearnim bežičnim senzorskim mrežama".

Čvorovi imaju baterijsko napajanje i iz ove činjenice proizilazi da imaju ograničen vijek trajanja. Svaki čvor, pored senzora koji vrši očitavanje mjerene fizičke veličine koja po prirodi ima analogni karakter, sadrži i modul za A/D konverziju, digitalnu obradu signala i elektroniku za održavanje radio linka. Svaki čvor energiju troši na tri osnovne aktivnosti:

- Očitavanje zadatog fizičkog parametra kao osnovna aktivnost E_{sens} ;
- Prijem podataka od drugih čvorova E_{RX} ;
- Predaju podataka na udaljenosti d , E_{TX} .

Prije slanja podataka ka sinku, potrebno je odrediti rutu. Podaci se mogu slati direktno ka sinku ili putem relejnih čvorova. REDIL se fokusira na koncept „relejnih čvorova“ koji djeluju kao usputne stanice, čime se optimizuje potrošnja energije. Ako se koristi ista putanja za prijenos podataka, čvorovi na toj ruti će brzo trošiti energiju, pa je važno redovno analizirati energetska stanje mreže i predvideti buduću potrošnju.

1. OPIS ALGORITMA

Algoritam je osmišljen tako da se očitani podaci u svakom od senzorskih čvorova usmjeravaju prema sinku preko određenog broja relejnih čvorova tj. hopova čiji se tačan broj izračunava u svakom koraku algoritma [2]. Protok podataka od svakog senzorskog čvora do sinka, duž linearne senzorske mreže ide preko relejnih čvorova koji zadatak prosleđivanja podataka drugih čvorova obavljaju dodatno uz svoj primarni zadatak – detekcija promjene statusa zauzetosti pripadajućeg parking mjesta. Svaki od čvorova povremeno ima i ulogu relejnog čvora. Pošto ova uloga ima značajan uticaj na potrošnju energije čvora, neophodno je da se relejni čvorovi za svaki ishodišni čvor biraju u svakoj rundi na osnovu relevantnih kriterijuma čiji se uticaj određuje preko odgovarajućih težinskih koeficijenata. U svakom koraku vrši se proračun prije slijedećeg hopa koji, težeći optimizaciji potrošnje, bira odgovarajući hop. Algoritam je zasnovan na slijedećim konceptima koji su integrisani u jedinstvenu ideju koju autor u ovom radu pokušava dokazati kao korisnu za uštedu energije u mreži.

1.1.OPTIMALAN BROJ HOPOVA

Optimalan broj hopova na putanji računa se na način predložen u [4] pri čemu se od bilo kog senzorskog čvora do sinka K_{opt} uzima jedna od dvije mogućnosti:

$$K_{opt} = \left\lfloor \frac{d}{d_{char}} \right\rfloor \text{ ili } \left\lceil \frac{d}{d_{char}} \right\rceil \quad (1)$$

gdje je d_{char} karakteristična distanca nezavisna od d data sa izrazom:

$$d_{char} = \sqrt{\frac{E_{elec}}{e_{fs}(\gamma-1)}} \quad (2)$$

gdje γ može biti 2 ili 4 zavisno od primjenjenog modela.

Cilj je da se uspostavi ravnoteža između broja hopova i potrošnje energije.

1.2. LINEARNO PROGRAMIRANJE

REDIL algoritam koristi linearno [5] programiranje kao metod višekriterijumske optimizacije. Ovo omogućava definisanje problema u kojem se maksimizira ili minimizira linearna funkcija uz određene uslove. U ovom slučaju, funkcija cilja se može predstaviti kao:

$$\max(\text{ili min})z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n = \sum_{j=1}^n c_jx_j \quad (3)$$

Težinski koeficijenti omogućavaju usklađivanje različitih kriterijuma koji utiču na potrošnju energije.

Nakon izbora broja hopova od svakog čvora do sinka (BS) potrebno je utvrditi svaku pojedinačnu rutu, u svakom hopu, za svaki korak u fazi rutiranja saobraćaja. Izbor načina rutiranja u najvećoj mjeri može uticati na balansiranje potrošnje energije u mreži i posredno na produženje životnog vijeka mreže. U svakom koraku, prilikom izbora relejnog čvora na kome se određeni hop završava računa se fitness funkcija ili funkcija koštanja.

Fitness funkciju i funkciju troška se računa na osnovu nekoliko kriterijuma:

- Preostala energija čvora;
- Udaljenost do sljedeće destinacije;
- Raspored relejnih čvorova.

Fitness funkcija gdje se bira maksimum funkcije, računa se prema izrazu:

$$f(s) = k_1E_{res} + k_2\frac{1}{d_{1,2}} + k_3\frac{1}{d_v} + k_4\frac{1}{d_{2,3}} \quad (4)$$

Funkcija koštanja gdje se bira minimum funkcije računa se prema izrazu:

$$\text{cost}(s) = c_1\frac{1}{E_{res}} + c_2d_{1,2} + c_3d_v + c_4d_{2,3} \quad (5)$$

Koeficijenti se uvijek biraju tako da zadovolje uslov:

$$k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1 \quad \text{ili} \quad c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = 1 \quad (6)$$

Jedan od izazova u definisanju funkcija cilja je različitost jedinica mjera. Zbog toga se koristi normalizacija, čime se omogućava da se svi kriterijumi vrednuju na istom nivou. Normalizovani izrazi za fitness i trošak uzimaju u obzir početnu energiju čvora i udaljenost do BS.

Fitness funkcija se može napisati kao:

$$f^0(s) = k_{11} \frac{E_{res}}{E_0} + k_{12} \frac{d_0}{d_{1,2}} + k_{13} \frac{d_0}{d_v} + k_{14} \frac{d_0}{d_{2,3}} \quad (7)$$

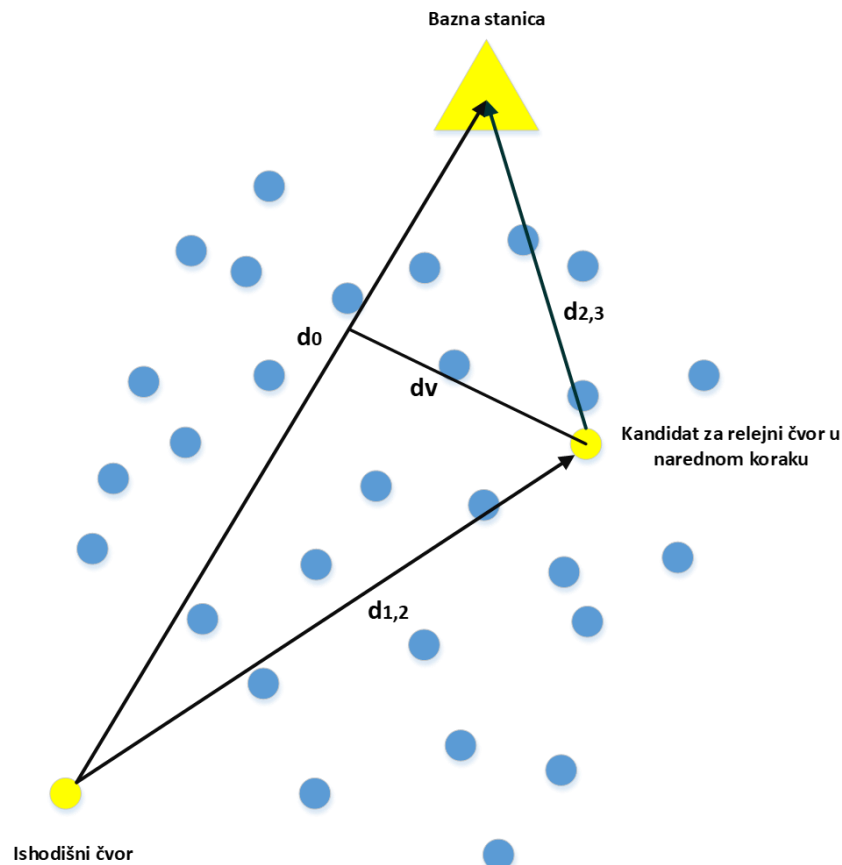
Funkcija troška se može napisati kao:

$$cost^0(s) = c_{11} \frac{E_0}{E_{res}} + c_{12} \frac{d_{1,2}}{d_0} + c_{13} \frac{d_v}{d_0} + c_{14} \frac{d_{2,3}}{d_0} \quad (8)$$

Gdje je E_0 početna energija baterije koja je ista za sve senzorske čvorove u mreži, d_0 je razdaljina između ishodišnog čvora i bazne stanice prema kojoj se podaci usmjeravaju.

Koeficijenti se uvijek biraju tako da zadovolje uslov:

$$k_{11} + k_{12} + k_{13} + k_{14} = 1 \quad \text{ili} \quad c_{11} + c_{12} + c_{13} + c_{14} = 1 \quad (9)$$



Slika 1. Ilustracija dužina koje se koriste kao parametri optimizacije.

Gdje je:

- E_{res} trenutna preostala energija čvora koji je kandidat za relejni čvor. Svaki od čvorova troši energiju obavljanjem svoje primarne aktivnosti, te primajući i prosleđujući poruke, kako svoje tako i one od ostalih čvorova kada je u funkciji releja. Potrošnja energije u aktivnosti komunikacije sa ostalim čvorovima (prije svega prilikom slanja poruke) je daleko najveća jer raste sa kvadratom udaljenosti. Prilikom izbora značaja uticaja ovog parametra na ukupan rezultat koristi se koeficijent k_1 .
- $d_{2,3}$ je udaljenost od kandidata za relejni čvor do slijedeće destinacije (bilo da je to novi relejni čvor ili konačno odredište – sink). Jasno je da je, s obzirom na linearni karakter mreže, čvor koji će imati najmanju vrijednost ove udaljenosti onaj čvor koji se nalazi neposredno uz sink ili na potencijalni naredni čvor, zavisno od broja preostalih hopova. Međutim, ovaj čvor je iz ovog aspekta najpovoljniji za sve prethodne čvorove u nizu, tako da bi on veoma brzo potrošio raspoloživu energiju. Zbog toga je potrebno balansirati njegov uticaj shodno ostalim parametrima, što činimo isticanjem koeficijenta k_4 .
- d_v je udaljenost od kandidata za relejni čvor do tačke na pravcu koji spaja ishodišni čvor sa baznom stanicom koja sa kandidatom za relejni čvor čini duž koja sa pomenutim pravcem tvori ugao od 90 stepeni. Ovaj parametar ukazuje na raspored relejnih čvorova u odnosu na pravac koji vodi prema baznoj stanici. Ukoliko se radi o čisto linearnoj mreži ova dužina će biti nula. Značaj ovog parametra se ističe pomoću koeficijenta k_3 .
- $d_{1,2}$ je udaljenost od ishodišnog čvora do potencijalno narednog relejnog čvora. Bira se u svim situacijama sem kada je iz energetskog aspekta povoljnije da ishodišni čvor šalje podatke direktno ka BS. S obzirom na linearni karakter mreže, uvijek bi se za naredni hop birao čvor koji je najbliži ishodištu. Na taj način bi svaki od čvorova imao uvijek isto odredište za naredni hop što bi ovog značajno energetski opteretilo (podsjetimo da bi za $d_{2,3}$ svi čvorovi u jednoj liniji do sinka birali isti čvor). Kroz balansiranje uticaja ovog parametra kroz jačinu koeficijenta k_2 daćemo mu odgovarajući značaj.

Tabela. REDIL algoritam

Algoritam: REDIL

- Vršiti se inicijalizacija svih ulaznih parametara sistema, pozicija čvorova, bežične tehnologije, karakteristika podataka koji se prenose;
- Inicijalizuju se ulazne veličine algoritma za različite scenarije, pozicije baznih stanica, dostupnost BS od strane grupe čvorova itd.
- Za svaki čvor u mreži se računa optimalan broj hopova do bazne stanice pomoću izraza $K_{opt} = \left\lfloor \frac{d}{d_{char}} \right\rfloor$ ili $\left\lceil \frac{d}{d_{char}} \right\rceil$ uzimajući da je $d_{char} = \sqrt{\frac{E_{elec}}{e_{fs}(\gamma-1)}}$;
- Za svaki čvor se biraju trase za svaki od hopova prema odredišnoj BS;
- Prilikom izbora računaju se vrijednosti $d_{1,2}$, $d_{2,3}$ i d_v te se koristi rezidualna energija za svakog od kandidata za relejni čvor u određenom hopu;

- Biraju se koeficijenti c_{11} , c_{12} , c_{13} i c_{14} shodno željenom isticanju pojedinih normalizovanih parametara;
- Računa se normalizovana funkcija koštanja prema izrazu

$$cost^0(s) = c_{11} \frac{E_0}{E_{res}} + c_{12} \frac{d_{1,2}}{d_0} + c_{13} \frac{d_v}{d_0} + c_{14} \frac{d_{2,3}}{d_0}$$
 vodeći računa o uslovu $c_{11} + c_{12} + c_{13} + c_{14} = 1$, za izbor svake pojedinačne trase;
- Za svaku moguću trasu od ishodišnog čvora za slijedeći hop bira se ona sa minimalnom cijenom koštanja;
- Prosleđuje se poruka po izabranoj trasi;
- Oduzima se energija od svih čvorova koji učestvuju u komunikaciji prema izrazu

$$E_{Tx}(L, d) = \begin{cases} Lx E_{elec} + Lx e_{fs} x d^2, & \text{ako je } d < d_0 \\ Lx E_{elec} + Lx e_{amp} x d^4, & \text{ako je } d \geq d_0 \end{cases}$$
- Ciklus se ponavlja sve dok ima aktivnih čvorova u mreži;

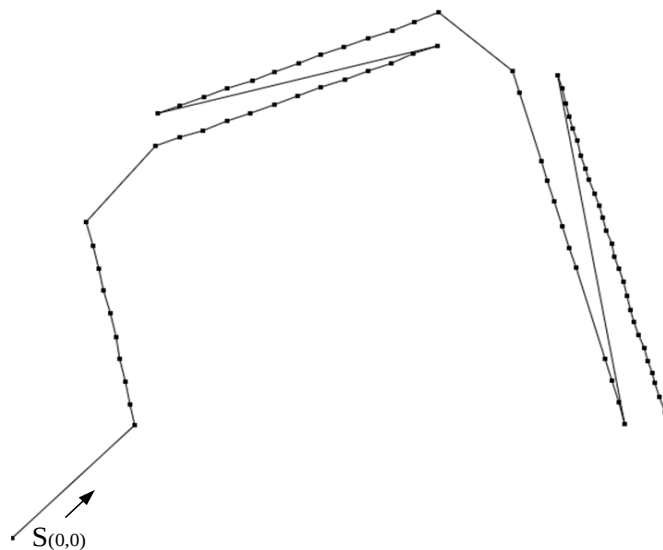
2. TESTIRANJE REDIL ALGORITMA NA IZABRANOM SEGMENT ULIČNIH PARKINGA U GRADU SARAJEVU

Za testiranje performansi predloženog algoritma iskorištena je konkretna situacija terena postojećih uličnih parkinga na području centra Grada Sarajeva. Segmenti parkinga locirani su u ulicama: Musala, Mis Irbina i Reisa Džemaludina Čauševića. Na slici je strelicama prikazan i dozvoljeni smijer kretanja vozila. Kružni karakter kretanja u posmatranom obuhvatu olakšava potragu za slobodnim parking mjestom. Ovaj gradski kvart je izabran i iz razloga što su parking mjesta u tri posmatrane ulice organizovana tako da sadrže tri različite kombinacije načina uličnog parkiranja.



Slika 2. Šema posmatranog obuhvata sa ucrtanim parking mjestima i označenim smjerom kretanja vozila.

Na slici 3. prokazan je raspored senzorskih čvorova, tačku u donjem lijevom uglu uzimamo kao koordinatni početak (pozicija (0,0)) u odnosu na koju su određene pozicije svih ostalih čvorova. U Tabeli 2. su predstavljene koordinate svih senzorskih čvorova u skladu sa slikom 3. Koordinate su izražene u metrima u odnosu na koordinatni početak označen na slici 3.



Slika 3. Pozicije i redoslijed senzorskih čvorova na posmatranom obuhvatu.

Tabela 2. Koordinate senzorskih čvorova u sistemu

S	x(m)	y(m)	S	x(m)	y(m)	S	x(m)	y(m)
1	21,94616977	24,41315	27	38,50931677	97,1831	53	100,4140787	88,49765
2	21,11801242	28,87324	28	43,06418219	98,82629	54	101,242236	85,91549
3	20,28985507	33,80282	29	46,99792961	100,7042	55	101,863354	82,62911
4	19,25465839	38,73239	30	51,34575569	102,5822	56	102,6915114	79,81221
5	18,63354037	43,42723	31	55,27950311	104,4601	57	103,3126294	77,46479
6	17,59834369	48,59155	32	59,42028986	106,1033	58	104,3478261	74,41315
7	16,35610766	53,52113	33	63,76811594	107,9812	59	105,1759834	71,83099
8	15,52795031	58,21596	34	68,11594203	109,6244	60	105,7971014	69,24883
9	14,49275362	63,14554	35	72,04968944	111,5023	61	106,4182195	66,43192
10	13,2505176	68,30986	36	76,39751553	113,615	62	107,4534161	63,61502
11	25,67287785	84,74178	37	89,64803313	100,939	63	107,8674948	60,79812
12	30,02070393	86,61972	38	90,89026915	96,24413	64	108,6956522	58,21596
13	34,16149068	88,02817	39	94,82401656	81,4554	65	109,5238095	55,39906
14	38,50931677	90,14085	40	95,85921325	77,23005	66	110,1449275	52,34742
15	42,65010352	91,78404	41	97,10144928	72,76995	67	110,7660455	49,29577
16	46,99792961	93,66197	42	98,55072464	67,37089	68	111,3871636	46,71362
17	51,13871636	95,53991	43	99,79296066	62,67606	69	112,2153209	43,89671
18	55,27950311	97,41784	44	101,0351967	58,4507	70	113,2505176	41,07981
19	59,62732919	99,06103	45	106,2111801	38,73239	71	113,8716356	38,26291
20	63,76811594	100,939	46	107,4534161	34,03756	72	114,699793	35,68075
21	67,90890269	102,5822	47	108,6956522	29,34272	73	115,1138716	33,56808
22	71,8426501	104,6948	48	109,7308489	24,64789	74	115,942029	30,51643
23	76,19047619	106,338	49	97,72256729	100	75	116,9772257	27,23005
24	26,08695652	91,78404	50	98,55072464	97,1831	76	117,3913043	24,88263
25	30,02070393	93,42723	51	99,17184265	93,89671			
26	34,36853002	95,30516	52	99,79296066	91,07981			

Na svakom parking mjestu postavlja se magnetni senzor AMR a kao tehnologija za bežični prenos podataka koristi se ZigBee (*Shahzad K., Oelmann M. (2014)*) sa brzinom prenosa podataka od 250 kb/s što je za ove namjene sasvim dovoljno ali sa dometom od 300 m što prevazilazi mogućnosti drugih tehnologija. Shodno zahtjevima modela koriste se vrijednosti parametara mreže opisane u tabeli.

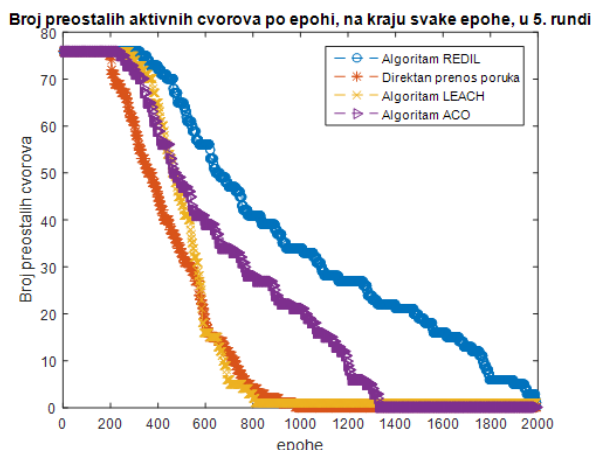
Tabela 3. Parametri mreže

Parametar	Vrijednost
Veličina paketa podataka	2000 bajtova
Veličina signalnog paketa	100 bajtova
E _{elec}	50nJ/bit
E _{amp}	100pJ/bit
E _{DA}	5nJ/bit
E ₀	0.2J

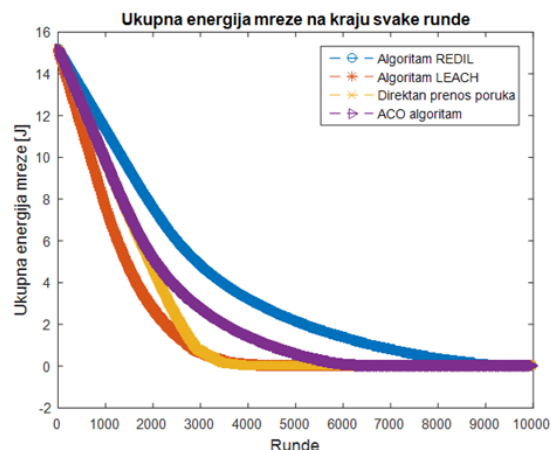
Za sve predhodno navedene algoritme autor je izradio originalni softver u Matlab okruženju, prilagodio ga zadatom testnom okruženju i postavljenim parametrima mreže. Simulacije su izvršene u Matlab R2015B verziji.

Potrebno je napomenuti da je početna energija značajno veća od ovdje navedenih $E_0 = 0.2$ J ali da je ova vrijednost uzeta zbog jednostavnosti i brzine računanja u simulaciji. To je jedan od razloga zašto su sva vremena koja se dobijaju u simulacijama značajno manja od realnih vremena. Ovo ne umanjuje značaj rezultata jer se ista vrijednost koristi u svim testiranim algoritmima tako da se skaliranjem može doći i do približno realnih vrijednosti. U radu se, na istom testnom okruženju i pod istim uslovima paralelno testiraju četiri algoritma za rutiranje podataka: Direktan prenos, MTE rutiranje (Minimum Transmission Energy), LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), ACO (Ant Colony Optimization) i opisani REDIL algoritam ("Reduced Energy Dissipation In LWSN").

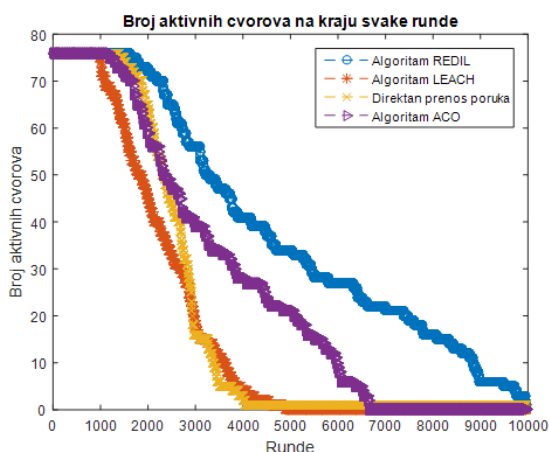
Scenario: $C_{11}=0.5$, $C_{12}=0.2$, $C_{13}=0.1$, $C_{14}=0.2$



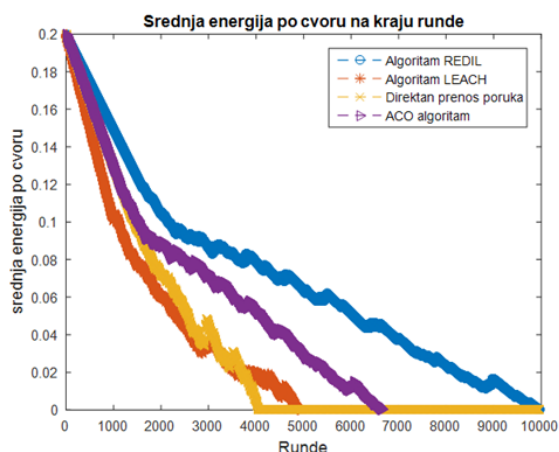
Broj preostalih čvorova po epohi za scenario



Ukupna energija mreže na kraju svake runde za scenario



Broj aktivnih čvorova na kraju svake runde za scenario



Srednja energija po čvoru na kraju runde za scenario

ZAKLJUČAK

U ovom radu je predložen novi REDIL algoritam za rutiranje podataka u LWSN mreži koja se koristi kao fizički sloj u sistemu uličnog pametnog parkinga. Rezultati simulacija pokazuju da REDIL algoritam daje bolje rezultate u poređenju sa postojećim protokolima i algoritmima, te produžuje vrijeme trajanja senzorskih mreža, pored navedenog doprinosi i efikasnosti sistema parkiranja na gradskim ulicama smanjujući vrijeme potrebno za pronalaženje slobodnog parking mjesta a posredno smanjuje se i zagađenje vazduha u centru grada.

LITERATURA

- [1] Ahmetpahić A., Popović G., (2023), „Potrošnja energije u bežičnim senzorskim mrežama u sistemu pametnih uličnih parkinga“, Proceedings of IUT, Godina VII, Broj: 14;
- [2] Ahmetpahić A., Popović G., (2023), „Smanjenje potrošnje energije WSN u funkciji fizičkog sloja pametnog parkinga, na primjeru užeg gradskog područja grada Sarajevo, kao doprinos politici zaštite životne sredine“, Proceedings of IUT, Godina VII, Broj: 15;
- [3] Bhardwaj M, Garnett T, Chandrakasan A. (2001), “Upper bounds on the lifetime of sensor networks,” in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC 2001), pp. 785–790;
- [4] M. Bhardwaj, T. Garnett, and A. Chandrakasan, “Upper bounds on the lifetime of sensor networks,” in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC 2001), Jun. 2001, pp. 785 – 790.
- [5] Popović G., (2023), „Linearno programiranje kao metoda optimizacije potrošnje energije u bežičnim senzorskim mrežama kratkog dometa“, Proceedings of IUT, Godina VIII, Broj: 16;
- [6] Ahmetpahić A., Popovic G. i Djukanovic G. (2023), „Linear wireless sensor networks as the physical layer of smart street parking systems“ Journal of Information Technology and Applications JITA, Vol.13, 1-56, ISSN 2232-9625;
- [7] Đukanović G., Popović G. (2021). „Poređenje efikasnosti dva algoritma za očuvanje životnog vijeka WBAN mreže inspirisana ponašanjem jedinki dvije vrste iz reda hymenoptera“, 13th International Scientific Congress – ITeO (Informational Technology for e-Education) Banja Luka;
- [8] Noori M., Ardakani M. (2008). ”Characterizing the traffic distribution in linear wireless sensor networks”, IEEE Communications Letters, vol. 12, no. 8, pp. 554-556;
- [9] Popovic G., Djukanovic G. and Kanellopoulos D.,(2018), „Cluster Head Relocation Based on Selfish Herd Hypothesis for Prolonging the Life Span of Wireless Sensor Networks”, Electronics, Vol.7, Issue 12, 403;
- [10] Popovic G, Djukanovic G, (2016) “Cluster formation techniques in hierarchial routing protocols for Wireless Sensor Networks”, Journal of Information Technology and Applications JITA, 1:35-4;
- [11] Radenkovic, B. Wietrzyk, (2006.), "Wireless Mobile Ad-hoc Sensor Networks for Very Large Scale Cattle Monitoring", In Proc. of Sixth International Workshop on Applications and Services in Wireless Networks (ASWN'06), Berlin, Germany, pp. 47-58;

- [12] Shahzad K., Oelmann M. (2014). "A comparative study of in-sensor processing vs. raw data transmission using zigbee, ble and wi-fi for data intensive monitoring applications", 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS), pp. 519–524;
- [13] „Smart Parking – A Silver Bullet for Parking Pain“, <https://inrix.com/blog/parkingsurvey>,
Pristup: 05.011.2023;
- [14] Zhang Z. et al, (2013), "A Street Parking System Using Wireless Sensor Networks", International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2013, Article ID 107975.