

SMANJENJE POTROŠNJE ENERGIJE WSN U FUNKCIJI FIZIČKOG SLOJA PAMETNOG PARKINGA NA PRIMJERU UŽEG GRADSKOG PODRUČJA GRADA SARAJEVO KAO DOPRINOS POLITICI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE/ REDUCTION OF WSN ENERGY CONSUMPTION AS A FUNCTION OF THE PHYSICAL LAYER OF SMART PARKING ON THE EXAMPLE OF THE INNER CITY AREA OF THE CITY OF SARAJEVO AS A CONTRIBUTION TO THE ENVIRONMENTAL PROTECTION POLICY

Izvorni naučni rad

Almir Ahmetpahić¹, Goran Popović²

¹BH Telecom, d.d. Sarajevo, Franca Lehara 7, Sarajevo, Bosna i Hercegovina,
ultra@bih.net.ba

²Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Aleja konzula – Meljanac bb, Travnik, Bosna
i Hercegovina,
email:goran.popovic@iu-travnik.com

Sažetak

Saobraćaj je jedan od glavnih uzročnika zagađenja životne sredine u užim gradskim područjima, pogotovo većih gradova kao što je Sarajevo. Strategija smanjenja emisije štetnih gasova u Federaciji BiH oslanja se isključivo na smanjenje starosti vozila u saobraćaju. Međutim, moguće je poduzeti i dodatne aktivnosti kako bi se postojeće stanje popravilo. U ovom radu predlažemo algoritam za uštedu energije u bežičnim senzorskim mrežama koje se koriste za prenos podataka u sistemima pametnih parkinga. Potraga za parking mjestom predstavlja značajan udio u vremenu koji vozači potroše prilikom kretanja vozila kroz gradska jezgra. Pametni parkinzi daju nemjerljiv doprinos ublažavanju negativnih efekata ove aktivnosti na emisiju štetnih gasova. Optimizacija potrošnje energije elemenata WSN kao kičme sistema je jedan od najvažnijih zadataka prilikom implementacije sistema. Pokazaćemo u radu da predloženi algoritam tome daje značajan doprinos.

Ključne riječi: LWSN, Pametni parking, Ulični parkinzi, Ušteda energije, WSN

Abstract

Traffic is one of the main causes of environmental pollution in urban areas, especially larger cities such as Sarajevo. The strategy for reducing the emission of harmful gases in the Federation of Bosnia and Herzegovina relies exclusively on reducing the age of vehicles in traffic. However, it is possible to undertake additional activities in order to improve the existing situation. In this paper, we propose an algorithm for energy saving in wireless sensor networks used for data transmission in smart parking systems. The search for a parking space represents a significant part of the time that drivers spend when moving their vehicle through the city center. Smart parking lots make an immeasurable contribution to mitigating the negative effects of this activity on the emission of harmful gases. Optimizing the energy consumption of WSN elements as the backbone of the system is one of the most important tasks when implementing the system. We will show in the paper that the proposed algorithm makes a significant contribution to that.

Keywords: LWSN, Smart parking, Street parkings, Energy saving, WSN

1. Uvod

Drumski saobraćaj je danas jedan od najvećih uzročnika onečišćavanja životne sredine, pogotovo u većim gradskim sredinama, gdje je po nekim procjenama njegov uticaj na zagađenje vazduha čak 60%. Na globalnom nivou ovom problem se pristupa strateški, na način da se ograniče ili u potpunosti eliminišu uzroci zagađenja uvođenjem novih čistih tehnologija. Razvoj motora koji koriste bezolovna goriva i uvođenje evropskih ekoloških normi za motorna vozila samo su neke od aktivnosti koje se poduzimaju u tom cilju. Strategija smanjenja emisije štetnih gasova u Federaciji BiH u određenoj mjeri prati ove trendove pa se oslanja na projekciju smanjenja starosti motornih vozila koja se koriste u saobraćaju, ali na tome se i završava. Međutim, moguće je pored toga preduzeti i dodatne mjere koje značajno mogu doprinijeti popravljaju stanja.

Potruga za parking mjestom u centrima većih gradova, pored toga što je frustrirajuća aktivnost za vozača (*“Smart Parking Solutions” 2021*), učestvujući pri tome i u povećanju saobraćajne gužve, ima uticaj i na nepotrebno povećanje zagađenja koje nije zanemarljivo u ukupnoj vrijednosti. Neka istraživanja tvrde da čovjek u toku svog života, u prosjeku, provede kumulativno godinu dana tragajući za parking mjestom kako navode *Ahmetspahić A. i Popović G. (2023)*. Jednostavnom matematikom može se doći do rezultata koji ukazuju na efekte zagađenja koja se pri tome dešavaju. Istraživanje provedeno u 30 gradova u UK, USA i Njemačkoj pokazalo je da cijena koja se plaća za izgubljeno vrijeme, utrošeno gorivo i emisiju štetnih gasova prilikom traganja za parkingom iznosi oko 200 milijardi \$ na godišnjem nivou. Istraživanje koje je izvršio IBM je ukazalo na činjenicu da u Madridu i Pekingu u velikim urbanim sredinama vozači provedu svakodnevno oko 40 minuta tražeći mjesto za parkiranje (*“Smart Parking – A Silver” 2017*).

Zbog toga je neophodno preduzeti sve mjere kako bi se upravljanje raspoloživim parking prostorom učinilo što efikasnijim a njegovo iskorištenje optimizovalo te tako maksimalno pojednostavila i ubrzala potraga za parking mjestom. Koncept pametnih gradova kao jedan od svojih najvažnijih segmenata podrazumijeva implementaciju savremenih tehnologija u upravljanje ovim procesom. S obzirom da je broj zatvorenih parking u gradovima uvijek nedovoljan da zadovolji potrebe vozača, ulični parkinzi se neminovno nameću kao alternativa koja može, u određenoj mjeri, da nadomjesti njihov nedostatak. Upravljanje zatvorenim parkinzima je tehnički jednostavno rješiv problem, imajući u vidu da je ulaz i izlaz o ove prostore jednostavno nadzirati pa akvizicija i dostavljanje relevantnih informacija ne predstavlja teškoću. Upravljanje uličnim parkinzima je međutim daleko složenije. Kako bi se uspostavio centralizovan nadzor nad čitavim gradskim sistemom uličnih parkinga neophodno je raspolagati infrastrukturom koja će omogućiti dostavljanje podataka sa lica mjesta u realnom vremenu. Ulična parking mjesta je veoma teško i potpuno neisplativo umrežavati žičnim putem pa se bežične senzorske mreže WSN nameću kao optimalno rješenje za fizički sloj infrastrukture arhitekture sistema pametnih uličnih parkinga, kako zbog male potrošnje i fizičkih dimenzija, tako i niske cijene i jednostavne izgradnje kako navode *Zhang Z. et al. (2013)*.

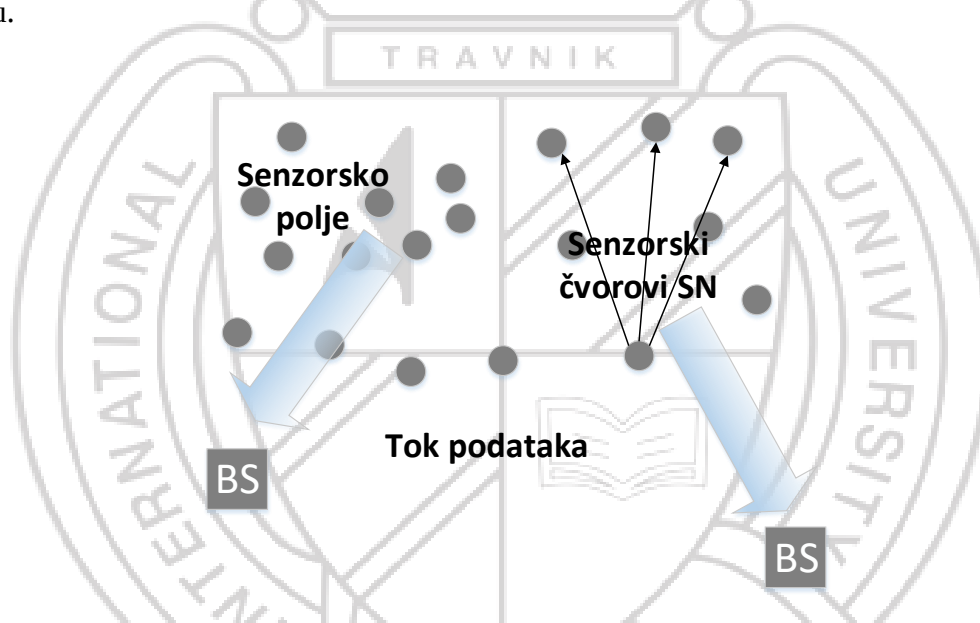
Ovaj rad će prezentovati dio rezultata istraživanja autora koje je bilo motivisano iznalaženjem algoritma rutiranja podataka u WSN koja bi se koristila u sistemu pametnih parkinga sa fokusom na uštedu energije autonomnog baterijskog napajanja u sistemu. Rezultati koji su dobijeni softverskom simulacijom originalnog algoritma posredno ukazuju i na doprinos implementacije predloženog rješenja zaštiti životne sredine kroz efikasniji sistem upravljanja

sistemom pametnih uličnih parkinga te skraćanje vremena koje vozači potroše na potragu za slobodnim parking mjestom.

Simulacija je izvršena nad oglednim primjerom jednog kvarta u užem gradskom području Grada Sarajevo. Kao testna podloga iskorištena je realna situacija na terenu.

2. Linearne bežične senzorske mreže LWSN

Topologija WSN zavisi od namjene mreže i od konfiguracije terena na kome je mreža implementirana. Na Slici 1 prikazan je princip rada WSN. Prikupljene informacije o okruženju prenose se kombinacijom međusobne komunikacije senzorskih čvorova i uređaja višeg komunikacionog nivoa koje nazivamo bazne stanice ili sinkovi. Bazne stanice predstavljaju odredište svih paketa kojima se prenose podaci sa senzora i omogućavaju dvosmjernu komunikaciju krajnjeg korisnika mreže sa svim senzorskim čvorovima mreže kako se definiše u *Radenkovic, B. i Wietrzyk K. (2006.)*. Dvosmjernu komunikaciju čini prijem podataka prikupljenih od SN, i zadavanje upita ili prenos upravljačkih i drugih podataka u suprotnom smjeru.



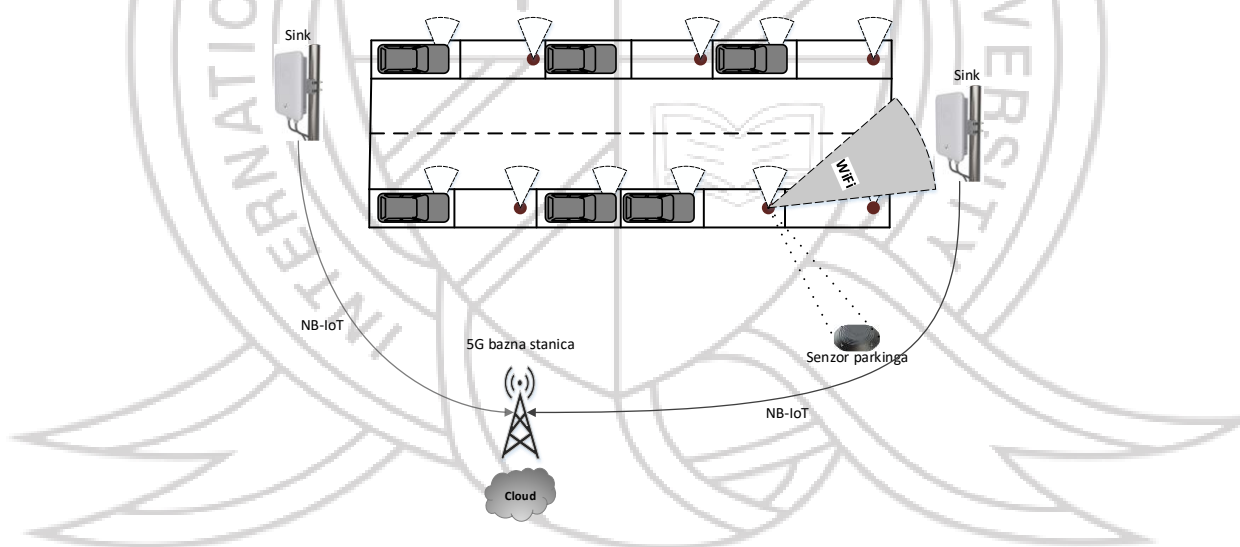
Slika 1. Bežična senzorska mreža WSN

BS predstavljaju znatno složenije uređaje od SN, većih su dimenzija i imaju veće mogućnosti obrade podataka i komunikacije. Osim bežičnog interfejsa za potrebe komunikacije sa senzorskim čvorovima, BS posjeduju i interfejse za potrebe umrežavanja sa spoljnom telekomunikacionom infrastrukturom. BS obično imaju stabilno napajanje pa je potrebno teret potrošnje energije prebaciti što je moguće više na njih ako je to moguće. Pored SN i BS u mreži mogu postojati i različiti čvorovi međunivoa, relejni čvorovi, vođe grupa različitih nivoa itd. Ovi senzorski čvorovi mogu imati neke specifičnosti a mogu biti i klasični elementi sa stalnim ili privremenim zaduženjima prilikom rutiranja podataka u WSN. U čitavom nizu primjena zahtijeva se linearna topologija bežične senzorske mreže LWSN kao jedna od posebnih klasa WSN. U ovim mrežama, senzorski čvorovi su distribuirani u linearnoj ili semilinearnoj formi, gotovo jednodimenzionalno. Senzori koji se nalaze bliže sinku, i češće imaju ulogu relejnih čvorova, prenose daleko više podataka prema odredištu nego udaljeni čvorovi te predstavljaju usko grlo mreže za prenos podataka. Nejednaka opterećenost čvorova dovodi do neizbalansirane potrošnje energije. Što su bliži sinku, čvorovi brže crpe svoje energetske

rezerve zato što se količina podataka koje senzor prosleđuje u LWSN značajno povećava sa smanjenjem udaljenosti senzora od sinka kaako navode *Noori M. i Ardakani M. (2008)* pa je potrošnja energije u mreži u najvećoj mjeri zavisna od pozicija senzorskih čvorova i izbora algoritma za rutiranje podataka između njih. Baterije u senzorima nije jednostavno zamijeniti. Ta aktivnost je skupa i obično fizički narušava mjesto ugradnje senzora u asfaltnu podlogu. Zbog toga je neophodno na neki način uravnotežiti potrošnju energije u mreži kako bi se maksimizirao životni vijek mreže, što je veoma izazovan problem.

3. Ulični pametni i primjena LWSN na fizičkom nivou mreže

Ulični pametni parking je po svojoj konfiguraciji tipična linerana bežična senzorska mreža LWSN. Senzorski čvorovi, zavisno od tipa, na neki način detektuju prisustvo vozila ili slobodno mjesto na parking mjestu na kom su montirani. Primjenom neke od tehnologija malog dometa podaci sa lica mjesta se dostavljaju sinku. Sinkovi su raspoređeni duž prostora namijenjenog za ulično parkiranje na način koji će omogućiti najefikasniju akviziciju podataka. Komunikacija između čvorova i sinka odvija se po nekom od algoritama za rutiranje. Cilj ovog rada je da se izabere algoritam koji će omogućiti optimalnu potrošnju energije u mreži. Sinkovi podatke dostavljaju javnoj mobilnoj mreži i pošto imaju stabilno električno napajanje njihova potrošnja nije problem kojim ćemo se ovdje baviti. Kroz javnu mobilnu mrežu i *cloud* sistem podaci se šalju do konačnog odredišta, bilo da je to centar za nadzor i upravljanje parkingom ili krajnji korisnici koji na svojim pametnim telefonima dobijaju informacija koje su relevantne za parkiranje.



Slika 2. Sistem linearne WSN preslikan na pametne ulične parkinge

Kada modul prestane sa radom, ne prestaje samo njegovo prikupljanje podataka, nego mreža gubi raspoloživost modula koji dalje prosleđuje (rutira) podatke. Stoga je od izuzetne važnosti sagledati problem energetske efikasnosti sa tačke gledišta svih detalja koji se tiču kako projektovanja modula tako i rada cijele mreže. Najefikasniji način za produženje životnog vijeka mreže je dizajn odgovarajućih algoritama koji će rutiranje podataka u mreži učiniti optimalnim u smislu minimalne potrošnje energije. U ovom radu predložićemo originalni algoritam za rutiranje podataka i njegove performanse uporediti sa tri postojeća algoritma:

- Direktno rutiranje do sinka, podrazumijeva direktnan prenos podataka od svakog čvora do pripadajuće BS bez posrednika kako navode *Popovic G. i Djukanovic G. (2016)*.
- LEACH algoritam gdje je čitav proces podijeljen na runde i epohe tako da se u svakoj rundi bira drugi čvorovi koji će u svojim klasterima ponijeti teret relejnih čvorova kao što je prikazano u *Popovic. G. et al. (2018)*.
- ACO algoritam gdje je rutiranje podataka u mreži inspirisano kretanjem jedinki mrava prilikom potrage za izvorom hrane kako je opisano u *Dukanović G., Popović G. (2021)*.

4. REDIL algoritam

Ovdje predlažemo originalni algoritam koji smo nazvali REDIL (Reduced Energy Dissipation In LWSN). Algoritam je osmišljen tako da protok podataka od svakog senzorskog čvora do sinka, duž linearne senzorske mreže ide preko određenog broja relejnih čvorova. Relejni čvorovi se za svaki ishodišni čvor biraju u svakoj rundi na osnovu tri postavljena kriterijuma čiji se uticaj određuje preko odgovarajućih težinskih koeficijenata. Optimalan broj hopova na putanji računa se prema prijedlogu *Bhardwaj M. et al. (2001)* 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. Ukupna energija potrebna za prosleđivanje poruke preko relejnih čvorova je minimalna ako su dužine svih hopova jednake i iznose tačno d/K_{opt} što znači da je optimalno da se tačno $K_{opt} - 1$ senzorskih čvorova koriste kao releji od ishodišnog čvora do sinka i da su postavljeni na jednake udaljenosti d/K_{opt} . U realnim LWSN obično nije moguće pronaći ovakvu optimalnu rutu pa se teži određenim aproksimacijama. U svakom koraku, prilikom izbora relejnog čvora na kome se određeni hop završava računa se fitness funkcija $f(s)$ prema izrazu:

$$f(s) = \alpha E_p + \beta \frac{1}{d_{c,s}} + \gamma \frac{1}{d_{i,c}} \quad (3)$$

gdje je E_p trenutna preostala energija čvora koji je kandidat za relejni čvor, $d_{i,c}$ je udaljenost od kandidata za relejni čvor do slijedeće destinacije a $d_{c,s}$ je udaljenost od ishodišnog čvora do potencijalnog relejnog čvora. Koeficijenti α , β i γ određuju težinsku važnost navedenih parametara respektivno.

5. Eksperimentalno okruženje i parametri sistema

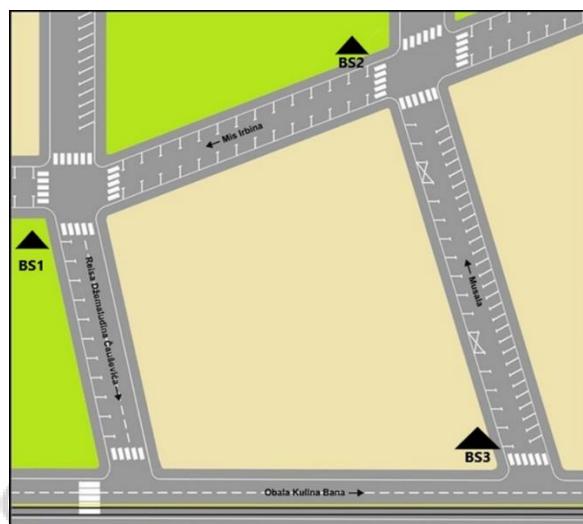
Za testiranje performansi predloženog algoritma iskorištena je konkretna situacija terena postojećih uličnih parkinga na području užeg gradskog područja Grada Sarajeva. Segmenti

parkinga locirani su u ulicama: Musala, Mis Irbina i reisa Džemaludina Čauševića. Na Slici 3 su crvenom linijom označeni segmenti navedenih ulica obuhvaćenih uličnim parking mjestima koje posmatramo u analizi. Ovaj gradski kvart je izabran zbog svoje pozicije u centru grada i velikog broja državnih ustanova u obuhvatu kvarta ili neposrednoj blizini, što za posljedicu ima veoma veliku potrebu za parking mjestima. Nekoliko zatvorenih parkinga u bližem okruženju uglavnom mogu zadovoljiti potrebe za parkiranjem u centru ali blizina predmetnih uličnih parking mjesta značajnim institucijama koje imaju veliki broj zaposlenih radnika ih čini izuzetno značajnim u sistemu javnih parkinga u gradu. Na Slici 4 je šema uličnih parking mjesta u posmatranom obuhvatu sa ucrtanim parking mjestima. Imajući u vidu jednosmjerni karakter dijelova ulica Musala, Mis Irbina i reisa Džemaludina Čauševića koje analiziramo na slici je strelicama prikazan i dozvoljeni smijer kretanja vozila. Kružni karakter kretanja u posmatranom obuhvatu olakšava potragu za slobodnim parking mjestom pa je od velike važnosti sistem parkinga prilagoditi konceptu pametnog parkiranja a rutiranje podataka organizovati na način koji će osigurati minimalnu potrošnju energije u mreži.



Slika 3. Eksperimentalno okruženje

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.



Slika 4. Parking mjesta na posmatranom obuhvatu sa lokacijama baznih stanica

Uzimamo da je uskladištena energija u svakoj bateriji 1 J a da se svakim transferom prenosa 2000 bajta podataka. za vrijednosti koeficijenata izabrali smo da su $\alpha=0.4$, $\beta=0.3$, $\gamma=0.3$, pri čemu je ispoštovan uslov $\alpha+\beta+\gamma=1$. Za analizu je iskorišćen energetske model opisan u *Popovic, G. et al. (2018)*. Izvršeno je poređenje predloženog algoritma sa navedenim klasičnim algoritmima za rutiranje u pogledu životnog vijeka mreže. Bazne stanice su postavljene na jednom od krajeva svake ulice u obuhvatu kako bi se osigurao da se nalaze u dometu svakog od senzora s obzirom na ograničenja bežične tehnologije koja se koristi.

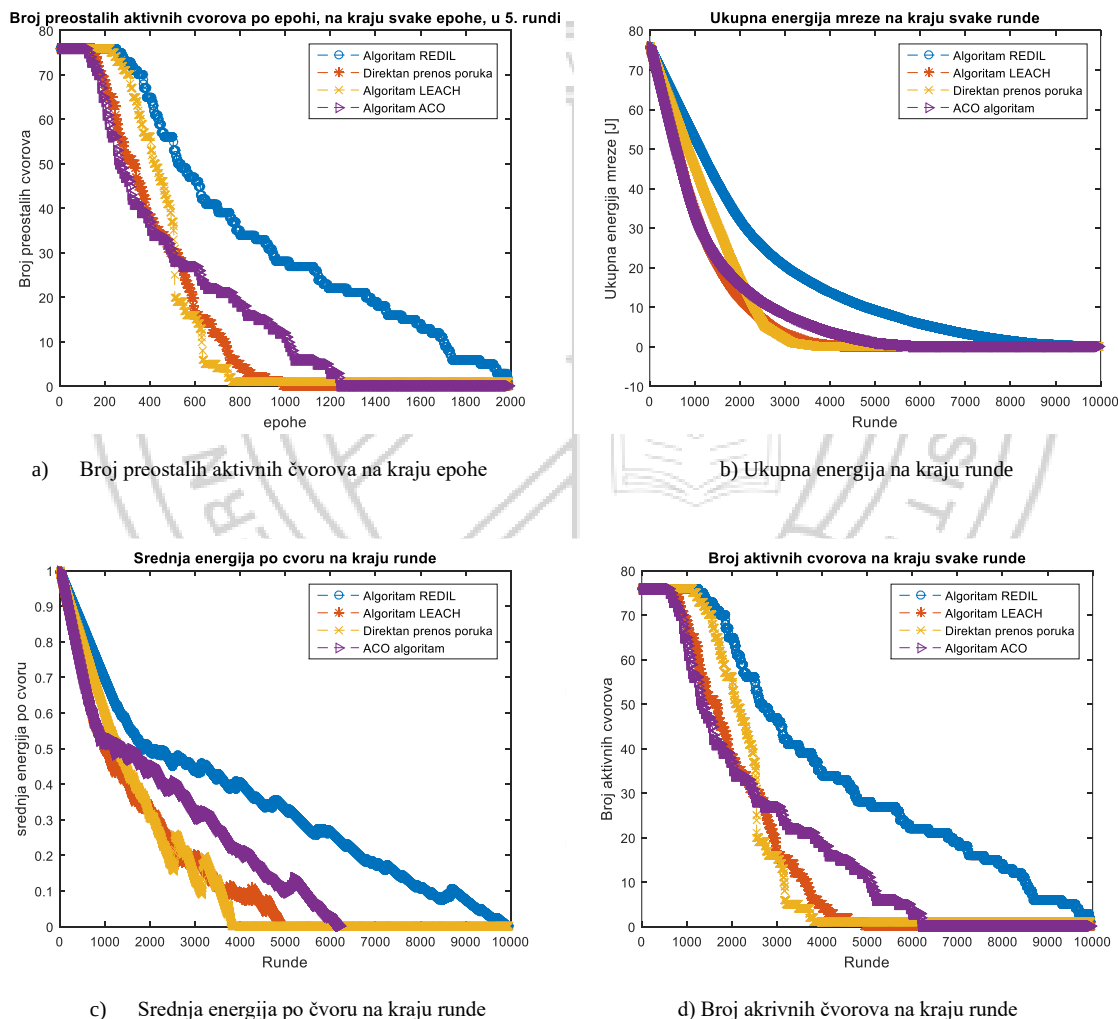
6. Rezultati simulacije

Autori su razvili originalne programske kodove za predloženi algoritam kao i za algoritme koji su iskorišćeni za poređenje koristeći MATLAB R2015a i nakon izvršenih simulacija u predloženom eksperimentalnom okruženju dobili rezultate koji se ovdje prezentuju. Predloženi REDIL algoritam poređen je sa direktnim prenosom poruka, LEACH i ACO algoritmom. Sa Slike 5 može se zaključiti slijedeće: Direktan prenos poruka i ACO algoritam se u početku ponašaju slično te u oba slučaja do isključenja prvog senzora dolazi 2 puta brže nego što je to slučaj kod REDIL algoritma. Nakon toga ACO algoritam uzrokuje nešto brže opadanje energije od direktnog ali nakon otprilike polovine vremena do potpunog gašenja mreže ovaj odnos se mijenja u korist ACO. Algoritam LEACH, mada nije optimizovan za linearne WSN, u početku rada mreže pokazuje bolje performanse u odnosu na direktan prenos poruka i ACO da bi se taj odnos pri kraju aktivnosti mreže izmijenio na njegovu štetu. Predloženi algoritam kako se može vidjeti sa predloženih dijagrama, pokazuje značajne prednosti u svim fazama rada mreže. Prvi senzor kod ACO i direktnog prenosa se gasi već oko 200-te runde, u slučaju LEACH oko 300-te a REDIL obezbijuje sve aktivne senzore do 500 rundi a potom broj aktivnih senzora daleko sporije opada nego kod alternativnih predloženih rješenja. Poslednji živi senzor u predloženom rješenju se gasi nakon 2000 rundi, za ACO na 1250 a za ostale algoritme daleko prije, 800 rundi za LEACH i 1000 za direktan prenos poruka.

Simulacija je rađena pretpostavljajući da je početna energija čvorova 1 J dok su u stvarnosti ove energije tipično 32 J, što u proporcionalnom odnosu ne mijenja tačnost rezultata. Životni vijek u ovoj mreži, s obzirom na jednaku važnost svakog parking mjesta u sistemu, se definiše

kao vrijeme do isključenja prvog senzora u sistemu pa su i u tom pogledu performanse REDIL algoritma bolje u odnosu na ostale.

Ključno je napomenuti da su rezultati simulacije bazirani na slučaju kada su svi senzori stalno u aktivnom stanju i šalju poruke u svakoj rundi, svake epohe. U realnom stanju senzori šalju poruke samo u rundama kada detektuju promjenu stanja tj. parkiranje ili isparkiravanje vozila na pripadajućem parking mjestu. Ovakav pristup naravno ne odslikava pravo stanje na terenu pa je trošenje energije svakog od čvorova daleko brže a životni vijek mreže daleko kraći nego što je to u stvarnosti. S obzirom da mreža mora raditi u realnom vremenu a da je proces parkiranja i isparkiravanja vozila slučajnog karaktera nije moguće simulaciju vršiti u odnosu na stvarno stanje. Međutim, prezentovani rezultati koji su dobijeni pod pretpostavkom maksimalnog energetskog opterećenja čvorova i činjenica da je raspodjela promjena stanja na svim parking mjestima uniformna, pokazuju prednosti REDIL algoritma i u scenariju koji podrazumijeva realnu situaciju na terenu.



Slika 5. Rezultati simulacije

7. 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. Performanse algoritma su testirane na primjeru jednog kvarta u užem gradskom području Grada Sarajevo i pokazane su njegove prednosti u odnosu na alternativna rješenja. Optimizacija rutiranja u LWSN ne samo da smanjuje potrošnju energije u mreži i tako produžava njen životni vijek, već i doprinosi efikasnosti sistema parkiranja na gradskim ulicama pa tako smanjuje i vrijeme potrebno za pronalaženje slobodnog parking mjesta a posredno i zagađenje vazduha u centru grada.

LITERATURA

- [1] Ahmetspahić A., Popović G., (2023), „Petrošnja energije u bežičnim senzorskim mrežama u sistemu pametnih uličnih parkinga“, Proceedings of IUT, Godina VII, Broj: 14
- [2] 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
- [3] 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
- [4] Noori M., Ardakani M. (2008). ”Characterizing the traffic distribution in linear wireless sensor networks”, IEEE Communications Letters, vol. 12, no. 8, pp. 554-556.
- [5] 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
- [6] Popovic G, Djukanovic G, (2016) “Cluster formation techniques in hierarchial routing protocols for Wireless Sensor Networks”, Journal of Information Technology and Applications JITA, 1:35-41
- [7] 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
- [8] 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
- [9] „Smart Parking – A Silver Bullet for Parking Pain“, <https://inrix.com/blog/parkingsurvey>, Pristup: 05.011.2023.
- [10] Zhang Z. et al, (2013), “A Street Parking System Using Wireless Sensor Networks”, International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2013, Article ID 107975.