

Simulator solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora orijentisan na optimizaciju potrošnje i performansi

elaborat tehničkog rešenja

kategorija M85 – softver

projekat MPNTR TR32043 - Razvoj i modelovanje energetski efikasnih, adaptibilnih, višeprosesorskih i višesenzorskih elektronskih sistema male snage

Strahinja Janković, Ivan Popović, Dragomir El Mezeni, Ilija Radovanović, Lazar Saranovac
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

Sažetak

U tehničkom rešenju je opisan novi softver koji omogućava razvoj i verifikaciju algoritama za optimizaciju potrošnje i performansi kod solarno napajanih bežičnih senzorskih čvorova. Realizovan je model solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora u kojem je moguće podesiti parametre solarnog panela, baterije i potrošača, odnosno programskog posla koji se izvršava na bežičnom senzorskom čvoru. Omogućeno je učitavanje i korišćenje izmerenih podataka osunčanosti, kao i drugih merenja koja mogu biti od koristi za razvoj algoritama, poput temperature vazduha, vlažnosti i vazdušnog pritiska, kao i vremenske prognoze. Realizovan je jednostavan interfejs za implementaciju algoritama za predviđanje osunčanosti kao i algoritama koji na osnovu predviđanja osunčanosti vrše optimizaciju potrošnje energije. Softver je verifikovan u Laboratoriji za integrisane računarske sisteme Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

1. Uvod

Tehničko rešenje koje je predstavljeno u ovom elaboratu odnosi se na oblast elektrotehnike, a njime se rešava problem nedostatka kontrolisanog okruženja za razvoj i verifikaciju algoritama za optimizaciju potrošnje i performansi kod solarno napajanih bežičnih senzorskih čvorova.

Razvijeni simulator pruža jednostavan interfejs za razvoj novih algoritama i omogućava ponovljivost kod verifikacije razvijenih algoritama, kao i objektivno poređenje više algoritama po različitim kriterijumima.

2. Stanje rešenosti problema u svetu

Senzorski čvorovi povezani u senzorske mreže i Internet stvari su sve više rasprostranjeni. Uloga senzorskih čvorova jeste da interfejsuju raznovrsne senzore, od inicijalizacije i kalibracije, preko prikupljanja i obrade podataka sa senzora. Senzorski čvorovi koji su postavljeni u prirodi, na udaljenim ili teško pristupačnim lokacijama su baterijski napajani. Razvijene su različite tehnike za optimizaciju potrošnje čiji je cilj da omoguće što duži rad senzorskog čvora dok se ne isprazni baterija. Međutim, koliko god da su tehnike za optimizaciju potrošnje efikasne, usled konačnog kapaciteta baterije u nekom trenutku će se baterija isprazniti.

Prikupljanje energije iz okoline predstavlja potencijalno rešenje problema konačnog kapaciteta baterija. Dostupni su različiti izvori energije iz okoline poput solarne energija, energije vetra, RF zračenja, vibracija. Svi izvori energije iz okoline mogu da se okarakterišu po predvidljivosti i kontrolabilnosti. Na primer, solarne energije može da se predvidi, na osnovu dnevnog ciklusa, ali ne može da se kontroliše.

Ukoliko senzorski čvor ima mogućnost dopunjavanja baterije energijom iz okoline, cilj optimizacije se menja iz produžavanja operativnosti senzorskog čvora na maksimalno iskorišćenje dostupne energije a da se pritom ne ugrozi operativnost sistema. Da bi se taj cilj postigao, pored informacije o trenutnoj energiji u bateriji, potrebna je informacija o energiji će biti dostupna u budućnosti kao i odgovarajući algoritam koji će na osnovu tih informacija vršiti raspoređivanje energije.

Dostupne su različite tehnike za predviđanje solarne energije koja će biti dostupna u budućnosti [1-4]. Mogu da se podele u dve grupe, tehnike koje se koriste podatke iz prethodnih vremenskih intervala [1-2] i tehnike koje koriste podatke iz vremenske prognoze [3-4]. Za prvu grupu su potrebni samo podaci o prikupljenoj energiji u prethodnim vremenskim intervalima, dok druga grupa zahteva i podatke o vremenskoj prognozi oblačnosti. Podaci od tehnike za predviđanje energije koja će biti dostupna u budućnosti su neophodni za adekvatan rad algoritma za raspoređivanje dostupne energije. Različiti algoritmi su razvijeni [5-6] koji koriste podatke o trenutno dostupnoj energiji u bateriji i energiji koja će biti dostupna u budućnosti da podese performanse sistema tako da se postigne maksimalno iskorišćenje dostupne energije.

Dostupno je više simulatora bežičnih senzorskih čvorova [7-11]. Postojeći simulatori su uglavnom fokusirani na simulaciju interakcije između pojedinačnih senzorskih čvorova u okviru senzorske mreže. Određeni simulatori [9-11] imaju podršku i za vođenje računa o energetskom bilansu prilikom simuliranja bežičnih senzorskih čvorova, gde je moguće pratiti stanje dostupne energije u baterijama, kao i detektovati prestanak rada čvorova usled ispražnjenosti baterije. Posebno, simulator predstavljen u [11] ima podršku za simulaciju punjenja baterije energijom iz okoline, ali je prvenstveno fokusiran na analizu performansi algoritama za rutiranje i MAC sloj.

Realizovani simulator omogućava simulaciju solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora, sa posebnim fokusom na potrošnju i performanse. Podržan je razvoj tehnika za predviđanje dostupne solarne energije u budućnosti i na osnovu prethodnih merenja kao i na osnovu podataka vremenske prognoze, kao i razvoj algoritama za raspoređivanje energije u solarno napajanim bežičnim senzorskim čvorovima.

Reference:

- [1] A. Kansal, J. Hsu, S. Zahedi, and M. B. Srivastava, "Power Management in Energy Harvesting Sensor Networks," *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.*, vol. 6, no. 4, Sep. 2007, doi: 10.1145/1274858.1274870.
- [2] J. R. Piorno, C. Bergonzini, D. Atienza, and T. S. Rosing, "Prediction and management in energy harvested wireless sensor nodes," in 2009 1st International Conference on Wireless

Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace Electronic Systems Technology, 2009, pp. 6–10, doi: 10.1109/WIRELESSVITAE.2009.5172412.

[3] N. Sharma, J. Gummeson, D. Irwin, and P. Shenoy, “Cloudy Computing: Leveraging Weather Forecasts in Energy Harvesting Sensor Systems,” in 2010 7th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), 2010, pp. 1–9, doi: 10.1109/SECON.2010.5508260.

[4] S. Janković, D. El Mezeni, and L. Saranovac, “Improving energy usage in energy harvesting wireless sensor nodes using weather forecast”, Telfor Journal, vol. 10, no. 1, pp. 38–43, 2018. DOI: 10.5937/telfor1801038J

[5] F. A. Aoudia, M. Gautier, and O. Berder, “Fuzzy power management for energy harvesting Wireless Sensor Nodes,” in 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kuala Lumpur, Malaysia, 2016, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICC.2016.7510767.

[6] F. Ait Aoudia, M. Gautier, M. Magno, O. Berder, and L. Benini, “Leveraging Energy Harvesting and Wake-Up Receivers for Long-Term Wireless Sensor Networks,” Sensors, vol. 18, no. 5, p. 1578, May 2018, doi: 10.3390/s18051578.

[7] H. Sundani et al., “Wireless Sensor Network Simulators: A Survey and Comparisons,” International Journal Of Computer Networks, vol. 2, Jan. 2011.

[8] F. Engmann, F. A. Katsriku, J.-D. Abdulai, K. S. Adu-Manu, and F. K. Banaseka, “Prolonging the Lifetime of Wireless Sensor Networks: A Review of Current Techniques,” Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2018, p. 8035065, Aug. 2018, doi: 10.1155/2018/8035065.

[9] H. Wu, S. Nabar, and R. Poovendran, “An energy framework for the network simulator 3 (ns-3),” in Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, Barcelona, Spain, March 2011.

[10] I. Minakov and R. Passerone, “PASES: an energy-aware design space exploration framework for wireless sensor networks,” Journal of Systems Architecture, vol. 59, no. 8, pp. 626–642, 2013.

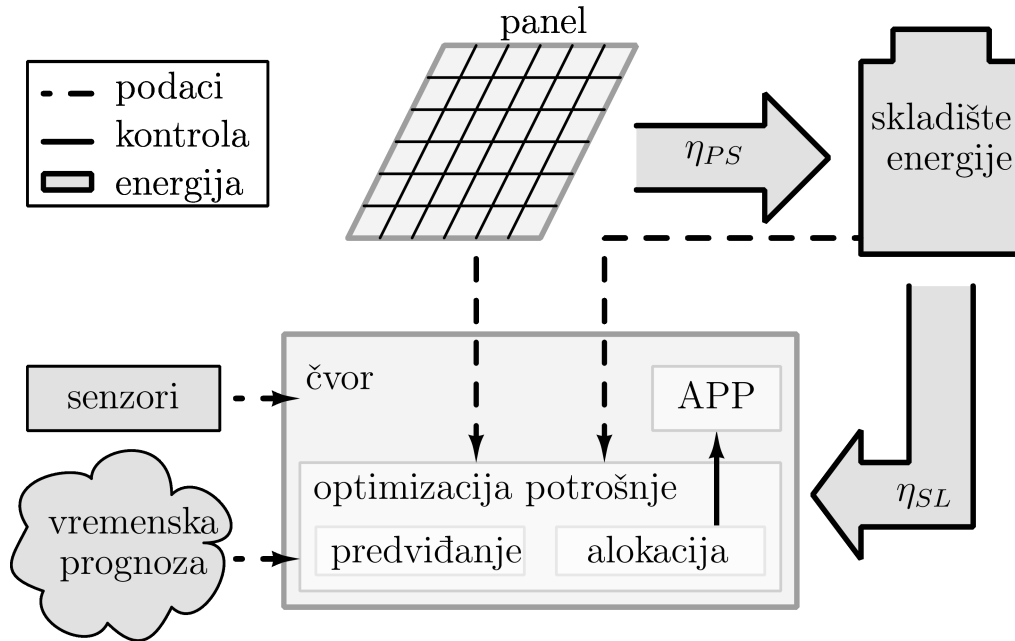
[11] J. M. Yi, M. J. Kang, and D. K. Noh, “SolarCastalia: Solar Energy Harvesting Wireless Sensor Network Simulator,” International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 11, no. 6, p. 415174, Jun. 2015, doi: 10.1155/2015/415174.

3. Opis rešenja

U ovom rešenju predstavljen je simulator solarno napajanoj bežičnog senzorskog čvora. Modelovani su izvor energije, skladište energije i senzorski čvor koji troši energiju, na kojem se izvršava algoritam za optimizaciju i aplikativni programski posao. Simulator je realizovan u programskom jeziku Python pomoću modula Simpy za simulaciju diskretnih događaja.

3.1. Model solarno napajanoj bežičnog senzorskog čvora

Model solarno napajanoj bežičnog senzorskog čvora prikazan je na slici 1. Čvor se sastoji od izvora energije (solarni panel), skladišta energije (baterija ili superkondenzator), potrošača koji koristi energiju i algoritma za optimizaciju potrošnje i performansi koji integriše tehnike za predviđanje dostupne energije u budućnosti i algoritam za raspoređivanje dostupne energije sa tehnikama za optimizaciju potrošnje. Između izvora energije i skladišta energije, kao i između skladišta energije i potrošača postoje realni konvertori energije efikasnosti η_{PS} i η_{SL} .



Slika 1 – Model solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora

Izvor energije je solarni panel. Panel je modelovan pomoću površine A i efikasnosti konverzije solarne energije u električnu energiju η_{panel} . Za datu vrednost globalne solarne radijacije G koja pada na panel u vremenskom intervalu T , dobijena električna energija računa se kao

$$E_{panel} = \eta_{panel} \cdot A \cdot G \cdot T \quad (1)$$

Energija koja se prikuplja skladišti se u skladištu energije sa efikasnošću η_{PS} usled konverzija. Skladište energije se modeluje pomoću stanja napunjenosti E_{ES} , gde je maksimalni kapacitet $E_{ES,MAX}$. U realnom sistemu, na stanje napunjenosti utiče više faktora, poput temperature, intenziteta struje pražnjenja, starosti skladišta energije, kao i sopstveno pražnjenje koje je uvek prisutno. Model koji je korišćen u realizovanom simulatoru je uprošćen i ne uzima u obzir ove efekte, ali može da se proširi radi dobijanja preciznijih vrednosti.

Senzorski čvor koristi energiju iz skladišta energije sa efikasnošću η_{SL} usled konverzija. Potrošnja senzorskog čvora može da bude modelovana na nivou celine ili pojedinačnih delova čvora. Takođe, model potrošnje može da bude generisan na osnovu realnih merenja za konkretan senzorski čvor. Senzorski čvor u realizovanom simulatoru modelovan je tako da mu je prosečna potrošnja P_{ON} , kada je utilizacija procesora 100%, i P_{OFF} kada je u režimu smanjene potrošnje. Maksimalna utilizacija je ograničena na DC_{MAX} i u tom slučaju prosečna potrošnja je P_{MAX} , gde važi

$$P_{MAX} = DC_{MAX} \cdot P_{ON} + (1 - DC_{MAX}) \cdot P_{OFF} \quad (2)$$

Na senzorskom čvoru se, pored namenske aplikacije, izvršava i algoritam za optimizaciju potrošnje i performansi, koji se sastoji iz tehnike za predviđanje solarne energije koja će biti dostupna u budućnosti i algoritma za raspoređivanje energije. Algoritam za optimizaciju potrošnje i

performansi na raspolaganju ima podatke sa dostupnih senzora, vremenske prognoze, prikupljene energije od panela kao i trenutno stanje napunjenosti skladišta energije. Algoritam za raspoređivanje energije selektuje trenutni režim rada sistema u zavisnosti od dostupne energije i koristi različite tehnike za optimizaciju potrošnje energije.

3.2. Ulazni mereni podaci

Model solarnog panela koristi informacije o trenutnoj globalnoj solarnoj radijaciji. Razvijeni simulator podržava korišćenje podataka iz dva izvora: prikupljenih merenja sa sajta Republičkog hidrometeorološkog zavoda – Automatske meteorološke stanice¹ i iz PVGIS² baze podataka.

Za potrebe razvoja simulatora do sada su prikupljeni podaci o globalnoj solarnoj radijaciji u intervalu od godinu dana sa sajta Republičkog hidrometeorološkog zavoda – Automatska meteorološka stanica Košutnjak, i u intervalu od četiri meseca za Automatske meteorološke stanice Stara Planina, Pančevo, Tamnava, Čačak i Piroć. Automatske meteorološke stanice pružaju informacije o trenutnoj temperaturi vazduha, solarnoj radijaciji, vlažnosti vazduha, vazдушnom pritisku, i brzini i pravcu vetra. Podaci se ažuriraju na svakih 5 do 10 minuta, u zavisnosti od stanice.

PVGIS baza podataka nudi razne podatke o solarnoj radijaciji za ceo svet. Pored prosečnih mesečnih i dnevnih vrednosti solarne radijacije, dostupna su merenja solarne radijacije za period od 2005-2016. godine sa rezolucijom od sat vremena.

Iz oba izvora podaci o solarnoj radijaciji se koriste za računanje energije koju generiše solarni panel, dok ostali podaci preuzeti sa Automatskih meteoroloških stanica mogu da se koriste prilikom razvoja algoritma za optimizaciju potrošnje ili njegovih komponenti, radi poboljšanja krajnjeg rezultata.

3.3. Podaci o vremenskoj prognozi

Za razvoj i testiranje tehnika za predviđanje solarne radijacije koje koriste vremensku prognozu neophodni su podaci od solarnoj radijaciji za potpuno vedar dan i prognoza oblačnosti za određeni interval vremena. Oblačnost se izražava u procentima pokrivenosti neba oblacima, od 0%, što je potpuno vedro nebo, do 100%, što je potpuno oblačno nebo. Prognoza oblačnosti služi da moduliše vrednosti solarne radijacije za potpuno vedar dan, da bi se dobila prognoza globalne solarne radijacije.

Razvijeni simulator podržava dva načina za određivanje solarne radijacije za potpuno vedar dan: na osnovu podataka iz PVGIS i na osnovu modela vanzemaljskog sunčevog zračenja (*Extraterrestrial solar irradiance*)³. PVGIS nudi podatak o globalnoj solarnoj radijaciji za vedar dan po mesecima, kao i pojedinačnih komponenti direktne i difuzne radijacije, gde se onda u simulaciji za svaki dan određenog meseca koristi profil iz PVGIS. Što se tiče modela vanzemaljskog sunčevog zračenja, na osnovu modela je moguće za svaki trenutak izračunati solarnu radijaciju za vedar dan, kao i pojedinačnih komponenti direktne i difuzne radijacije pomoću Hottel⁴ i Liu-Jordan⁵ formula.

¹ <http://www.hidmet.gov.rs/latin/osmotreni/automatske.php>

² https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

³ J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar engineering of thermal processes. Wiley, 2013, ch. 2.

⁴ H. C. Hottel, "A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres", Solar Energy, vol. 18, no. 2, pp. 129–134, 1976. DOI: 10.1016/0038-092X(76)90045-1

⁵ B. Y. H. Liu and R. C. Jordan, "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation," Solar Energy, vol. 4, pp. 1–19, Jul 1960. DOI: 10.1016/0038-092X(60)90062-1

Podaci o prognozi oblačnosti prikupljeni su sa DarkSky⁶ servisa. Podaci su prikupljeni u intervalu od godinu dana za lokaciju Košutnjak i u intervalu od četiri meseca za lokacije Stara Planina, Pančevo, Tamnava, Čačak i Pirot. Servis DarkSky, pored oblačnosti, nudi prognozu u intervalu do 48 časova unapred različitih parametara: temperatura vazduha, vlažnost vazduha, vazdušni pritisak, količina padavina, itd.

3.4. Metrike za poređenje

U okviru razvijenog simulatora za poređenje razvijenih tehnika i algoritama sa referentnim implementirane su različite metode.

Za poređenje tehnika za predviđanje solarne radijacije dostupne su sledeće metrike: srednja apsolutna greška (*Mean Absolute Prediction Error* - MAPE) (3), srednje apsolutno odstupanje (*Mean Absolute Deviation Percent* - MADP) (4), normalizovana srednja kvadratna greška (*Normalized Root Mean Squared Error* - nRMSE) (5) i srednja greška uticaja (*Mean Bias Error* - MBE) (6). U jednačinama (3-6) vrednosti E^i i $\hat{E}^i$ su izmerena i predviđena vrednost solarne energije za interval i , respektivno.

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_i \left| \frac{E^i - \hat{E}^i}{E^i} \right| \quad (3)$$

$$MADP = 100 \cdot \frac{\sum_{M(i)} |E^{M(i)} - \hat{E}^{M(i)}|}{\sum_{M(i)} E^{M(i)}} \quad (4)$$

$$nRMSE = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (E^i - \hat{E}^i)^2}}{\frac{\sum_i E^i}{N}} \quad (5)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_i (\hat{E}^i - E^i) \quad (6)$$

MAPE metrika se često koristi za evaluaciju kvaliteta tehnika za predviđanje. Međutim, mana MAPE metrike je što kada je merena energija bliska nuli, npr. prilikom izlaska ili zalaska sunca, greška može da bude prilično velika što može da unese grešku u konačne rezultate. MADP metrika se koristi da odredi grešku u intervalu od M uzastopnih vremenskih intervala. MADP je robusnija metrika od MAPE pošto na nju ne utiču vrednosti kada je merena energija bliska nuli. Normalizovana varijanta srednje kvadratne greške se koristi da bi rezultati mogli da se porede sa tehnikama koje su testirane na drugim ulaznim podacima. MBE je jedina metrika koja uzima u obzir i znak greške predviđanja, pa može da ukaže na sveukupan trend grešaka predviđanja u smislu prebačaja i podbačaja.

Za poređenje algoritama za optimizaciju potrošnje i performansi, odnosno algoritama za raspoređivanje energije, omogućeno je praćenje stanja napunjenosti skladišta energije, prosečne potrošnje sistema u određenom vremenskom intervalu, kao i ukupnih performansi sistema u vidu prosečne utilizacije sistema.

⁶ <https://darksky.net/dev>

4. Verifikacija rešenja

Prikazani simulator verifikovan je na primeru solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora. Parametri senzorskog čvora su odabrani na sledeći način

Tabela 1 – Odrabrani parametri senzorskog čvora

<i>Parametar</i>	<i>Vrednost</i>
A	0.0033 m ²
η_{panel}	15%
η_{PS}	85%
$E_{ES,MAX}$	932 J
η_{SN}	95%
P_{ON}	60 mW
P_{OFF}	5 μW
DC_{MAX}	70%
DC_{MIN}	0.01%

Simulirane su tri različite tehnike za predviđanje solarne radijacije, EWMA [1], WCMA [2] i WF2LVL [4]. Rezultati poređenja tehnika po pitanju metrika greške predikcije za 150 dana na području Košutnjaka prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2 – Rezultati poređenja tehnika za predviđanje solarne radijacije

<i>metrika</i>	EWMA [1]	WCMA [2]	WF2LVL [4]
MAPE	39.44	33.82	30.02
MADP	30.30	26.46	17.05
nRMSE	58.47	44.28	48.64
MBE	2.44	-2.10	-21.72

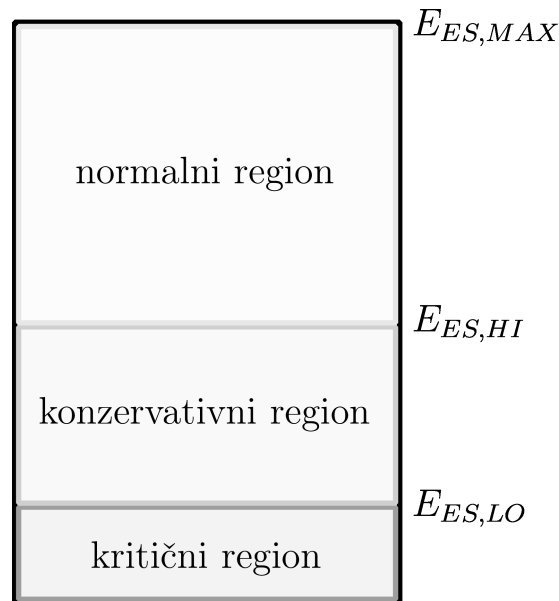
Za evaluaciju algoritma za optimizaciju potrošnje i performansi, implementiran je primer algoritma za raspoređivanje energije. Algoritam za raspoređivanje energije u zavisnosti od trenutnog stanja napunjenosti skladišta enegije radi u jednom od tri regiona (slika 2).

U normalnom regionu, kada je stanje napunjenosti veće od $E_{ES,HI} = 0.2E_{ES}$, performanse sistema se određuju na osnovu predviđanja energije koja će biti dostupna u budućnosti (7) tako da se sva energija koja pristiže iskoristi za rad sistema, uz uslov da utilizacija ne može biti veća od DC_{MAX} .

$$DC = \min \left\{ \frac{\eta_{PS} \eta_{SL} \hat{E}^t / T - P_{OFF}}{P_{ON} - P_{OFF}}, DC_{MAX} \right\} \quad (7)$$

U konzervativnom regionu se utilizacija sistema se podešava tako što se uzme 50% od vrednosti dobijene jednačinom (7), da bi se ostavila mogućnost skladište energije da se dopuni.

Ukoliko stanje napunjenosti padne ispod $E_{ES,LO} = 0.05 \cdot E_{ES,MAX}$, ulazi se u kritični region i utilizacija se postavlja na DC_{MIN} . Da bi se izašlo iz kritičnog regiona potrebno je da se stanje napunjenosti skladišta energije vrati na $E_{ES,HI}$.



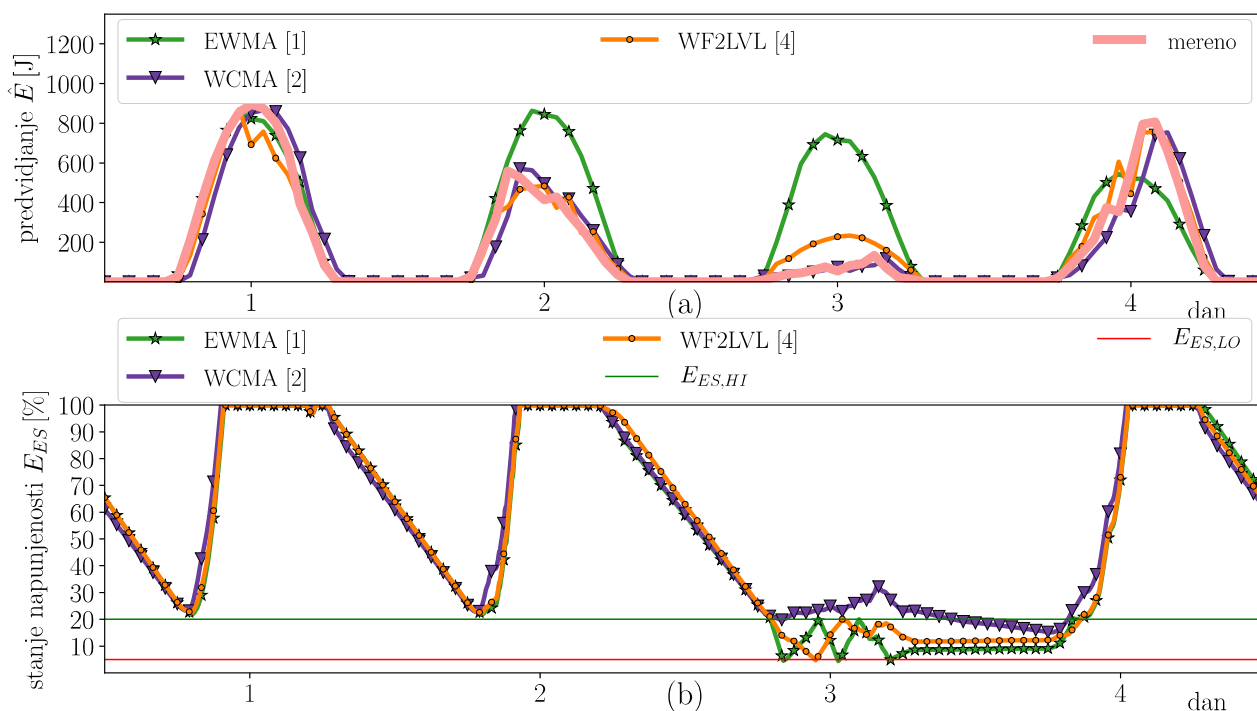
Slika 2 – Granične vrednosti stanja napunjenosti skladišta energije u primeru algoritma za raspodelu energije

Na slici 3 prikazan je izlaz simulatora za odabrana četiri dana, gde su prikazane vrednosti predviđanja odgovarajućih tehnika za predviđanje dostupne solarne energije u budućnosti, kao i stanje napunjenosti baterije za odgovarajuće dane.

U tabeli 3 prikazani su dobijene performanse sistema i količina vremena provedena u kritičnom regionu za svaku od tehnika za predviđanje solarne radijacije kada se koristi prikazani algoritam za raspoređivanje energije.

Tabela 3 – Postignute performanse korišćenjem odabranih tehnika i prikazanog algoritma za raspoređivanje energije

<i>metrika</i>	EWMA [1]	WCMA [2]	WF2LVL [4]
<i>Prosečna utilizacija [%]</i>	46.87	45.33	46.25
<i>Vreme provedeno u kritičnom regionu [h]</i>	85.5	0.0	34.8



Slika 3 – (a) Poređenje odabranih tehnika za predviđanje solarne radijacije; (b) Stanje napunjenosti skladišta energije pri korišćenju primera algoritma za optimizaciju energije

5. Zaključak

Realizovani simulator koji je prikazan u ovom tehničkom rešenju omogućava razvoj i testiranje algoritama za optimizaciju potrošnje i performansi solarno napajanih bežičnih senzorskih čvorova. Omogućen je razvoj i testiranje i tehnika za predviđanje dostupne solarne energije u budućnosti kao i algoritama za raspoređivanje energije, kao sastavnih delova algoritma za optimizaciju potrošnje i performansi. Pored implementiranog modela solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora moguć je jednostavan razvoj i integracija dodatnih modela.

RECENZIJA TEHNIČKOG REŠENJA

Simulator solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora orijentisan na optimizaciju potrošnje i performansi

Urađeno u okviru projekta MPNTR TR32043 – Razvoj i modelovanje energetski efikasnih, adaptibilnih, višeprocorskih i višesenzorskih elektronskih sistema male snage

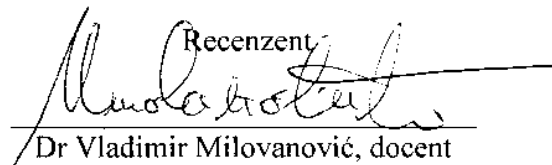
Predmet tehničkog rešenja se odnosi na simulator solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora. Predstavljeni simulator može da se koristi za razvoj i testiranje novih algoritama za optimizaciju potrošnje i performansi solarno napajanih bežičnih senzorskih čvorova. Postojeća rešenja koja se bave simulacijom bežičnih senzorskih čvorova ili ne podržavaju modelovanje potrošnje energije, ili pak ne implementiraju model prikupljanja energije iz okoline.

Realizacija: U okviru simulatora implementiran je model solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora koji se sastoji iz izvora energije (solarnog panela), skladišta energije (baterije ili superkondenzatora), potrošača koji koristi energiju i algoritma za optimizaciju potrošnje i performansi koji integriše tehnike za predviđanje dostupne solarne energije u budućnosti i algoritam za raspoređivanje dostupne energije sa tehnikama za optimizaciju potrošnje. U okviru simulatora mogu da se koriste merenja solarne radijacije i drugih atmosferskih parametara prikupljenih sa automatskih meteoroloških stanica Republičkog hidrometeorološkog zavoda, kao i podaci iz baza podataka dostupnih na internetu. Podržane su različite metrike za evaluaciju i ocenu kvaliteta samog algoritma optimizacije, kao i tehnika za predviđanje dostupne solarne energije u budućnosti.

Doprinos: Opisano rešenje je verifikovano na različitim postojećim tehnikama za predviđanje dostupne energije u budućnosti kao i za primer algoritma za raspoređivanje energije. Prikazani simulator nudi mogućnost jednostavnog proširenja modela solarno napajanog bežičnog senzorskog čvora, čime bi se dodatno proširila mogućnost primene.

Mišljenje: Na osnovu dostupne dokumentacije i uvidom u stanje u oblasti dajem mišljenje da je predmetno tehničko rešenje kategorije **M85 – softver**.

Kragujevac,
30. januar 2019. godine

Recenzent

Dr Vladimir Milovanović, docent
Univerzitet u Kragujevcu
Fakultet inženjerskih nauka

Рецензија техничког решења

1. Подаци о техничком решењу

- Назив техничког решења: Симулатор соларно напајаног бежичног сензорског чвора оријентисан на оптимизацију потрошње и перформанси
- Категорија техничког решења: M85 – софтвер
- Назив пројекта: Развој и моделовање енергетски ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских електронских система мале снаге
- Ознака пројекта: TP-32043
- Руководилац пројекта: др Горан Димић
- Организација: Институт Михајло Пупин
- Одговорно лице: Иван Поповић, e-mail: popovici@etf.bg.ac.rs
- Аутори: Страхиња Јанковић, Иван Поповић, Драгомир Ел Мезени, Илија Радовановић, Мазар Сарановац, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

2. Евалуација техничког решења

1. **Проблем који се решава:** Решава се проблем недостатка контролисаног окружења за развој и верификацију алгоритама за оптимизацију потрошње и перформанси код соларно напајаних бежичних сензорских чворова. Решење треба да пружи једноставан интерфејс за развој нових алгоритама и да омогући поновљивост код верификације већ развијених алгоритама, као и објективно поређење више алгоритама по различитим критеријумима.
2. **Стање решености истог проблема у свету:** У постојећим решењима фокус је углавном на симулацији интеракције између различитих сензорских чворова у сензорској мрежи, односно на развоју и оптимизацију протокола за комуникацију. Постоје решења у оквиру којих је моделована и потрошња појединачних чворова, као и стање напућености батерије, чиме је омогућено одређивање дужине трајања батерије, односно детектовати престанак рада сензорског чвора услед испразности батерије, као и развој алгоритама за оптимизацију потрошње и перформанси чији је циљ да продуже време рада сензорског чвора док се не испразни батерија. Међутим, недостају решења која поред потрошње појединачних делова система моделују и допринос извор енергије из околине, јер се са присуством извора енергије циљ алгорита за оптимизацију потрошње и перформанси мења у максимално искоришћење доступне енергије и постизање максималних перформанси без да се угрози оперативност система.
3. **Сажетак описа техничког решења:** У оквиру симулатора моделован је соларно напајани бежични сензорски чвор са одговарајућим моделима за извор енергије из околине, складиште енергије и потрошач. На потрошачу се извршава наменски програмски посао и алгоритам за оптимизацију потрошње и перформанси, који се састоји из технике за предвиђање доступне соларне енергије у будућности и алгоритма за распоређивање доступне енергије који садржи и технике за оптимизацију потрошње. Доступна су мерења соларне радијације која се користе као улазни подаци, као и мерења различитих атмосферских параметара и подаци временске прогнозе за те параметре. Решење је верификовано на различитим постојећим техникама за предвиђање доступне соларне енергије у будућности, као и на примеру алгоритма за распоређивање доступне енергије.

4. **Квалитет објашњења и описа решења:** Могућности техничког решења су детаљно објашњене као и начин његове примене.
5. **Применљивост резултата рада:** Ово техничко решење се може користити за развој и верификацију нових алгоритама за оптимизацију потрошње и перформанси соларно напајаних бежичних сензорских чворова, као и за поређење са већ постојећим алгоритмима.

ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА РАДА: Решење је урађено квалитетно и пружа могућност даљег унапређења.

Да ли се техничко решење прихвата (Да или Не): Да.

3. Квалитети техничког решења

Квалитети техничког решења се огледају у могућности једноставног развоја и верификације алгоритама за оптимизацију потрошње и перформанси соларно напајаних бежичних сензорских чворова, односно делова тих алгоритама, као и у томе што пружа контролисану средину за поређење различитих алгоритама за оптимизацију потрошње и перформанси.

4. Примедбе на техничко решење

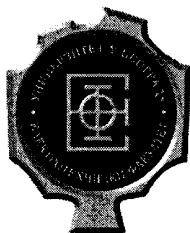
Немам суштинских примедби на ово техничко решење.

Београд, 27.01.2020.

Рецензент:

Dr. Stjepan Dimitrijević

др Стјепан Димитријевић
Научни сарадник
Институт за рударство и металургију у Бору



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73, П.Ф. 35-54, 11120 Београд, Србија

Тел: +381 11 3248464, Факс: +381 11 3248681

ОЦЕНА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

На основу сагласности Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду датој Комисији за студије трећег степена, на 758. седници одржаној 22.01.2013. године, Комисија је донела одлуку на седници одржаној 04.02.2020. године, да се прихвати техничко решење:

Назив техничког решења: Симулатор соларно напајаног бежичног сензорског чвора оријентисан на оптимизацију потрошње и перформанси

Аутори техничког решења: Страхиња Јанковић, Иван Поповић, Драгомир Ел Мезени, Илија Радовановић, Лазар Сарановац

Врста техничког решења: Софтвер

М фактор техничког решења (М81-М86 фактор): М85

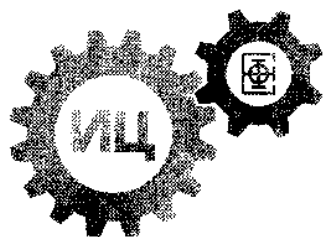
Београд, 14.02.2020. године

Председник Комисије за студије трећег степена


Проф. др Александар Ракић



Проф. др Мило Томашевић



ИЦЕФ

ИНОВАЦИОНИ ЦЕНТАР
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА
У БЕОГРАДУ

Булевар краља Александра 73
11120 Београд, Србија
Tel: +381 11 3370 123
www.icef.etf.rs
icef@etf.bg.ac.rs

ИНОВАЦИОНИ ЦЕНТАР
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ИЦ Број 15/1-32043
Датум 24.1.2020 год
БЕОГРАД Бул Краља Александра 73

Изјава

Иновациони центар Електротехничког факултета у Београду је пратио развој техничког решења под насловом "Симулатор соларно напајног бежичног сензорског чвора оријентисан на оптимизацију потрошње и перформанси" чији су аутори Страхиња Јанковић, Иван Поповић, Драгомир Ел Мезени, Илија Радовановић и Лазар Сарановац у периоду од јануара 2019. до јула 2019. године. Узимајући у обзир могућности примене овог техничког решења у дизајну алгоритама за оптимизацију потрошње и перформанси соларно напајаних бежичних сензорских чворова, Иновациони центар планира коришћење овог техничког решења.

У Београду, 24.01.2020.

Заменик директора


Илија Радовановић