

Modelovanje uštede energije u bežičnim mrežama senzora

Zoran Lukić

Sadržaj — U ovom radu je razmatrana ušteda potrošnje energije u autonomnom sistemu bežične mreže senzora. Predstavljen je algoritam za proveru stanja baterije, kao i algoritam kojim se postiže potpuno iskorišćenje energije baterije kada je napon na bateriji opao ispod minimalnog napona napajanja uređaja.

Ključne reči — autonomnost, baterija, bežična mreža senzora, energija, napajanje, NiMH, pražnjenje, relaksacija baterije, ušteda.

I. UVOD

Bežične mreže senzora predstavljaju velik broj bežičnih uređaja malih dimenzija, koji sadrže jedan ili više senzora. Osnovne karakteristike ovih uređaja su mali protok podataka, fleksibilnost mreže, niska cena i mala potrošnja energije [1], [11].

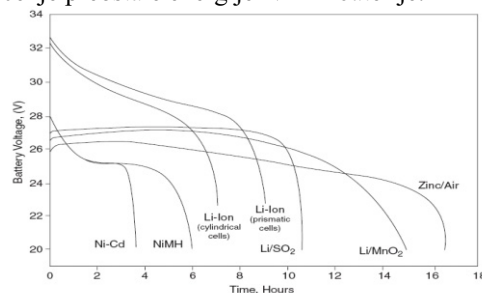
Jedan od izuzetno bitnih faktora za rad Bežične Mreže Senzora (WSN – Wireless Sensor Network) jeste autonomnost baterije. Prilikom planiranja WSN posebnu pažnju treba obratiti na potrošnju, odnosno uštedu energije u svakom trenutku, na svakom od elemenata uređaja. Kako bi se proizveo sistem sa što dužim vremenom rada, vrše se analize sistema i njegovih komponenti, kao i optimizacija njegovih najvećih potrošača [1], [2].

Povećanje efikasnosti vremena rada uređaja se, naravno, ne mora zaustaviti na tome. Korišćenjem algoritama za relaksaciju baterije dolazi do privremenog smanjenja potrošnje, čime se dozvoljava da, u određenoj meri, baterija poveća svoj napon napajanja i time produži vreme rada. Uvođenjem algoritma za proveru stanja baterije, odnosno vrednosti napona očitano na bateriji, može se osigurati tačnost te vrednosti, čime bi se izbegla slanja upozoravajućih poruka za promenu baterije, kao i isključivanje uređaja.

Tip baterija koji se u najvećem slučaju koristi u uređajima WSN jeste NiMH, što ujedno predstavlja i najrasprostranjeniji tip baterija. NiMH (Sl. 1.) poseduju veću gustinu energije od NiCd. Način punjenja je izuzetno jednostavan, budući da se pune konstantnom strujom [3].

U prvom delu rada objašnjeno je impulsno napajanje senzora, tj. impulsno pražnjenje baterije tokom rada uređaja. Drugi deo pojašnjava fluktuacije napona napajanja koje se javljaju prilikom merenja stanja baterije, a u trećem delu prezentovan je algoritam za rekurzivnu proveru baterije usled pomenutih fluktuacija. U četvrtom

delu predložen je adaptivni algoritam za potpuno iskorišćenje preostale energije NiMH baterije.



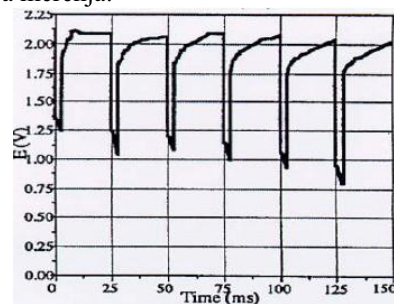
Sl. 1. Poređenje vremena potrošnje baterije u zavisnosti od hemijskog sastava, [3]

II. IMPULSNA POTROŠNJA BATERIJE TOKOM RADA UREĐAJA

Postoje dva načina pražnjenja baterije, kontinualno i impulsno. Princip uštede energije tokom rada uređaja na bateriji je impulsno trošenje baterije. Pulsno pražnjenje, odnosno pulsna potrošnja baterije, omogućava njen oporavak (elektrohemijska reakcija baterije) dok se nalazi u stanju mirovanja, tj. između dva pulsna pražnjenja. Ovaj oporavak zavisi od toga koliko se baterija ispraznila, struje pražnjenja, kao i od dužine trajanja odmora baterije. Poboľšanja u roku eksploatacije baterije, korišćenjem pulsno načina potrošnje, predstavljena su na Sl. 2. Napon baterije naglo opada tokom impulsa pražnjenja, da bi zatim, nakon perioda odmora, ponovo porastao. Efikasnost ovog načina potrošnje se povećava proporcionalno jačini struje impulsa [3], [4], [5].

Ovakav način uštede energije nalazi najveću primenu kod bežičnog interfejsa. Mana mu je što ga nije uvek moguće implementirati u primenjenoj elektronici. Integracija je moguća samo na bežičnom interfejsu, tj. modulu.

Primer upotrebe pulsno napajanja, na nivou uređaja, jeste isključivanje AD konvertora i senzora dok se ne koriste, između dva merenja.



Sl. 2. Povećanje trajanja baterije impulsnom potrošnjom [4], [5]

III. ALGORITAM PROVERE STANJA BATERIJE

A. Fluktuacije napona

Postoje razne fluktuacije u naponu napajanja prilikom rada uređaja. Prilikom uključivanja uređaja, kao i usled određenih spoljašnjih smetnji, dolazi do naglog, iako ne velikog pada napona (pad napona, naravno, zavisi od elemenata uređaja koji se uključuju). Spoljašnje smetnje su moguće, budući da su uređaji napravljeni tako da budu ekonomični za proizvodnju, a nivo zaštite koji oni pružaju, iako dovoljan, usklađen je sa visinom cene. Pored spoljašnjih smetnji postoje i unutrašnje, koje nastaju u samom kontroleru uređaja ili nekoj od njegovih komponenti, najčešće usled trenutne promene količine njihove potrošnje. Do promene količine potrošnje uređaja dolazi kada se aktiviraju senzori ili modul za komunikaciju, kao i ostale komponente koje tokom rada uređaja nisu konstantno uključene, zarad produženja njegove autonomnosti. U trenutku uključivanja, do tada neaktivne komponente uređaja uzrokuju porast struje potrošnje, što rezultuje privremenim padom na napon napajanja uređaja. Napon napajanja se ubrzo nakon toga stabilizuje, ali u pomenutim trenucima, očitavanja napona na bateriji koja vrši mikrokontroler nisu tačna (očitanja napona na bateriji vrše se prilikom uključivanja uređaja, kao i tokom njegovog rada). Iz ovih razloga, u određenim momentima potrebna je višestruka provera napona, sa različitim nivoima ponovne provere [1].

B. Konkretan primer merenja napona na bateriji

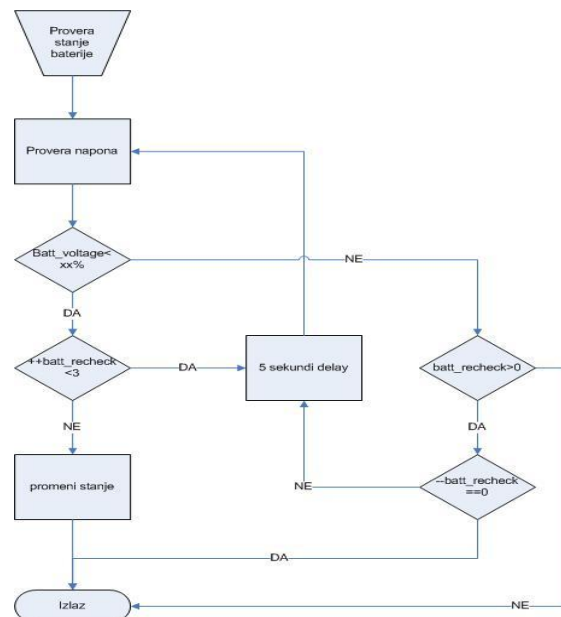
Merenje napona na bateriji vrši se pomoću standardnog naponskog razdelnika i internog AD konvertora u kontroleru. Analogni ulaz na ADC kontrolera (**Atmega2561**) poseduje sopstvenu kapacitivnost, pa zahteva da izlazna otpornost na priključcima gde se meri napon ne bude veća od $10K\Omega$. Ukoliko je otpornost veća od te vrednosti, učestalost odabiranja signala će se povećati. Iz tih razloga, naponski razdelnik je sastavljen iz dva otpornika vrednosti $10K\Omega$. Budući da vezivanje referentnog napona AD konvertora za napajanje rezultuje netačnim očitavanjem jer se vremenom napon napanja smanjuje, potrebno je koristiti interni referentni napon, čime se ne usložnjava uređaj za komponentu [6].

C. Princip rada algoritma za proveru napona na bateriji

Bežični uređaj koji je deo WSN, poseduje u svom sklopu bežični mrežni adapter, senzore, AD konvertor, elemente za regulaciju i merenje napona na bateriji, bateriju, kao i kontroler koji upravlja njime.

Veličine nivoa napona napajanja koje šalje uređaj kontrolnoj jedinici (koja upravlja WSN) su predefinisane zarad uštede energije baterije, obzirom da je konstantno izveštavanje nepotrebno, a zahtevalo bi aktiviranje bežične komunikacije. Provera baterije funkcioniše tako što se u tajmeru kontrolera na svakih minut vremena vrši odabiranje signala napona baterije. Kada kontroler završi sa akvizicijom podatka, poziva interrupt funkciju, koja prosleđuje izmerenu vrednost sledećoj funkciji. Ona zatim upoređuje naponski nivo sa četiri predefinisana nivoa: 20%, 15%, 10% i 5% od maksimalne veličine donjeg nivoa napona napajanja svih komponenti uređaja (ovaj napon je najveća minimalna vrednost napona napajanja svih

komponenti uređaja). Ukoliko vrednost napona nije ispod ovog nivoa, kontroler nastavlja sa normalnim radom. U slučaju da je nivo napona na bateriji pao na neku od pomenutih vrednosti, sledi njegova ponovna provera, i to nakon znatno kraćeg vremena, tj. za 5 sekundi.



Sl. 3. Algoritam provere stanja baterije

Dakle, vreme redovne provere napona napajanja je veće od ponovne provere, odnosno potvrde proverenog napona. Predlaže se da, ukoliko je moguće, vremenski interval između prve ponovne provere i poslednje potvrde proverenog napona bude veći od vremena kada uređaj radi sa maksimalnom potrošnjom, tj. dok je aktivan najveći broj njegovih komponenti. Na ovaj način bi se osiguralo da očitano vreme ne predstavlja trenutni pad napona usled povećane potrošnje baterije. Ponovna provera napona se vrši samo u slučaju ako je trenutni napon pao ispod vrednosti očitane u prethodnom merenju, i ako je ta vrednost pala na određeni nivo (ako je na 100%, može pasti na 20%, 15%, 10% ili 5%). Sa 20%, ponovna provera se vrši samo ukoliko je vrednost na nekom procentu ispod te vrednosti. Svaka uzastopna provera se broji, a da bi kontroler definitivno detektovao da li se napon promenio, tj. procentualno opao, broj tih uzastopnih provera mora dostići vrednost tri (broj može da bude i veći, ali je prilikom ovog testiranja utvrđeno da je ovaj broj sasvim dovoljan da se odredi stanje). U slučaju da sledeća provera pokaže da napon nije opao, broj merenja ukupnog broja promena se smanjuje. Dakle, povećava se ukoliko je napon pao ispod trenutne vrednosti, a smanjuje ukoliko nije. Postoje dva načina da se izađe iz ove provere. Jedan je da se broj vrati na nulu, čime kontroler izlazi iz ponovne provere. Drugi način je da vrednost ponovne provere konačno dostigne broj tri, što znači da je napon sigurno opao, te da je važeće stanje baterije koje je poznato kontroleru zaista promenjeno.

Promenom nivoa baterija, odnosno sa padom napona na bateriji, kontroler šalje mobilnom telefonu poruke o tome putem Bluetooth veze.

Ako je nivo dostigao 5%, nakon pokušaja slanja poruke (koje može, ali i ne mora biti uspešno), kontroler

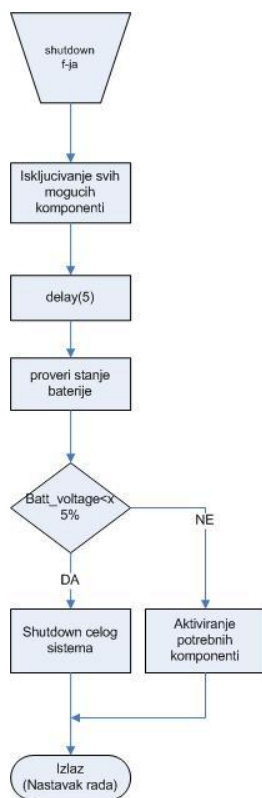
isključuje one elemente uređaja koje može, a zatim i sam prelazi u shutdown stanje.

Blok dijagram provere napona je prikazan na Sl. 3.

IV. ALGORITAM ZA ODMOR BATERIJE

A. Produženje rada uređaja

Testiranjem je dokazano da se rad uređaja može nastaviti i u slučaju kada je napon napajanja na bateriji opao ispod donje granice napona napajanja uređaja. Kada kontroler detektuje pad napona ispod donje granice, potrebno je umesto isključivanja kompletnog uređaja, na nekoliko sekundi isključiti sve komponente uređaja ili veći deo njih. Treba imati u vidu da vreme pomenutog odmora ne pomaže ukoliko se baterija sasvim ispraznila, već samo u slučaju pada napona ispod korisne granice napajanja uređaja. Ovo je moguće ponoviti više puta, čime se produžava vreme trajanja baterije, tj. vreme rada uređaja. Ukoliko uređaj radi nekoliko dana, može se dobiti produženje rada uređaja od nekoliko sati [7].



Sl. 4. Algoritam za odmaranje baterije

B. Algoritam za relaksaciju baterije

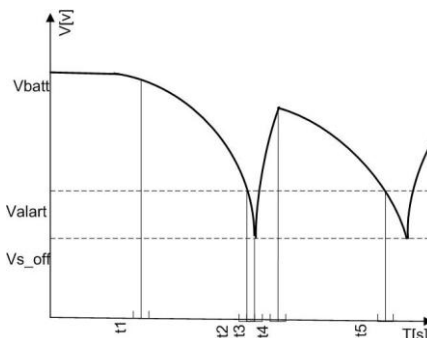
Algoritam za odmaranje baterije, za razliku od algoritma za proveru stanja baterije, prilično je jednostavan. On omogućava isključivanje komponenti uređaja, vremensku pauzu njegovog rada, zatim, ponovnu proveru napona na bateriji, kao i povećanje dužine trajanja sledećeg odmora baterije. Kada se isključe komponente uređaja, posle odmora (pauze), ponovo se proverava stanje baterije. Ukoliko je došlo do poboljšanja pomenutog stanja, računa se razlika između napona pre odmora i trenutnog stanja, na osnovu čega se određuje dužina trajanja ponovnog odmora. Ukoliko je poboljšanje izostalo, uređaj se u potpunosti isključuje. Naravno, što je

vrednost te razlike manja, dužina trajanja odmora baterije trebalo bi da je veća.

U nastavku je dat primer rada uređaja. Pretpostavimo da su tri baterijske ćelije sa nominalnim naponom na bateriji pune ćelije od 1,2V vezane redno, što ukupno iznosi 3,6V. Standardni radni napon elektronike za tu bateriju je 3,3V, a obezbeđen je regulatorom napona. Napon baterije se meri direktno sa baterije i kada on padne ispod 3,3V, baterija se uređaju predstavlja kao prazna. Tehnički, baterija se smatra praznom kada napon na njoj padne ispod 1V (po IEEE450-2002 baterija treba da se zameni kad napon na njoj opadne ispod 80% [8]). Međutim, baterija nije prazna jer još uvek sadrži dovoljno energije za izvesno vreme rada. Tada, se smanjenjem potrošnje, odnosno manjim zahtevima za energijom, povećava napon na bateriji. Posle određenog relaksacionog perioda, moguće je ponovo početi upotrebu baterija. Ovaj proces se ponavlja dok se energija u bateriji u potpunosti ne iscrpi.

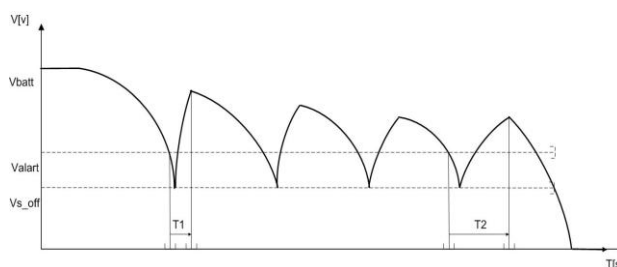
Na dijagramu na Sl. 5. predstavljen je napon baterije u zavisnosti od vremena, prilikom primene algoritma za relaksaciju baterije. Dok je energija baterije dovoljna, napon na bateriji je relativno konstantan, tokom potrošnje (Sl. 1). Energija u bateriji se u toku rada uređaja smanjuje i nju kontroler često očitava. Kada padne do određene vrednosti (V_{alart}), kontroler isključuje manji ili veći broj elemenata uređaja. Potom sledi vreme relaksacije (Idle stanje uređaja), kada se napon na bateriji povećava do određene vrednosti. Zatim, kontroler ponovo uključuje elemente i napon na bateriji ponovo opada. Vreme koje se dobija zavisi od kapaciteta baterije, minimalnog napona napajanja, kao i od vremena odmora baterije [7], [9].

Na dijagramu na Sl. 5. predstavljena je idealizovana kriva koja pokazuje ponašanje napona napajanja pri korišćenju algoritma za odmor baterije.



Sl. 5. Idealizovana ilustracija potrošnje baterije i način rada algoritma za odmaranje sistema

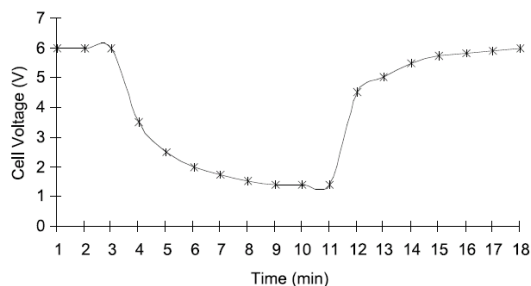
Kako se energija u bateriji smanjuje, potrebno je produžavati vreme čekanja oporavka baterije.



Sl. 6. Produžavanje vremena odmora baterije, usled smanjivanja njene energije

Vreme odmora baterije, tj. vreme koje je potrebno da se baterija odmori između smanjenja potrošnje i ponovne upotrebe, mora da se povećava svaki put, iz razloga što se energija baterije smanjuje.

Tačan izgled dijagrama zavisi od kapaciteta baterije i veličine potrošača, odnosno potrebe uređaja za strujom baterije. Zbog toga bi za svaki uređaj bilo potrebno određivanje relaksacionog vremena na osnovu tih karakteristika.



Sl. 7. Oporavak NiMH baterijske ćelije od pražnjenja [10]

Na početku pražnjenja napon naglo opada, Sl. 7. (4. min). Nakon toga nastavlja da opada, ali ravnomerno, do prestanka pražnjenja (11. min). Zatim sledi faza eksponencijalnog rasta, do uspostavljanja neke relativno stabilne vrednosti. Sporo oporavljanje napona na bateriji nakon prestanka opterećenja uslovljeno je postojanjem unutrašnje otpornosti baterije (od 11.min pa dok ne dostigne neku stabilnu vrednost) [10].

C. Kompleksnost algoritma

Potrebno je utvrditi isplativost uvođenja ovog algoritma u određeni uređaj, tj. da li se faktor iskorišćenja baterije dovoljno povećao prilikom njegove primene. Zatim, trebalo bi razmotriti koliko "pаметan" algoritam sme da bude, kako bi se energija optimalno iskoristila. Previše kompleksan algoritam u sistemu male procesorske snage trošio bi puno energije, dok je, u procesorski snažnom sistemu, ova energija zanemarljiva.

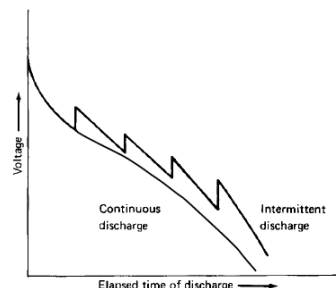
V. NEDOSTACI ALGORITAMA

Kada je reč o nedostacima algoritama, prvenstveno je potrebno proširenje osnovnog programa koji radi u senzorskoj jedinici, što bi zahtevalo dodatne troškove razvoja, kao i vreme. Druga mana jeste dodatna potrošnja energije potrebne za izvršavanje algoritma.

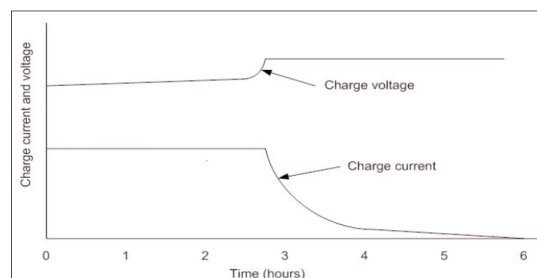
VI. ZAKLJUČAK

Proverom stanja napona napajanja obezbeđuje se tačno očitavanje napona baterije, čime se osigurava duži vek rada uređaja. Takođe, eliminišu se bilo kakve smetnje ili padovi napona usled trenutne povećane potrošnje. Dozvoljavanjem odmora baterije, dobija se produženje ukupnog rada uređaja od preko 5% ukupnog vremena rada. Veliku ulogu u svemu, naravno, igra i kvalitet baterije.

DODATAK



Sl. 8. Impulсно trošenje baterije, drugi primer [3]



Sl. 9. Punjenje baterije const. strujom i naponom [3]

LITERATURA

- [1] A. Hac, "Wireless Sensor Network Designs", University of Hawaii at Manoa, Honolulu, USA, 2003, pp. 6-9, ch. 3.
- [2] I. Stojmenovic, "Handbook of sensor networks : algorithms and architectures", *University of Ottawa*, 2005, ch. 3., pp. 475.
- [3] D. Linden, T. B. Reddy, "Handbook Of Batteries" 3rd ed., 2002, pp. 158, 1181, 85-88, 760.
- [4] C.F.Chiasserini, R.R.Rao, "A model for Battery Pulsed Discharge with Recovery Effect", *Wireless Communications and Networking Conference*, New Orleans, Louisiana, USA, 1999, September 21-24.
- [5] Seungki Hong, Daeyoung Kim, Jae-eon Kim, "Battery-Aware Real-Time Task Scheduling in Wireless Sensor Networks", *11th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA'05)*, Hong Kong, 2005, 17-19 August 2005.
- [6] S. Krco, S. Kostic, D. Sakac, Z. Lukic, "mSens Mobile Health Monitoring System", *EuroCon 2005*, Beograd, Serbia, November 22-24, 2005.
- [7] V. Tsiatsis "Energy Constrained Sensor Networks", *Sensation 2006*, Novi Sad, Serbia, 2006.
- [8] IEEE 450-2002, IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications.
- [9] Battery Discharge Characteristics, available on: <http://data.energizer.com/PDFs/NH50-2500.pdf>
- [10] S. Dhameja "Electric vehicle battery systems", *Butterworth-Heinemann*, 2002, pp. 6, 54, 55.
- [11] IEEE 802.15.4-2006, IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks.

ABSTRACT

In this paper the main principles of battery energy savings in wireless sensor network nodes are discussed. An algorithm for battery status control in such nodes is presented, as well as an algorithm for the best possible battery energy exploitation.

POWER CONSUMPTION MODELING IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Zoran Lukic