

Uticaj izbora veličine beakon perioda kod rendezvous protokola

Mirko Kosanović, Miloš Kosanović

Savremene računarske tehnologije

Visoka tehnička škola strukovnih studija

Niš, Srbija

mirko.kosanovic@vtsnis.edu.rs

milos.kosanovic@vtsnis.edu.rs

Sadržaj - Jedan od osnovnih preduslova za efikasan rad bilo koje aplikacije u Bežičnim Senzorskim Mrežama (BSM) je njen energetska efikasan rad. Razvijeno je veoma veliki broj različitih tehnika koje treba da reše ovaj problem. Jedna od jednostavnih tehnika koja se koristi je primena *Rendezvous* protokola. Osnovna ideja kod ovih protokola je da se senzorski čvorovi (SČ) aktiviraju periodično određeni vremenski interval, u kome treba da pošalju ili prime podatke. Ona je dala odlične rezultate u pogledu uštede električne energije a samim tim i dužeg životnog veka SČ-ova. U ovom radu analizirana je dužina vremenskog intervala, *beakon*-a, kao i kako ona može da utiče na potrošnju električne energije u SČ-ova.

Ključne reči - senzorski čvor; rendezvous protokol; beakon period; ušteda el. energije

I. UVOD

Bežične senzorske mreže predstavljaju samostalne mreže koje se sastoje od velikog broja malih i jeftinih inteligentnih jedinica ograničenih računarskih mogućnosti, senzorskih čvorova (SČ). Oni su raspoređeni u širokom geografskom području i sposobni su da potpuno samostalno formiraju mrežnu infrastrukturu, preko koje kontinuirano prate pojave u prirodi, obrađuju prikupljene podatke i distribuiraju ih bežičnom komunikacijom. Njihova glavna prednost je sposobnost da budu primenjene na bilo kom području i u bilo kojim uslovima gde standardne mreže nije moguće primeniti. Jedan od najvećih problema sa kojim se susrećemo kod primene neke aplikacije u BSM je efikasna potrošnja električne energije. Osnovno napajanje u gotovo svim SČ su baterije koje su ograničenog kapaciteta. Kako su gabariti jednog SČ, a samim tim i kapacitet baterije, jako mali, njen životni vek bio bi ograničen na svega nekoliko dana ako bi svi njegovi delovi radili neprekidno. Imajući u vidu da je promena baterija u većini slučajeva praktično neizvodljiva, proizilazi da je efikasna potrošnja energije presudni faktor koji utiče na duži životni vek jednog SČ a samim tim i aplikacije u BSM [1]. Imajući u vidu da se jedna BSM sastoji od velikog broja (od nekoliko stotina pa do nekoliko hiljada) SČ-ova i da je tu zastupljena multi-hop topologija u prenosu paketa, jasno je da bilo kakvi problemi u funkcionisanju nekog od SČ-ova u mreži, može dovesti do promena u mrežnoj topologiji, a to zahteva ponovnu reorganizaciju mreže kao i pronalaženje novih puteva usmeravanja podataka. Sve to zahteva dodatnu

potrošnju električne energije u SČ-ima, što može da dovede do prekida rada nekih SČ-ova, tj. u krajnjoj istanci, do potpunog prekida rada cele BSM-e. Zato se pred projektantima kao osnovni cilj postavlja projektovanje energetska efikasne aplikacije kako bi se životni vek BSM-e što više produžio. Ukoliko su svi delovi jednog SČ-a stalno aktivni tada bi njihov životni vek bio veoma kratak, svega nekoliko dana. Promena baterije predstavlja jako komplikovan zadatak, ne samo zbog nepristupačnosti lokacije gde se SČ-ovi nalaze, već i zbog njihovog velikog broja u BSM-i. Sa druge strane, povećanje njenih kapaciteta nije moguće zbog male veličine većine SČ-ova (nekoliko mm³), a punjenje ovih baterija je dosta otežano, pre svega zbog limitiranih resursa SČ-a, kako računarskih tako i fizičkih. Tako nam predstoji jedino rešenje a to je da obezbedimo da BSM-a radi na što manjem energetska nivou primenom energetska efikasne protokola.

U velikom broju aplikacija za BSM imamo relativno jako slab saobraćaj između SČ-ova (od 0,01 do 10 paketa/s). Sve te pakete karakteriše veoma mala dužina, obično između 64-128 bajtova. Sa takvim intenzitetom saobraćaja, SČ većinu svog životnog veka provede u neaktivnom stanju, osluškujući kanal (u tom vremenskom periodu prijemnik SČ je uključen iako ne prima nikakve podatke). Na primer: ako pretpostavimo da imamo 5 susednih SČ, i da oni razmenjuju po jedan paket/s, da je dužina paketa 64B i da brzina slanja primo-predajnika 40 kbps, lako možemo odrediti efikasno radno vreme. Svaki SČ troši samo 1,28% od svog aktivnog vremena za slanje paketa i 6,4% vremena za prikupljanje i prijem paketa. Iz ovog primera se vidi da SČ provede u neaktivnom stanju više od 92% svog vremena. Shodno tome, možemo zaključiti da je energija rasipanja jako velika zbog činjenice da SČ troši veliku količinu vremena u stanju osluškivanja kanala. U cilju da se produži životni vek SČ neophodno je da se ovo vreme skрати, što se postiže primenom neke od mnogobrojnih PMT (*Power Management Technique*) tehnika [2, 3].

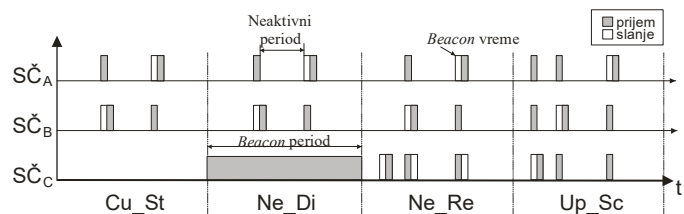
Mi ćemo fokusirati naš interes na jednu od najčešće korišćenih tehnika, *duty cycling* (DC) tehniku, bez koje je gotovo nezamisliv energetska efikasan rad bilo koje BSM. Ona predstavlja efikasnu i često korišćenu metodu koja je postala neizostavan deo gotovo svake aplikacije u BSM. Princip rada ove metode je vrlo jednostavan: držati hardverske komponente

što duže u režimu smanjene potrošnje (*idle* ili *sleep* režim), a što manje vremena u režimu normalne potrošnje (*active* režim). Međutim, ovaj jednostavan princip nije lako primeniti jer on zahteva i neke dodatne tehnike kako bi se obezbedio pouzdan rad svih SČ-ova u mreži. Tu se pre svega misli na preciznu vremensku sinhronizaciju svih SČ-ova u mreži, koja treba da omogući nesmetanu komunikaciju između SČ-ova. Istraživanja pokazuju da se čak i pri DC faktoru od samo 1-2%, postiže ušteda u potrošnji električne energije za jedan red veličine veći od potrošnje svih ostalih komponenta u SČ-u [1]. S druge strane, *Duty Cycle* dovodi do kompleksnih komunikacijskih šema koji uključuju prozivanje SČ-ova (*polling*) i vremensko deljenje komunikacionog kanala. Naime, da bi dva SČ-a primila ili predala podatke potrebno je da oni istovremeno budu aktivni, kako bi mogli uspešno da uspostave komunikaciju i razmene pakete. Ranije pomenuta tehnika *Duty Cycle* podrazumevala je da svaki SČ provede određeno vreme u režimu smanjene potrošnje i da se aktivira samo u slučaju kada treba da primi ili pošalje neki paket. Zbog neujednačenih lokalnih vremena u svakom SČ-u javlja se problem istovremenog aktiviranja dva SČ-a koji treba da obave komunikaciju. Problem se još više usložnjava kada SČ treba da obavi komunikaciju sa više SČ-ova iz svoje okoline. Potrebno je usaglasiti mehanizam periodičnog buđenja više SČ-ova kao i usaglašenost predajnog i prijemnog režima, kako bi sve potrebne transakcije između SČ-ova bile uspešno obavljene. Jedan od najvećih problema koji može da se javi, pored vremenske neusaglašenosti, je pojava kolizije tj. kada dva ili više SČ-a koji su u međusobnom dometu istovremeno šalju pakete. Da do toga ne bi došlo, primenjuje se jednostavna šema u kojoj se u tačno određenim vremenskim slotovima omogućuje da samo jedan SČ može da šalje svoje pakete. Za vreme tog vremenskog slotu svi ostali SČ-ovi iz njegove okoline nalaze se u režimu prijema. U sledećem vremenskom slotu neki drugi SČ se nalazi i stanju predaje a ostali u stanju prijema. Postupak se periodično ponavlja nakon što svi SČ-ovi iz neposredne okoline budu u režimu predaje. Ovaj princip komunikacije između više SČ-ova poznat je tehnika susretanja dva SČ-a (*rendezvous*) [4, 5].

U ovom radu izvršena je analiza rada jedne standardne *rendezvous* šeme koja se primenjuje kod komunikacije između SČ-ova sa gledišta izbora odgovarajućeg perioda prozivanja svakog SČ tkz. *beacon* perioda. Nakon uvida u poglavlju 2 prikazane su karakteristike standardnog *rendezvous* protokola sa svim njegovim manama i prednostima. U poglavlju 3 izvršena je analiza izbora dužine beacon perioda prozivanja a u poglavlju 4 prikazano je kako taj izbor perioda prozivanja utiče na životni vek SČ-ova. Poglavlje 5 zaključuje ovaj rad.

II. KARAKTERISTIKE RENDEZVOUS PROTOKOLA

Prikažaćemo sada osnovne principe rada *rendezvous* tehnike i ukazaćemo na njene prednosti i mane na osnovu analize jedne standardne *rendezvous* šeme (DLDC-MAC protokol), koja je prikazana u radu [6]. Zbog lakšeg razumevanja principa rada protokola analizu ćemo sprovesti na tri SČ: SČ_A, SČ_B i SČ_C. Treba napomenuti da broj SČ-ova uopšte ne utiče na donete zaključke o funkcionisanju *rendezvous* šeme.



Slika1. Blok šema DLDC-MAC protokola

Osnovna ideja ovog rešenja, koje je dato u Ref. [6], je sledeće: svaki SČ periodično šalje kratku poruku, pod nazivom *beacon*, kako bi signalizirao svoje prisustvo u BSM-i. Takođe, u tačno određenim vremenskim intervalima SČ se aktivira kako bi mogao da primi *beacon*-e od svojih suseda. Na osnovu vremena prijema *beacon*-a, SČ proračunava naredno vreme prijema za svaki susedni SČ, uključujući i odgovarajuća *guard* vremena. *Guard* vreme predstavlja dodatno proširenje perioda prijema *beacon*-a koje je neophodno uzeti u obzir kod proračuna, kako bi se sa većom sigurnošću obezbedila istovremena komunikacija između dva SČ-a. Ono je posledica nesavršenosti i neujednačenosti kvarnih oscilatora koji se nalaze u svakom SČ-u (*drift*). Imajući u vidu da SČ zna vremena kada njegovi susedi šalju svoje pakete moguće je da on većinu vremena provede u neaktivnom stanju i da se samo periodično prebacuje u aktivno stanje kada naiđu odgovarajuća vremena prijema *beacon*-a od svojih suseda. Drugim rečima, SČ najviše vremena provodi u *sleep/idle* stanju štedeći svoju električnu energiju. Na Slici 1 prikazan je scenario aktivnosti SČ-ova koji koriste standardni *rendezvous* protokol (DLDC-MAC). Pretpostavka je da je osnovni period, *beacon* period T_{BP} , unapred definisan i poznat je svim SČ-ima u BSM-i. *Beacon* period se periodično ponavlja i on obuhvata sva neophodna vremena za slanje i prijem paketa ka i od SČ-ova, kao i vreme koje SČ provede u neaktivnom stanju (*sleep*). Sa Slike 1 može se primetiti da postoje četiri različite faze kroz koje prolazi svaki od SČ-ova. To faze su:

Tekuća faza (*Cu_St*) – Svaki registrovani SČ (u navedenom primeru, SČ_A i SČ_B) šalje periodično kratku poruku, *beacon*, i nakon toga prelazi, jedan kraći period, u režim prijema kako bi mogao da prihvati *beacon*-e od susednih SČ-ova koji žele da se priključe BSM-i. *Beacon* period je potpuno identičan za sve SČ-ove. Nakon što prihvati *beacon*, SČ procenjuje svoje sledeće *beacon* vreme uzimajući u obzir trajanje *beacon* perioda, vreme prijema *beacon*-a i *guard* period. Treba imati u vidu da SČ procenjuje *beacon*-e za sve susedne SČ-ove, što mu olakšava da ova procena bude tačnija. Zahvaljujući ovome SČ može da većinu svog *beacon* perioda provede u neaktivnom stanju i da pređe u aktivno stanje samo da prima *beacon*-e od suseda i da pošalje svoj *beacon*. Na ovaj način, svaki SČ periodično aktivno učestvuje u komunikaciji jer je uvek svestan svojih susednih SČ-ova sa kojima komunicira, tj. zna *beacon* vremena svih susednih SČ-ova. Treba imati na umu da je svaka od faza (*Cu_St*, *Ne_Di*, *Ne_Re* i *Up_Sc*) podeljena u nekoliko vremenskih slotova, čiji je period trajanja nešto duži, za *guard* period, od potrebnog vremena za slanje ili prijem *beacon*-a od susednih SČ. Faza *Cu-St* je dominantna od svih ostalih faza, jer u njoj svaki SČ provede najveći deo svog životnog veka (preko 99 %).

Faza pronalaženja (Ne_Di) – predstavlja početnu fazu kroz koju prolazi svaki novi SČ koji želi da se priključi BSM-i. Naime, pri prvom uključenju, SČ ulazi u Ne_Di fazu u kojoj je njegov prijemnik neprekidno uključen ceo jedan *beacon* period. Osnovni cilj ove faze je da novi SČ detektuje sve aktivne SČ-ove iz svoje okoline (dometa) i da registruje njihova *beacon* vremena. Tako u odnosu na Sliku 1, za vreme ovog perioda SČc prihvata *beacon*-e od SČA i SČB.

Faza registracije (Ne_Re) – služi da bi se novi SČ prijavio susednim SČ-ima. Nakon prijema *beacon* vremena od susednih SČ-ova, u fazi Ne_Re , novi SČ izračunava, tj. određuje svoje *beacon* vreme (prazan vremenski slot za emitovanje svog *beacon*-a) u okviru *beacon* perioda. Kako je u prethodnoj fazi registrovao *beacon* vremena susednih SČ-ova (SČA i SČB), SČc sada može, u odgovarajućim vremenskim slotovima, da obavesti susedne SČ-ove o svom prisustvu u BSM-i. To je neophodno kako bi već registrovani SČ-ovi, SČA i SČB, mogli da novoprijavljeni SČ, SČc, uključe u okviru svog *beacon* perioda, tj. da uključe prijemni režim u novo formiranom vremenskom slotu koji odgovara SČc.

Faza prihvatanja (Up_Sc) - prema aktivnostima ova faza je vrlo slična fazi Cu_St , sa samo jednim izuzetkom koji se odnosi na dodavanje *beacon* vremena novo prijavljenog SČc u okviru *beacon* perioda svih SČ-ova koji su u dometu i koji su nesmetano prihvatili poruku o novom SČ-u u mreži.

Neke od glavnih prednosti analiziranog DLDC-MAC protokola su [6]:

1. Na jedan potpuno decentralizovan način rada, uspešno je sinhronizovano vreme aktiviranja svih SČ-ova u okolini, čak i u sredinama sa vrlo nepouzdanim komunikacionim linkovima.
2. Većina problema vezanih za bežične komunikacije kao što su: *clock drift*, asimetrične veze, skriveni terminal i otežane komunikacije su uspešno prevaziđeni.
3. Primenom ovog protokola znatno se štedi električna energija, pa se zato očekuje znatno produženje životnog veka svih SČ-ova, a samim tim i život cele BSM.

Međutim analizirajući ovu šemu možemo videti da postoje i neki nedostaci, koje ovaj protokol ne može da reši, a to su:

1. Određivanje dužine adekvatnog *beacon* perioda kada se dva ili više SČ istovremeno prijave u BSM.
2. Određivanje adekvatnog *beacon* vremena (vremenski slot) za svaki novoprijavljeni SČ.
3. Kako *beacon* vremena nisu unapred definisana (vremenski slotovi) može da dođe do njihovog preklapanja usled razlika u frekvencijama lokalnih satova (*clock drift*). Tada je potrebno da se izaberu nova *beacon* vremena (vremenski slotovi) koji opet mogu da prouzrokuju nova preklapanja i dodatne probleme.
4. Problem rešavanja kolizije koja može da se dogodi kada se dva ili više SČ istovremeno prijave u BSM.

Kao što se vidi ceo *rendezvous* ciklus se sastoji od perioda aktivnog i neaktivnog režima rada pa se često ovaj period naziva periodom buđenja (*wakeup* period). Odnos dužine

aktivnog perioda sa ukupnim periodom buđenja nazivamo *Duty Cycle* (DC) SČ-a. Da bi *rendezvous* protokoli postigli zadovoljavajuću energetska efikasnost sasvim je jasno da treba da ispune neke uslove i to:

1. Izborom manjeg DC faktora postizemo da SČ provede više vremena u režimu neaktivnog rada, izbegavajući tako nepotrebnu potrošnju električne energije u režimu osluškivanja kanala (*listening*).
2. Izborom malog DC faktora, komunikacija između dva susedna SČ-a svodi se na mali vremenski interval (*time slot*), tako da u slučaju nekih zahteva za intenzivnim saobraćajem (veća dužina i veći broj paketa), može dovesti do problema u komunikaciji tj. velikog kašnjenja u prenosu, jer je potrebno više ciklusa za prenos paketa.
3. Izbor dužeg perioda neaktivnog režima izaziva značajno kašnjenje, jer potencijalni predajni SČ mora da čeka, u proseku pola neaktivnog perioda, pre nego što određeni SČ može da prihvati pakete. U *multi-hop* topologiji BSM-e, dolazi do sabiranja tih kašnjenja u svakom skoku, što dovodi do značajnog kašnjenja kada se posmatra početni i krajnji SČ. To može da predstavlja eliminacioni faktor u slučaju potrebe za nekim prenosom podataka koji zahtevaju *real time* prenos.
4. period neaktivnog režima rada ne bi trebalo da bude suviše kratak, kako potrošnja energije prilikom prelazaka iz jednog u drugi režim (*switch energy*), ne bi bila veća od uštede te iste energije.

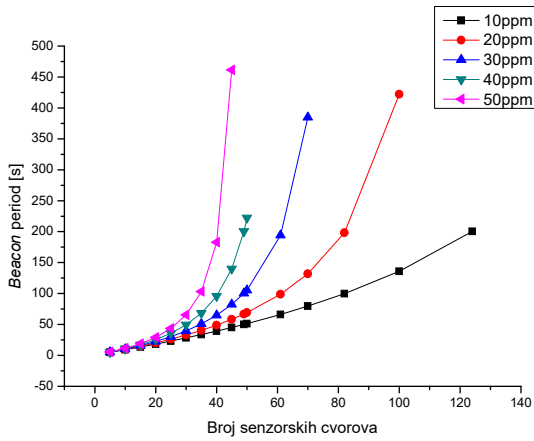
III. ANALIZA IZBORA DUŽINE BEACON PERIODA

Odredimo sada kakav efekat ima dužina *beacon* perioda, T_{BP} , u odnosu na maksimalan broj aktivnih SČ-ova. U toku ove analize pretpostavljeno je da SČ-ovi rade sa unapred određenim fiksnim DC faktorom. Poznato je da BSM sa manjim DC faktorom imaju duži životni vek, i on se obično u praktičnim realizacijama kreće od 0,1 do 1 % [7]. Na Slici 2 prikazani su grafici minimalnog trajanja *beacon* perioda T_{BP} u funkciji aktivnih SČ-ova, sa s_x (kvarcna nestabilnost oscilatora) kao parametrom. Kod crtanja ovih grafika usvojeno je da:

1. $T_{proc} = 4$ ms (brzina CPU je 1 MHz, dužina paketa je 64 B, i brzina prenosa je 128 kbps);
2. $T_{switch} = 6\mu s$ (korišćen je mikrokontroler tipa MSP430F123, kod koga je potrebno da protekne 6 μs da se on prebaci iz aktivnog režima rada u režim smanjene potrošnje LPM3, i obrnuto [8]); i
3. usvojeno je da je DC faktor jednak 0.5 %.

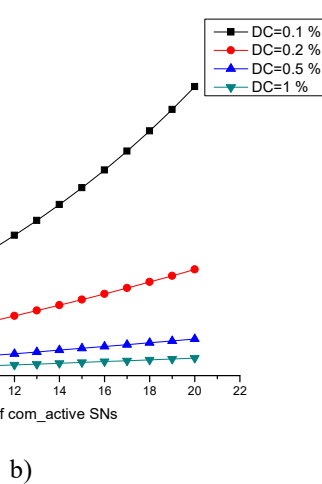
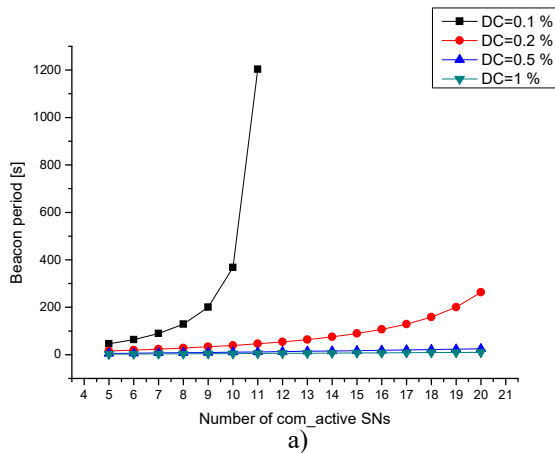
Na osnovu rezultata koji su prikazani na Slici 2 možemo zaključiti sledeće:

- a. Što je kvarcni oscilator stabilniji to je i broj *aktivnih* SČ-ova veći.
- b. Nestabilnost kvarcnog oscilatora direktno utiče na maksimalan broj aktivnih SČ-ova. Nezavisno od *beacon* perioda T_{BP} , kako se s_x povećava (raste nestabilnost oscilatora) maksimalan broj aktivnih SČ-ova se smanjuje.



Slika 2. Trajanje beacon perioda u funkciji aktivnih SČ-ova za DC=0.5 %

- c. Skoro isti rezultati za minimalno vreme trajanja beacon perioda T_{BP} , se dobijaju i za druge DC faktore kada DC faktor uzima vrednosti od 0.1 do 1 %.



Slika 3. Trajanje T_{BP} u funkciji aktivnih SČ-ova, sa DC faktorom kao parametrom za: a) $s_x = 10$ ppm ; b) $s_x = 40$ ppm

Grafici vremenskog perioda T_{BP} u funkciji od p (broj aktivnih SČ) $p < 20$, uz DC faktor kao parametar i fiksne vrednosti za nestabilnost kvarnog oscilatora s_x ($s_x = 10$ ppm i $s_x = 40$ ppm), prikazani su na Slikama 3a i 3b, respektivno.

Analizirajući prikazane rezultate dolazimo do sledećih zaključaka:

- Sa opadanjem DC faktora, broj aktivnih SČ-ova se povećava kao i period trajanja T_{BP} .
- Sa povećavanjem DC faktora kriva na graficima koja je definisana funkcijom $T_{BP} = \Phi(p)$ postaje linearnija.

Na osnovu rezultata koji su prikazani na Slikama 2 i 3, možemo zaključiti da ukoliko se u SČ-ima koristi stabilniji kvarcni oscilator (manji s_x) tada važi:

- Za fiksni beacon period, BSM sa većim brojem aktivnih SČ-ova je moguća (operativna). Tako na primer, za $T_{BP} = 100$ s i $s_x = 50$ (10) ppm, BSM koja ima $p = 35$ (82) aktivnih SČ-ova je moguća (videti Sliku 2).
- Za BSM sa fiksnim brojem aktivnih SČ-ova, ispravno funkcionisanje može se očekivati od mreža sa manjim DC faktorom. Tako na primer, za $p = 20$ SČ-ova, i $s_x = 50$ (10) ppm, DC faktor od 1 (0,1) % je potreban kako bi se ispunio uslov za ispravno funkcionisanje BSM (Slika 3).

IV. PROCENA POTROŠNJE ENERGIJE U SENZORSKOM ČVORU

Ukupna potrošnja energije za SČ može se prikazati sledećom jednačinom

$$E_{SC} = \int_0^T I_{AVR}(t)V(t)dt \quad (1)$$

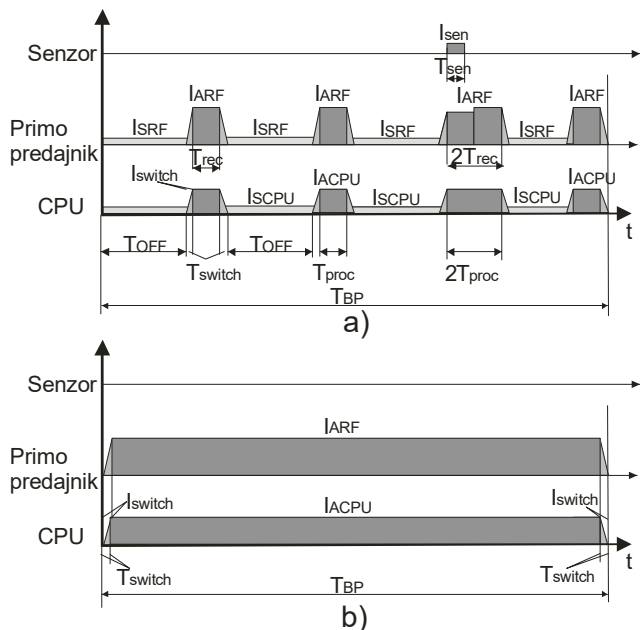
gde E_{sc} predstavlja utrošenu energiju za vreme životnog veka SČ-a; I_{AVR} prosečna struja tokom životnog veka SČ-a; V je napon napajanja a T životni vek SČ-a.

U nameri da se pojednostavi analiza potrošnje SČ pretpostavićemo da je za vreme životnog veka SČ napon napajanja konstantan. Da bi mogli tačno da izračunamo $E_{sc} = I_{AVR} * V * T$ neophodno je da znamo koliko iznosi prosečna struja I_{AVR} i to pojedinačno po svakoj komponenti u SČ-u. Na Slikama 4a. i 4b. respektivno, dati su profili potrošnje (jačina struje) po pojedinim komponentama SČ-a (procesor, primopredajnik i senzor), za vreme faza Cu_St i Ne_Di .

Na osnovu poznavanja principa rada protokola, možemo da pišemo da važi sledeće:

$$I_{AVR} = hI_{AU} + (1-h)I_{AD} + I_{SD} \quad (2)$$

gde je: I_{AU} – prosečna struja u SČ-u za vreme faze Up_Sc ; I_{AD} – prosečna struja u SČ-u za vreme faze Ne_Di ; I_{SD} – struja curenja baterije; i h – vremenski faktor koji nam pokazuje koliko dugo je SČ tokom svog životnog veka proveo u fazi Ne_Di u odnosu na fazu Cu_St . Treba imati u vidu da je prosečna potrošnja za vreme faze Cu_St i faze Up_Sc približno ista, kao i da se tokom celog životnog veka SČ-a, obično faza Ne_Di dogodi najmanje jednom (kod SČ-ova koji se prvi put prijavljuju u BSM-i ili nakon resetiranja SČ-a), tako da važi da je $\lim_{h \rightarrow 1}$



Slika 4. Profil potrošnje el.energije a) Cu_St ; b) Ne_Di

Prosečna struja I_{AU} za vreme faza Cu_St i Up_Sc (vidi Sliku 4.a.), je jednaka:

$$I_{AU} = I_{AUCPU} + I_{AURF} + I_{AUsen} \quad (3)$$

Gde je:

$$I_{AUsen} = I_{sen} \frac{T_{sen}}{T_{BP}}, \quad (4)$$

$$I_{AURF} = nI_{SRF} \frac{T_{OFF}}{T_{BP}} + 2nI_{switch} \frac{T_{switch}}{T_{BP}} + (n+1)I_{ARF} \frac{T_{rec}}{T_{BP}}, \quad (5)$$

$$I_{AUCPU} = nI_{SCPU} \frac{T_{OFF}}{T_{BP}} + 2nI_{switch} \frac{T_{switch}}{T_{BP}} + (n+1)I_{ACPU} \frac{T_{proc} + T_{guard}}{T_{BP}}. \quad (6)$$

gde n predstavlja ukupan broj susednih SČ-ova sa kojima se komunicira.

Prosečna struja, I_{AD} , za vreme faze Ne_Di (vidi Sliku 4b.), je jednaka:

$$I_{AD} = I_{ACPU} + I_{ARF} + 2I_{switch} \frac{T_{switch}}{T_{BP}} \quad (7)$$

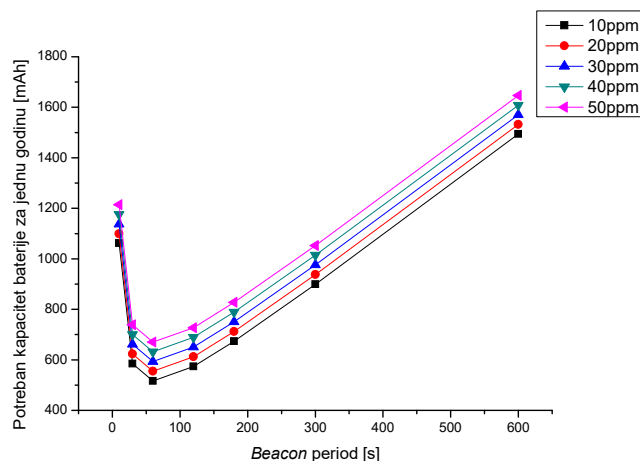
Sa Slike 4a. možemo da vidimo da I_{ACPU} , I_{ARF} , I_{sen} odgovaraju trenutnoj vrednosti potrošnje struje koja je u procesoru, primopredajniku i senzoru, respektivno, kada je SČ u aktivnom režimu rada, dok I_{SCPU} , I_{SRF} odgovara potrošnji struje u procesoru i primopredajniku za vreme kada su oni u neaktivnom režimu rada. Kod procesora MSP430F123 potrebno je $T_{switch}=6 \mu s$ da on iz aktivnog režima rada pređe u neaktivni režim LPM3 (*Low Power Mode 3*). Takođe važi pretpostavka da se struja za vreme perioda T_{switch} linearno menja i da se može izračunati sledećom formulom:

$$I_{switch} = \frac{(I_{ACPU} + I_{ARF} - I_{SCPU} - I_{SRF})}{2} \quad (8)$$

gde je: I_{ACPU} (I_{SCPU}) i I_{ARF} (I_{SRF}) odgovaraju potrošnji struje u procesoru i primopredajniku za vreme aktivnog (neaktivnog) stanja (vidi Sliku 4a.). Zamenom jednačina (4), (5), (6) i (7) u jednačini (2) dobija se formula preko koje može da se izračuna prosečna potrošnja struje I_{AVR} . Ostale vrednosti koje su korišćene prilikom izračunavanja prosečne potrošnje iznose: $I_{ACPU}=300 \mu A$, $I_{ARF}=19700 \mu A$, $I_{SCPU}=1.6 \mu A$, $I_{SRF}=1 \mu A$ i $I_{sen}=1000 \mu A$. Za nepunjivu *lithium-ion* bateriju uzeto je da struja samopražnjenja, I_{sb} , prouzrokuje gubitak kapaciteta baterije od 2% po godini [9].

Na Slici 5 prikazan je grafik funkcije koja pokazuje potreban kapacitet baterije (PKB) za jednogodišnji rad SČ-a u funkciji *beacon* perioda, T_{BP} , i to kada imamo 10 susednih SČ-ova ($p=10$). Kao parametar korišćena je vrednost za nestabilnost kvarcnog oscilatora s_x , dok je vrednost $h = 0.9999884$, odgovarala slučaju da se jednom dnevno (na 24 h) izvrši faza detektovanja novih SČ-ova (faza Ne_Di).

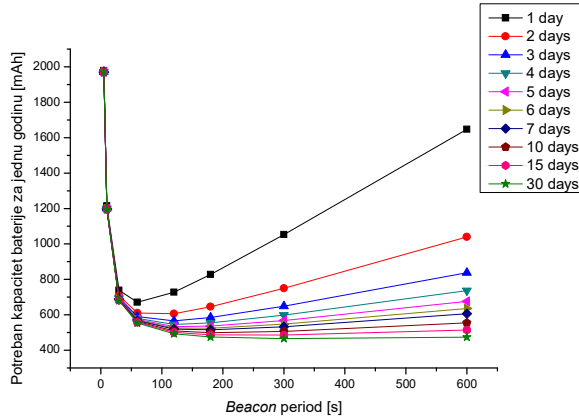
Kao što može da se vidi sa Slike 5, u svim slučajevima, minimalni PKB se dobija za *beacon* period od $T_{BP}=60$ s. Takođe, kako je kvalitet kvarcnog oscilatora bolji ($s_x < 50$), PKB je manji. Na primer, za $s_x = 50$ ppm, minimalni $PKB_{50} = 670$ mAh/godina, dok za $s_x = 10$ ppm minimalni $PKB_{10} = 516$ mAh/godina, što je povećanje PKB za 23 %. Pod istim uslovima, za veći broj SČ-ova ($p > 10$), dobijaju se slični rezultati, tj. kriva $PKB = \varphi(T_{BP})$ ima približno isti oblik kao i one prikazane na Slici 5. Kao primer, za $s_x=50$ ppm i $p = 20$, minimalni $PKB_{50} = 1188$ mAh/godina, dok za $s_x = 10$ ppm dobija se $PKB_{10} = 895$ mAh/godina, što odgovara povećanju PKB za 25 %.



Slika 5. Potreban kapacitet baterije (PKB) u funkciji *beacon* perioda sa s_x kao parametrom

Na Slici 6 prikazan je grafik funkcije koja nam prikazuje potrebnu energiju za jednogodišnji rad SČ u funkciji *beacon* perioda T_{BP} , ali sada sa h kao parametrom, tj. kada se detektovanje novih SČ-ova vrši u rasponu od jednom dnevno, do jednom u trideset dana. Na osnovu tih grafika možemo doneti sledeće zaključke:

- a. Sa opadanjem vrednosti parametra h , potrošnja SČ raste.
- b. U svim slučajevima postoji minimalna potrošnja, ali za različite vrednosti T_{BP} . Na primer, za $h = 0,999988426$ (jedan ciklus dnevno za detektovanje novih SČ-ova) i $T_{BP} = 60s$ dobija se da je $E_{min} = 670$ mAh, dok za $h = 0,9999996$ (jedan ciklus mesečno za otkrivanje novi SČ-ova) i $T_{BP} = 300$ s, dobija se da je $E_{min} = 466$ mAh, što odgovara povećanju PKB od 30.45 %.



Slika 6. Potreban kapacitet baterije u funkciji beacon perioda za različite periode skaniranja SČ-ova

V. ZAKLJUČAK

Uspešnost rada BSM sve više se meri dužinom njenog trajanja. Racionalan utrošak energije postao je osnovni i neophodni zadatak koji treba da ispune gotovo sve aplikacije koje rade u BSM. Međutim zbog mnogih ograničavajućih faktora sredine u kojoj te aplikacije rade, kao i jako ograničavajućih resursa SČ, nije jednostavno pronaći efikasnu metodu koja će sve ovo zadovoljiti. U radu je prikazana jedna od tehnika, korišćenje *rendezvous* protokola, koja po opštem mišljenju nezaobilazna u svim aplikacijama u BSM. Ovaj rad analizirao je kako različiti periodi prozivanja, *beacon* periodi, SČ-ova utiču na potrošnju električne energije. Pravilan izbor beacon perioda može u mnogome da utiče na potrebni kapacitet baterije i u radu je pokazano da on može da varira i do 30 %.

LITERATURA

- [1] Raghunathan V., Ganerival S., Srivastava M., Emerging techniques for long lived wireless sensor networks, IEEE Communication Magazine, Vol. 44, No. 4, 2006, pp. 108-114
- [2] P. K. Dutta, D. E. Culler, System Software Techniques for Low Power Operation in Wireless Sensor Networks, In Proceedings of the ICCAD'05, San Jose, California, USA, 2005, pp. 925-932
- [3] M. Kosanovic, M. Stojcev, "Sensor Node Lifetime Prolonging", TELFOR 2012, Beograd, 20-22.11.2012, pp.178-181
- [4] En Yi Lin, A Comprehensive Study of Power-Efficient Rendezvous Schemes for Wireless Sensor Networks, PhD thesis, University of California, Berkeley, 2005
- [5] E.Y.A.Lin, J.M.Rabaey, A.Wolisz, "Power-Efficient Rendezvous Schemes for Dense Wireless Sensor Networks", In Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC'04), Paris, June 2004
- [6] M.Brzozowski, K.Piotrowski, P.Langendoerfer, "A Cross-layer approach for data replication and gathering in decentralized long-living wireless sensor networks", ISADS 2009, The 9th International Symposium on Autonomous Decentralized System, 2009
- [7] Anton Ageev, "Time Synchronization and Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks", DISI-University of Trento, PhD thesis, March 2010
- [8] Texas Instruments Datasheets, <http://www.ti.com/product/msp430f123>, pos. 14.10.2016
- [9] M.Kosanović, M.Kosanović, M.Stojčev, "Energetski efikasan rendezvous protokol", XIV INFOTEH 2015, pp. 334-339, Jahorina 18-20.03.2015

ABSTRACT

One of the basic preconditions for the effective operation of any application in Wireless Sensor Networks (WSN) is its energy-efficient operation. A very large number of different techniques to solve this problem are developed. One of simple technique which is used is Rendezvous Protocol. The basic idea in this protocol is that the sensor nodes (SN) periodically activate within a specific time interval in which it send and receive data. This protocol has given excellent results in terms of energy savings and therefore higher life expectancy of SNs. In this paper we analyzed the length of the time interval, a beacon, and how it can affect the consumption of electricity in the SNs.

THE EFFECT OF BEAKON PERIOD SIZE SELECTION IN RENDEZVOUS PROTOCOL

Mirko Kosanović, Miloš Kosanović