

# Optimizacija Potrošnje u IoT Uređajima

## Studentski rad

Tijana Begović

Student drugog ciklusa studija  
Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Elektrotehnički fakultet  
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
tijana.begovic@etf.ues.rs.ba

**Sažetak**—IoT uređaji, zajedno sa Embedded sistemima, su sve više prisutni u mnogim oblastima. Njihova primjena donosi mnoge benefite i ima veliki uticaj na poboljšanje svakodnevnog života. Međutim, vrlo je važno razmotriti određena ograničenja i potencijalne probleme. Jedan od njih je pitanje potrošnje budući da se većina uređaja napaja baterijski. Glavni fokus će biti na potrošnji mikrokontrolera kao osnovnom pomenutih sistema, ali i ostale komponente u velikoj mjeri utiču na ukupnu potrošnju. U ovom radu će biti predstavljeni problemi potrošnje IoT uređaja, kao i pregled postojećih metoda optimizacije.

**Ključne riječi**—IoT uređaji; mikrokontroler; potrošnja; metode optimizacije

### I. UVOD

Uređaji Interneta stvari su sve više prisutni u mnogim sferama i poljima života. Koncept Interneta stvari je baziran na mrežama velikog broja „stvari“ koje su povezane u cilju prikupljanja i razmjene podataka. Stvari obuhvataju senzore, aktuatore, mašine, zgrade, objekte, pa čak i ljude [1].

IoT uređaji i aplikacije se smatraju pametnim zbog mogućnosti autonomnog rada. Ovaj pristup donosi mnoge benefite u različitim primjenama (kućna automacija, pametni saobraćaj, industrija, poljoprivreda). Međutim, postoje određena ograničenja koja se moraju razmotriti, kao što su sigurnost, pouzdanost i isplativost [2].

Kako bi se postigao neometan rad i iskoristio pun potencijal IoT aplikacija, neophodno je obezbijediti odgovarajući izvor napajanja. Svi izvori se mogu podijeliti u tri grupe: skladištena energija (baterije, gorivne ćelije), distributivna energija (mreža, RF radijacija), i prikupljena energija (solarna, energija vjetra) [3]. Različiti izvori se koriste u skladu sa potrebama, zadacima i lokacijom IoT uređaja. Ipak, uvijek je neophodno obezbijediti pouzdan izvor za postizanje najboljih performansi uz minimalnu potrošnju [4].

Potrošnja treba da bude razmotrena u sva tri načina napajanja. Zависи od mnogih faktora, a razlikuje se i od prirode izvora [3]. Većina IoT uređaja, kao što su nosiva i pokretna elektronika, te uređaji na nepristupačnim i udaljenim lokacijama, se napaja baterijskim izvorima. Vrlo je važno

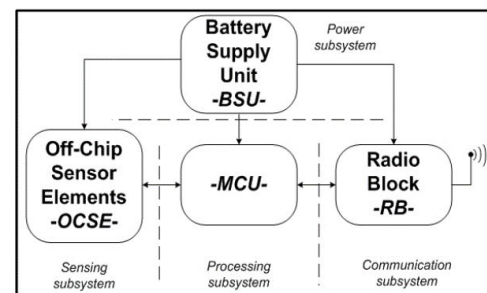
postići dugo vrijeme rada i energetska efikasnost. Dakle, potrošnja mora biti minimizovana, a životni vijek baterije produžen što je više moguće [5].

U ovom radu će biti dat pregled metoda optimizacije potrošnje. Glavni cilj je predstavljanje mogućih rješenja pomenutog problema. U drugom poglavlju biće opisani problemi potrošnje IoT uređaja. Nekoliko metoda optimizacije potrošnje mikrokontrolera i ukupne potrošnje biće razmatrane u trećem i četvrtom poglavlju. Dok peto poglavlje daje opis power gating tehnike.

### II. POTROŠNJA U IOT UREĐAJIMA

Najčešći IoT uređaji sa baterijskim napajanjem su senzorski čvorovi (pojedinačni ili grupisani u mreže). Uglavnom su postavljeni na nepristupačnim mjestima, te je samim tim održavanje otežano. Budući da su baterije ograničeni izvori napajanja, vrlo važno je osigurati najduži životni vijek uređaja, odnosno, minimizovati potrošnju [6].

Arhitektura senzorskih čvorova (Sl. 1) se razlikuje prema primjeni i namjeni. Svi senzorski čvorovi se sastoje od četiri gradivna bloka: mikrokontrolerska jedinica (obrada podataka), senzorska jedinica (prikupljanje podataka), komunikacijska jedinica (razmjena podataka), napojna jedinica [5]. Svi blokovi troše različite količine energije u zavisnosti od njihovih potreba i vremena rada. Pregled uloge pojedinih blokova i uticaja na potrošnju dati su u Tabeli I.



Slika 1. Blok šema senzorskog čvora [5]

TABELA I. PREGLED GRADIVNIH BLOKOVA SENZORSKOG ČVORA

Gradivni blok senzorskog čvora	Uloga u radu senzorskog čvora	Kritični procesi	Uticaj na potrošnju čvora
Mikrokontrolerska jedinica	Akvizicija, obrada, logovanje podataka; kontrola rada čvora u cjelini	Skladištenje podataka, struje curenja	Vrlo veliki
Senzorska jedinica	Prikupljanje podataka	Struje curenja	Značajan
Komunikacijska jedinica	Prijem i slanje podataka	Slanje podataka (aktivni režim)	Veliki

#### A. Potrošnja mikrokontrolera

U IoT aplikacijama koje su bazirane na senzorskim čvorovima, mikrokontroleri troše velike količine energije. Potrošnja zavisi od mnogih faktora te je stoga nije jednostavno izmjeriti. Mikrokontroleri troše energiju i u aktivnom i u režimima spavanja. Potrošnja periferala i operacija skladištenja podataka je kritična. Svi ovi faktori se moraju razmotriti budući da utiču na životni vijek baterije [7].

Najčešće se razmatra potrošnja u aktivnom režimu rada jer se većina procesa odvija upravo u ovom režimu. Ipak, i potrošnja u stanju mirovanja ima uticaj na ukupnu potrošnju i ne smije se zanemariti. Mikrokontroler provodi većinu vremena u režimima spavanja. Bez obzira što je procesor neaktivan, neki periferali ostaju aktivni i troše energiju. Takođe, struje curenja su uvijek prisutne i utiču na potrošnju [8].

Moderni mikrokontroleri su u potpunosti integrisane komponente. Većina periferala su neodvojivi dijelovi mikrokontrolerskih razvojnih ploča. Različiti analogni i digitalni interfejsi omogućavaju osnovne funkcionalnosti i osobine razvojnih ploča. Vrijeme uzorkovanja i rezolucija A/D konverzije, upotreba eksternih i internih referentnih napona, brzina prenosa i format podataka u serijskoj komunikaciji (UART, SPI, I2C) značajno utiču na energetske efikasnost mikrokontrolera. Mikrokontroleri uglavnom moraju skladištiti prikupljene podatke, te i datalogging predstavlja kritičan proces [7].

#### B. Potrošnja u ostalim blokovima

Iako su mikrokontroleri primarni potrošači u senzorskim čvorovima i drugim IoT uređajima, značajne količine energije su potrebne za ostale gradivne blokove. Procesni mjerenja i komunikacije odnosno prikupljanja i razmjene podataka takođe troše značajne količine energije.

Senzorska jedinica, koja se sastoji od različitih digitalnih i analognih senzora, ima ulogu da mjeri različite parametre i njihove vrijednosti proslijeđuju mikrokontroleru. Sve funkcionalnosti (mjerenje, konverzija, prenos) troše različite

količine energije. Potrošnja zavisi od dizajna kola, primjene, režima rada i karakteristika senzora.

Moduli komunikacije predstavljaju vrlo važan dio senzorskog čvora budući da nije dovoljno samo prikupiti i obraditi podatke. Podatke je uglavnom potrebno poslati na dalju obradu. Velike količine energije se troše i za prijem i za slanje podataka, te komunikacioni moduli predstavljaju značajne potrošače prilikom aktivnog rada. Potrošnja zavisi od tipa modula (WiFi, Bluetooth, GSM), kao i od dužine i tipa podataka koji se šalju [9].

### III. OPTIMIZACIJA POTROŠNJE MIKROKONTROLERA

Kao što je ranije rečeno, mikrokontroleri su glavni potrošači energije u senzorskim čvorovima i IoT uređajima budući da oni obavljaju većinu zadataka. Ušteda energije je kritičan proces, jer je potrebno istovremeno osigurati optimalne uslove rada.

Prvi korak u optimizaciji potrošnje je odabir odgovarajućeg režima rada. Većina mikrokontrolera ima različite režime spavanja, koji se koriste za zaustavljanje rada pojedinih periferala ili mikrokontrolera u cjelini. Buđenje iz ovih režima se odvija na različite načine i zahtjeva različito vrijeme. Korišćenje modova spavanja je isplativo, ali je vrlo bitno izabrati najpogodniji. Neki od ovih režima rada neće donijeti očekujuće rezultate, dok drugi mogu dovesti do gubitka podataka. Stoga, odgovarajući režim rada mora biti pažljivo izabran [10].

Režimi rada mikrokontrolera se grubo mogu podijeliti na aktivni i režime spavanja. Aktivni režim je zadužen za izvršavanje programa i interakciju sa drugim komponentama. Sa druge strane, u režimima spavanja, rad mikrokontrolera je ograničen i potrošnja je smanjena. Postoje režimi spavanja u kom je izvršenje programa zaustavljeno, ali su svi periferali aktivni (npr. „Idle sleep mode“). Drugi režimi omogućavaju rad samo nekolicine periferala (npr. „Standby sleep mode“ ili „Light – Sleep“), a ostali zaustavljaju sve gradivne dijelove izuzev nekih tajmerskih funkcija koje se koriste za buđenje (npr. „Power – Down sleep mode“ ili „Deep – Sleep“). Pogodno je da mikrokontroler što kraće radi u aktivnom režimu u cilju smanjenja potrošnje, odnosno da većinu vremena provodi u nekom od režima spavanja [11].

Istraživači sa Koledža računarskih nauka i tehnologije, sa Univerziteta Zhejiang su u [12] analizirali uticaj različitih režima spavanja na ukupnu potrošnju. Različiti režimi su donijeli i različite rezultate. Uopšteno, svi su doveli do smanjenja potrošnje. Međutim, prelazni procesi (stanje buđenja) mogu biti kritični jer zahtijevaju više energije za reinicijalizaciju periferala. Ovim je potvrđeno da režim mirovanja mora biti pažljivo izabran u skladu sa potrebama i primjenom uređaja. Ipak, rad u režimima mirovanja predstavlja pogodnu optimizacionu metodu.

Drugi faktori koji značajno utiču na potrošnju su radna frekvencija i napajanje. Istraživanja u [13] pokazuju da rad na višim frekvencijama smanjuje potrošnju jer je potrebno manje vremena za izvršenje procesa. Bitno je napomenuti da potrošnja istovremeno zavisi i od napajanja budući da veće frekvencije zahtijevaju veće napone napajanja. Međutim, niže frekvencije u velikoj mjeri produžavaju vrijeme izvršenja, a samim tim se povećava i potrošnja [14]. Promjene frekvencije ne utiču na potrošnju samog procesora, ali imaju veliki uticaj na rad periferala. Zaključuje se da se smanjenje ukupne potrošnje može postići povećanjem radne frekvencije [12]. Takođe, napon napajanja mora biti pravilno izabran. Kao što je već rečeno, u velikoj mjeri zavisi od izabrane frekvencije. Moderni mikrokontroleri imaju definisane gornje i donje granice napona napajanja, te ga je potrebno izabrati u tom opsegu pri čemu je neophodno obezbijediti ispravan rad na ranije izabranoj frekvenciji. Izbor nivoa napona napajanja zavisi i od tipa aplikacije budući da neke od njih ne zahtijevaju kompleksne procese i proračune [14].

Pored navedenih, postoji još nekoliko metoda optimizacije potrošnje. Neke od njih su grupisanje instrukcija, optimizacija koda, upotreba operativnog sistema u realnom vremenu, višejezgarne arhitekture, brzina prenosa podataka, dužina podataka, fleksibilna hardverska rješenja i slično. Ove metode pojedinačno neće značajno uticati na potrošnju, ali kombinovane sa drugim mogu biti korisne i dati doprinos [15].

#### IV. OSTALE METODE OPTIMIZACIJE POTROŠNJE

Iako je mikrokontroler glavni potrošač energije u senzorskim čvorovima i drugim IoT uređajima, ne smije se zanemariti ni uticaj ostalih komponenti. I senzorska i komunikaciona jedinica zahtijevaju značajne količine energije, tako da treba uzeti u obzir i njihovu potrošnju. U ovom poglavlju će biti razmotreno nekoliko pristupa za optimizaciju potrošnje. Ovi pristupi se razlikuju po načinu realizacije i uticaju na ukupnu potrošnju uređaja.

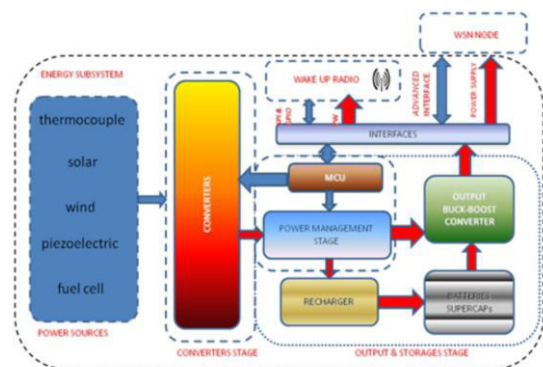
U [16] su analizirani ponašanje i potrošnja senzorskog čvora u pet različitim stanja. Prvo stanje je *deep – sleep* režim, drugo je *half – idle*, a treće je *half – idle* koje koristi Rx kanal za buđenje. Četvrto i peto stanje su *idle* i *active*. Analizirani su i prelazni periodi između pomenutih stanja. Potrošnja energije raste sa povećanjem stanja, kako je bilo i očekivano. Međutim, potrošnja se razlikuje čak i tokom stanja mirovanja u zavisnosti od statusa senzorskog čvora. Rezultati su pokazali ogroman procenat smanjenja potrošnje (do 74%) kada je cijeli čvor u stanju mirovanja. Pogodno je držati sve komponente u režimu mirovanja što je više moguće i omogućiti da rade što kraće (proces koji obuhvataju i mjerenje i komunikacije).

Uprkos najnižoj potrošnji energije u *deep – sleep* režimu, procesi tranzicije koji uključuju procese ponovnog pokretanja zahtijevaju značajne količine energije. Dakle, potrebno je izračunati faktor ispunje rada IoT uređaja. Potrebno je uzeti u obzir vrijeme aktivnosti i neaktivnosti uređaja, kao i potrošnju

u različitim scenarijima. Ovaj pristup u optimizaciji (određivanja faktora ispunje) je veoma dobro rješenje za primjene koje obuhvataju mali broj operacija tokom fiksnog vremenskog intervala (npr. nekoliko puta dnevno) [17].

Realizacija napojne jedinice takođe utiče na ukupnu potrošnju. Ograničenja u baterijskim napajanjima se mogu prevazići omogućavanjem punjenja baterija ili superkondenzatora. U tu svrhu se koristi energija dobijena iz okoline. Postoji mnogo različitih izvora energije koji se mogu koristiti (solarna, piezoelektrična, elektrostatička, termalna). Pogodno je koristiti dva ili više zajedno kako bi se osigurao ispravan rad. Na Sl. 2 je dat primjer sistema sa više izvora i drugih mogućnosti [18]. Međutim, takođe je neophodno dizajnirati i odgovarajuće kolo za upravljanje napajanjem. Sve podsisteme i komponente treba pažljivo odabrati. Kola za prenos energije treba da donesu poboljšanja u potrošnji i da obezbijede da se većina prikupljene energije koristi za specifične komponente i zadatke bez rasipanja [19].

Prenos podataka i ostvarivanje komunikacije su značajni potrošači energije. Usvojena je ideja da sinhroni sistemi zahtijevaju više energije od asinhronih. Iako većina IoT uređaja radi asinhrono, i dalje je potrebno obezbijediti smanjenje potrošnje. Metode korišćenja Rx kanala za buđenje su pogodno rješenje u ovom slučaju [18]. Neke od ovih tehnologija i arhitektura su predložene u [20] – [23]. Sva predložena rješenja su jeftina, jednostavna i efikasna. Rezultati testova su pokazali smanjenje potrošnje. Iako su neka od ovih rješenja namijenjena drugim tipovima sistema, mogu se primijeniti u IoT uređajima u cilju optimizacije potrošnje energije.



Slika 2. Blok dijagram sistema sa više izvora [18]

Struje curenja su ogroman i kritičan faktor u potrošnji energije. Čak i kada su neki senzori ili aktuatori isključeni i mikrokontroler ne komunicira sa njima, oni mogu biti značajni potrošači. Da bi se isključio ovaj negativan uticaj, neka hardverska rješenja bi trebalo da se implementiraju u IoT uređaje i senzorske čvorove. U ovom slučaju su primjenljive power gating metode. Ove metode se koriste za uključivanje/isključivanje dijelova čvora kada je to neophodno

[18]. Primjena i prednosti ovog pristupa biće opisani u sljedećem poglavlju.

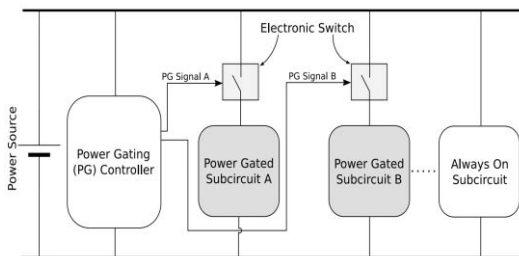
## V. POWER GATING TEHNIKA

Efikasna metoda za eliminaciju struje curenja je power gating tehnika: neaktivne komponente se isključuju sa napajanja.

Power gating kola su zasnovana na PMOS ili NMOS tranzistorima visokih performansi koji se koriste kao prekidači. Pomenuta kola treba da obezbijede minimalan pad napona i pouzdano napajanje blokova koji se isključuju [24]. Implementacija ovih kola nije tako jednostavna. Prilikom projektovanja kola za napajanje potrebno je uzeti u obzir uticaj dizajna na druge dijelove kola, dizajn prekidača, električne karakteristike procesa buđenja, izolaciju izlaza [25]. Takođe, postoji nekoliko negativnih efekata, kao što su šum napona i potrošnja energije. Dakle, neophodno je pronaći ravnotežu između koristi i cijene ove tehnike. Međutim, rezultati ispitivanja i praktični primjeri potvrđuju da je power gating tehnika dobro i pouzdano rješenje [26].

Power gating je moćna metoda za smanjenje potrošnje u IoT aplikacijama. S obzirom da se sve komponente ne moraju napajati istovremeno, ova tehnika bi mogla značajno doprinijeti optimizaciji potrošnje. Komponente kao što su senzori, aktuatori i komunikacioni moduli se periodično uključuju ili isključuju u zavisnosti od njihove funkcionalnosti i uloge. Prekidači troše male količine energije, ali je to zanemarljivo u odnosu na dugoročni uticaj struja curenja [27].

U [28] – [30], predstavljene su primjene power gating tehnike u senzorskim čvorovima. Ovi radovi pružaju detaljan uvid u različite dizajne power gating kola, kao i njihove karakteristike. Sve arhitekture imaju zajedničke osobine: više prekidača se koristi za isključivanje jednog ili više dijelova čvora, postoje jedinice za upravljanje napajanjem koje kontrolišu proces uključivanja/isključivanja. Blok šema osnovne arhitekture power gating kola je data na Sl. 3. Princip rada i funkcionalnosti se razlikuju, ali svi postižu iste rezultate. Power gating tehnika je jeftino, efikasno i pouzdano rješenje za optimizaciju potrošnje energije.



Slika 3. Blok dijagram osnovnog power gating kola [28]

## VI. ZAKLJUČAK

IoT aplikacije su široko rasprostranjene danas. Koncept Interneta stvari donosi benefite u mnogi poljima kao što su industrija, vojska, poljoprivreda, kućna automacija i slično. Međutim, neophodno je razmotriti nekoliko ograničenja: sigurnost, pouzdanost i isplativost.

Potrošnja energije predstavlja jedno od najvećih ograničenja. Sve komponente zahtijevaju određene količine energije za pouzdan i ispavan rad. Potrebno je redukovati potrošnju što je više moguće bez ometanja ispravnog rada. Potrošnja treba da bude minimalna bez obzira na vrstu napajanja koje se koristi. Optimizacija potrošnje baterijskih uređaja je svakako najveći izazov budući da su baterije ograničeni izvori energije.

U ovom radu je predstavljen pregled najčešćih i najefikasniji metoda optimizacije potrošnje (Tabela II). Fokus je stavljen na senzorske čvorove budući da se najčešće napajaju baterijski, kao i da se postavljaju na nepristupačne lokacije što otežava održavanje. Senzorski čvor se sastoji od četiri gradivna bloka: procesorske jedinice, senzorske jedinice, jedinice za komunikaciju, te napojne jedinice. Sve one, izuzev posljednje, troše energiju. Mikrokontroleri su, kao osnovne komponente, glavni potrošači u čvoru. Ipak, značajne količine energije su potrebne i za procese prikupljanja i razmjene podataka.

TABELA II. PREGLED PREDSTAVLJENIH METODA OPTIMIZACIJE

Metoda optimizacije potrošnje	Opis optimizacione metode	Primjena optimizacione metode
Izbor režima rada mikrokontrolera	Optimizacija potrošnje usljed primjene odgovarajućih režima mirovanja i prelaznih procesa	Pogodno za sve vrste primjene
Podešavanje radne frekvencije i napajanja mikrokontrolera	Povećanje radne frekvencija i usklađivanje napona napajanja u cilju redukovanja vremena izvršenja procesa	Pogodno za većinu aplikacija, zavisi od kompleksnosti procesa
Podešavanje faktora ispunje	Podešavanje vremena aktivnosti i neaktivnosti senzorskog čvora	Pogodno za primjene sa malim brojem operacija na dužem vremenskom periodu
Prilagođenje napojne jedinice	Obezbeđivanje punjenja baterija korišćenjem energije prikupljene iz okoline	Aplikacije na otvorenom, sa dostupnim eksternim izvorima energije
Prilagođenje procesa komunikacije	Asinhroni prenos podataka, korišćenje Rx kanala za buđenje mikrokontrolera	Aplikacije u kojima je komunikacija izrazito kritičan proces (kontinualna razmjena podataka)
Power gating tehnika	Isključivanje neaktivnih komponenti sa napajanja	Aplikacije sa povremeno aktivnim senzorskim i komunikacionim modulima, te izraženim uticajem struja curenja

Metode koje se koriste za optimizaciju potrošnje mikrokontrolera su: izbor režima rada, povećanje radne frekvencije, prilagođenje napona napajanja, optimizacija koda, upotreba operativnog sistema. Sve metode doprinose manje ili više, a najbolje rješenje je kombinacija više njih. Optimizacija ukupne potrošnje IoT uređaja se može postići prilagođenjem napojnog kruga, omogućavanjem rada u različitim režimima, ili korišćenjem tehnologija buđenja.

Power gating tehnologija se izdvaja kao jedna od najpogodnijih metoda. Ona omogućava uključanje ili isključenje pojedinih dijelova sistema. Jednostavno i pažljivo dizajnirano power gating kolo periodično uključuje odgovarajuće blokove u skladu sa njihovom ulogom i funkcionalnostima.

Da zaključimo, iako potrošnja energije u IoT uređajima predstavlja jedan od najčešćih izazova, postoji nekoliko pouzdanih i efikasnih metoda optimizacije potrošnje. Potrošnja može značajno biti smanjena bez uticaja na rad i funkcionisanje sistema. Ovim je moguće postići balans između performansi i cijene.

#### ZAHVALNICA

Autor se zahvaljuje prof. dr Slobodanu Luburi na pomoći i savjetima prilikom pisanja rada.

#### LITERATURA

[1] A. Reyes, S. Salam, "Internet of Things (IoT) Overview," In *Internet of Things from Hype to Reality*. Springer, Cham, 2022, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90158-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90158-5_1)

[2] K. Rose, S. Eldridge, L. Chapin, "The Internet of Things (IoT): An Overview", *Internet Society*, 2015.

[3] A. Raj, D. Steingart, "Review—Power Sources for the Internet of Things", *Journal of The Electrochemical Society*, 165(8), B3130 - B3136, 2018.

[4] Y. Akimoto, H. Takezava, Y. Iijima, S. Suzuki, K. Okajima, "Comparative analysis of fuel cell and battery energy systems for internet of Things devices", *Energy reports* (6), pp. 29 – 35, 2020.

[5] G. Nikolic, M. Stojcev, Z. Stamenkovic, G. Panic, "Wireless Sensor Node with Low-Power Sensing", *FACTA UNIVERSITATIS Series Electronics and Energetics*, Vol. 27(3), pp. 435 – 453, September 2014.

[6] O. Brini, D. Deslandes, F. Nabki, "A Model-Based Approach for the Design of Ultra-Low Power Wireless Sensor Nodes ", 2018 16th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), IEEE, 2018.

[7] J. Borgeson, S. Schauer, H. Diewald, "Benchmarking MCU power consumption for ultra-low-power applications, White paper, Texas Instruments, 2012.

[8] A. M. Holberg, A. Saetre, "Innovative Techniques for Extremely Low Power Consumption with 8-bit Microcontrollers", White paper, Atmel, 2006.

[9] J. T. Ogbiti, H. C. Ukwuoma, S. Danjuma, M. Ibrahim, "Energy Consumption in Wireless Sensor Network", *Computer Engineering and Intelligent Systems*, Vol. 7, No. 8, IISTE, 2016.

[10] J. Yiu, "Low Power and System Control Features," In *The Definitive Guide to Arm® Cortex®-M3 and Cortex®-M4 Processors*, Newnes, pp. 289 – 326, 2014.

[11] I. Poap, "AVR DA Low-Power Features and Sleep Modes," *Application Note, Microchip*, 2020.

[12] H. Wu, C. Chen, K. Weng, "An Energy-Efficient Strategy for Microcontrollers," *Applied Science*, Vol. 11, Issue 6, MDPI, March 2021.

[13] M. M. Al-Kofahi, M. Y. Al-Shorman, O. M. Al-Kofahi, "Toward energy efficient microcontrollers and Internet-of-Things systems," *Computers and Electrical Engineering*, Vol. 79, Elsevier, 2019.

[14] K. Mikhaylov, J. Tervonen, "Optimization of microcontroller hardware parameters for Wireless Sensor Network node power consumption and lifetime improvement," *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, IEEE, 2010.

[15] R. Cheour, S. Khriji, M. Abid, O. Kanoun, "Microcontrollers for IoT: Optimizations, Computing Paradigms, and Future Directions", 2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), IEEE, 2020.

[16] S. You, J. K. Eshraghian, H. C. Iu, K. Cho, "Low-Power Wireless Sensor Network Using Fine-Grain Control of Sensor Module Power Mode," *Sensors*, Vol. 21, Issue 9, MDPI, May 2021.

[17] S. Rai, "How to Greatly Improve Battery Power Efficiency for IoT Devices," *Technical Article, Analog Devices*, 2023.

[18] E. Popovici, M. Magno, S. Marinkovic, "Power Management Techniques for Wireless Sensor Networks: A Review," 5th IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces IWASI, IEEE, 2013.

[19] Z. J. Chew, T. Ruan, M. Zhu, "Power Management Circuit for Wireless Sensor Nodes Powered by Energy Harvesting: On the Synergy of Harvester and Load," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 34, Issue 9, IEEE, 2019.

[20] F. Pflaum, R. Weigel, A. Koelpin, "Ultra-low-power sensor node with wake-up-functionality for smart-sensor-applications," 2018 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet), IEEE, 2018.

[21] S. Tang, H. Yomo, Y. Kondo, S. Odana, "Wake-up receiver for radio-on-demand wireless LANs," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Springer, pp. 1 – 13, 2012.

[22] S. Marinkovic, E. Popovici, "Nano-Power Wireless Wake-Up Receiver with Serial Peripheral Interface," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 29, Issue 8, IEEE, pp. 1641 – 1647, August 2011.

[23] V. Jelcic, M. Magno, D. Bruneli, V. Bilas, L. Benini, "Analytic Comparison of Wake-up Receivers for WSNs and Benefits over the Wake-on Radio Scheme," *Proceedings of the 7th ACM workshop on Performance monitoring and measurement of heterogeneous wireless and wired networks*, pp. 99 – 106, October 2012.

[24] R. Korah, N. Vijayan, "Power Reduction in Logic Circuits Using Power Gating For Deep Sub-Micron CMOS VLSI," *Alliance International Conference on Artificial Intelligence and Machine Learning (AICAAM)*, pp. 201 – 223, 2019.

[25] Y. Shin, J. Seomun, KM. Choi, T. Sakurai, "Power Gating: Circuits, Design Methodologies, and Best Practice for Standard-Cell VLSI Designs," *ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems*, Vol. 15, No. 4, Article 28, ACM, September 2010.

[26] H. Jiang, M. Marek – Sadowska, S. R. Nassif, "Benefits and Costs of Power-Gating Technique," 2005 International Conference on Computer Design, IEEE, pp. 559 – 566, 2005.

[27] H. Jayakumar, K. Lee, W. S. Lee, A. Raha, Y. Kim, V. Raghunathan, "Powering the Internet of Things," 2014 International Symposium on Low Power Electronics and Design, pp. 375 – 380, August 2014.

[28] N. Pawar, T. Bourgeau, H. Chaouchi, "Power Gating and Its Application in Wake-Up Radio," *EWSN*, pp. 218 – 223, 2020.

[29] M. Pinzi, A. Pozzebon, "Low-cost power gating solution to increase energy efficiency optimizing duty cycling in wireless sensor nodes with power-hungry sensors," *IET Wireless Sensor Systems*, Vol. 9, Issue 1, IET, pp. 25 – 31, 2018.

[30] G. Panic, Z. Stamenkovic, R. Kraemer, "Power Gating in Wireless Sensor Networks," 2008 3rd International Symposium on Wireless Pervasive Computing, IEEE, pp. 499 – 503, 2008.

#### ABSTRACT

IoT devices, along with embedded systems, are more and more present in many fields. Their applications bring many benefits and have huge impact on everyday life improvements. However, it is very important to consider some constraints and potential costs. One of them is power consumption issue as most of the devices are battery operated. Microcontrollers, as basic components, will be mainly considered, but other parts and components also affect overall consumption. In this paper,

devices lifetime and consumption problems will be presented. Main goal is to give overview of existing optimization methods.

#### **CONSUMPTION OPTIMIZATION IN IoT DEVICES**

Tijana Begović