

Upravljanje sistemom osvetljenja u pametnim zgradama

Miloš Milošević, Nenad Četić, Jelena Kovačević, Tihomir Anđelić

Apstrakt—Ovaj rad predlaže jedno rešenje za regulaciju i upravljanje rasvetom u pametnoj kući. Rad se oslanja na *OBLO Living* sistem, idejno rešenje naučno-istraživačkog instituta „RT-RK“ u oblasti kućne automatizacije. Rad uključuje i primenu *Raspberry Pi* računara u ulozi centralne jedinice za računanje upravljanja. Srž rada odnosi se na metode automatskog upravljanja primenjene u okviru sistema za regulaciju osvetljenosti.

Ključne reči—*Internet of Things*; kućna automatizacija; upravljanje osvetljenjem; *Raspberry Pi*

I. UVOD

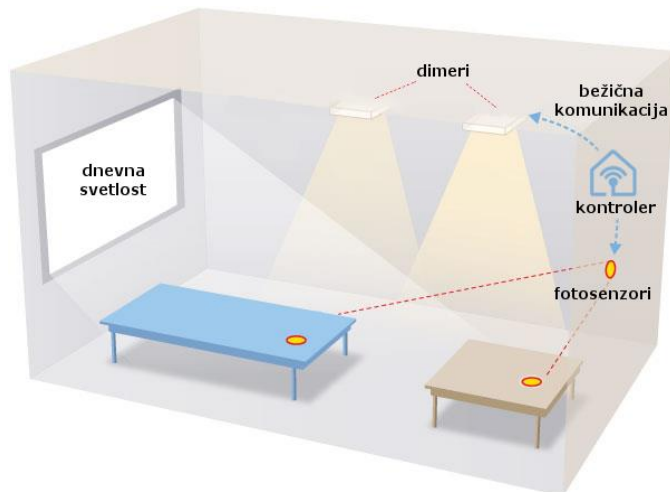
Svedoci smo naglog razvoja tehnologije i činjenice da moderni uređaji, sve brži računari i automatizovani sistemi nalaze primenu u mnogim oblastima ljudskog života te nepovratno utiču na promenu stila života. Upravo su razvoj tehnologije i želja za lagodnijim životom rezultovali pojavom pametnih kuća, sistema kontrole nad uređajima u stambenom objektu.

Termin pametna kuća podrazumeva kuće opremljene sistemima za upravljanje (engl. *Building management system*) ili skraćeno BMS. Sa inženjerskog stanovišta, BMS predstavlja distribuirani kompjuterski sistem upravljanja čija je uloga kontrola nad električnim i mehaničkim instalacijama unutar jedne zgrade [1].

Jedan od podsistema BMS-a tiče se i upravljanja osvetljenjem. Sistemi za upravljanje osvetljenjem u svom radu koriste veliki broj fotosenzora i senzora prisutnosti, a omogućavaju kontrolu uključenja, isključenja i zatamnjenja svetala (engl. *dimming*). Sijalice koje imaju mogućnost podešavanja količine svetlosti koje predaju okolini nazivamo dimerima i takve sijalice igraju centralnu ulogu u sistemima za upravljanje osvetljenjem [2].

U sprezi fotosenzora i nekoliko dimera moguće je održavati količinu svetlosti u prostoriji nezavisno od doba dana. Dakle, u svitanje vrši se zatamnjenje svetala, a u sumrak se pojačava osvetljenje prostorije. Slika 1 ilustruje postavku opisanog sistema. Rešavanjem problema održavanja konstantne osvetljenosti prostorije bavi se i ovaj rad. U ulozi

kontrolera ovoga puta našao se *Raspberry Pi*, a bežična komunikacija ostavarena je putem *Z-Wave* i *ZigBee* komunikacionih protokola.



Sl. 1. Postavka sistema za održavanje osvetljenosti u prostoriji

Ovaj rad sastoji se od sedam poglavlja. Nakon uvodnog poglavlja koje govori o sistemima kućne automatizacije, u drugom poglavlju, opisan je *Internet of Things* koncept. Treće poglavlje ukratko predstavlja *OBLO Living* sistem, idejno rešenje naučno-istraživačkog instituta „RT-RK“ u oblasti kućne automatizacije. Četvrto i peto poglavlje odnose se na arhitekturu i implementaciju predloženog rešenja. U šestom poglavlju dati su rezultati ispitivanja rešenja. Na samom kraju rada nalazi se zaključak i osvrt na uspešnost realizacije.

II. INTERNET OF THINGS SVET

Internet of Things (IoT) predstavlja veoma mladu i popularnu naučno-tehnološku oblast. U moderno doba o IoT-u govorimo kao o infrastrukturi informacionog društva. U IoT-u se sve tiče informacija. Glavni koncept ove oblasti odnosi se na nesmetano prenošenje podataka i ostvarivanje komunikacije u kojoj ne mora učestvovati čovek. Ideja je da se u veliki broj uređaja u našoj okolini ugrade komunikacioni moduli i na taj način formira ogromna mreža te omogućiti brz prenos informacija sa uređaja na uređaj. Informacije bi nesmetano kružile i bile bi obrađivane u realnom vremenu. U takvom konceptu, neki uređaji su samo izvor informacija, drugi imaju ulogu prosleđivanja, a postoje i uređaji koji obrađuju informacije i u skladu sa njima reaguju.

Da bi sve bilo još jasnije, uzmimo jedan primer. Pre ne tako puno, 2007. godine, na putu I35W, usred grada Mineapolisa

Miloš Milošević – RT-RK, Narodnog fronta 23a, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: milos.milosevic@rt-rk.com).

Nenad Četić – RT-RK, Narodnog fronta 23a, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: nenad.cetic@rt-rk.com).

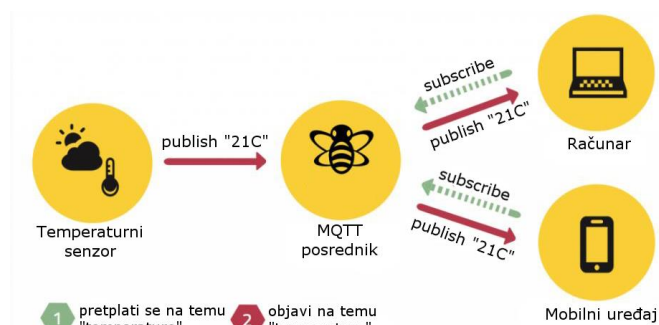
Jelena Kovačević – RT-RK, Narodnog fronta 23a, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: jelena.kovacevic@rt-rk.com).

Tihomir Anđelić – RT-RK, Narodnog fronta 23a, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: tihomir.andjelic@rt-rk.com).

se srušio most. Tom prilikom trinaestoro ljudi je izgubilo život. Uzrok je bila loša konstrukcija koja nije mogla da podnese broj vozila koji se u tom trenutku našao na mostu [3]. Koncept IoT-a predlaže šta je moglo biti drugačije. Ukoliko bismo u konstrukciju mosta ugradili veliki broj jednostavnih senzora čija bi uloga bila praćenje napona materijala ili uključili senzore koje će brojiti vozila koja se trenutno nalaze na mostu, u svakom trenutku bismo znali koliko je opterećenje mosta i koliko tereta može još da podnese. Ako tome dodamo i automobile koji umeju da komuniciraju u duhu IoT-a, oni bi o opterećenju mosta mogli da obaveste svog vozača pa čak i preduzmu neku akciju umesto njega. Štaviše, informaciju o opterećenju mosta mogli bi da iskoriste i uređaji za navigaciju i u skladu sa time vozače upute na optimalne puteve.

Za potrebe komunikacije u IoT svetu koriste se dobro poznati bežični komunikacioni protokoli kao što su *Bluetooth* i *WiFi*. Za potrebe komunikacije u oblasti kućne automatizacije razvijeni su posebni bežični komunikacioni protokoli, *Z-Wave* i *ZigBee* [4][5]. Ovi protokoli svoj rad zasnivaju na radio komunikaciji i odlikuju se visokim nivoom ekonomičnosti. Čipovi koji se ugrađuju u uređaje i omogućavaju *Z-Wave* i *ZigBee* komunikaciju su malih dimenzija i dometa do 100 m. Ovako mali domet ne može da obezbedi komunikaciju unutar cele kuće i učinio bi *Z-Wave* i *ZigBee* uređaje beskorisnim da oba protokola ne podržavaju *mesh* komunikaciju u kojoj svaki uređaj može da pošalje novu poruku, ali i da prosledi poruku koja nije namenjena njemu.

Rad sistema za kućnu automatizaciju upotpunjuje i novi protokol za prenos podataka poznat kao MQTT. Ovaj protokol se odlikuje jako prostim i malim potpisom što ga čini pogodnim u situacijama kada uređaji imaju ograničene resurse u pogledu mrežnog protoka ili utroška energije. MQTT komunikaciona mreža sastoji se iz dva tipa entiteta, klijenata (engl. *MQTT clients*) i posrednika (engl. *MQTT broker*). Klijenti nemaju mogućnost direktne komunikacije već se razmena podataka vrši isključivo preko posrednika. Adresiranje poruka vrši se korišćenjem tema (engl. *topic*) i zasniva se na principu objavljivanja i pretplate (engl. *publish/subscribe*). Svaki od klijenata može se pretplatiti na temu ili poslati poruku na neku temu. Zadatak posrednika je da pristiglu poruku prosledi svim klijentima koji su pretplaćeni na temu na koju je poruka poslata [6]. Slika 2 ilustruje opisani tok podataka upotrebom MQTT protokola.



Sl. 2. Princip rada MQTT protokola

III. OBLO LIVING SISTEM

Uzmimo poređenje pametne kuće i ljudskog organizma kao ilustrativni primer na kom možemo objasniti koncept modernih sistema kućne automatizacije pa i *OBLO Living* sistema. Ljudski organizam je sposoban da osmatra okolinu i beleži promene u njoj, donosi odluke kako da reaguje i kako da se prilagodi promenama i na kraju sprovodi te odluke u delo. Jako slično, sistemi kućne automatizacije se sastoje od velikog broja senzora koji im omogućuju osmatranje okoline i beleženje promena u njoj, centralnog računara za obradu tih informacija i velikog broja aktuatora koji omogućuju izvršavanje akcija.

U ulozi centralnog računara *OBLO Living* sistema kućne automatizacije nalazi se gejtvej (engl. *gateway*) koji koristi *Linux* operativni sistem. Gejtvej povezuje sve ostale elemente *OBLO Living* sistema. Za komunikaciju sa korisnikom koristi lokalnu mrežu ili klaud (engl. *cloud*), a za potrebe komunikacije i upravljanje sensorima i aktuatorima ima podršku za *Z-Wave* i *ZigBee* komunikacione protokole [7].

Senzore i aktuatore unutar *OBLO Living* sistema nazivamo čvorovima. Ovi uređaji projektovani su tako da troše što manje energije i zahtevaju malo resursa pa se i razvijaju na oskudnijem hardveru. Imaju direktnu komunikaciju samo sa gejtvejom i to korišćenjem *Z-Wave* i *ZigBee* modula. Za vreme regulacije osvetljenosti intenzivno ćemo se koristiti sensorima osvetljenosti i dimer sijalicama.

Treći entitet koji se može prepoznati u *OBLO Living* svetu jesu korisničke aplikacije. Ove aplikacije se izvršavaju na uređajima opšte namene (PC, mobilni telefon, *Raspberry Pi*...) i imaju komunikaciju samo sa gejtvejom od koga dobijaju ažurne informacije i kome prosleđuju željene naredbe i reference. Vezu sa gejtvejom ostvaraju putem lokalne mreže ili klauda, a komuniciraju po MQTT protokolu. Korisničke aplikacije koje imaju komunikaciju sa gejtvejom moraju biti prihvaćene sa njegove strane. Aplikacija razvijena u okviru ovog rada svrstava se u ovu grupu.

IV. ARHITEKTURA REŠENJA

Razvijena aplikacija se pokreće na *Raspberry Pi* računaru i sa *OBLO Living* sistemom komunicira po MQTT protokolu koristeći *Ethernet* mrežu. Pisana je u C++ programskom jeziku i za interakciju sa korisnikom poseduje grafičko okruženje. Aplikacija podržava dva režima rada, ručni i automatski. U ručnom režimu rada korisnik može samostalno da zadaje vrednosti kojima upravlja dimerima osvetljenosti, a u automatskom režimu rada korisnik zadaje samo željenu referencu dok upravljanja dimerima autonomno preračunava aplikacija. U svakom trenutku u grafičkom okruženju se prikazuju trenutna upravljanja i trenutno očitane vrednosti sa senzora osvetljenosti.

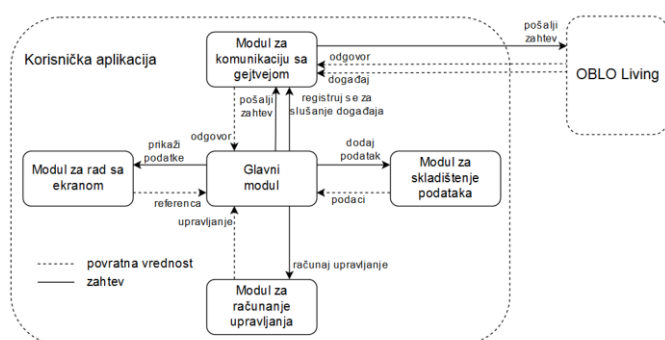
Glavni problem pri realizaciji aplikacije odnosi se na upravljanje dimerima. Međutim, kako se aplikacija pokreće kao nezavisni softver na zasebnom hardveru, u prateće probleme možemo svrstati i komunikaciju sa *OBLO Living* gejtvejom i upravljanje grafičkim interfejsom. Pomenuti problemi se najlakše rešavaju podelom aplikacije na module

pri čemu je svaki modul zadužen za rešavanje jednog od problema. Svaki od programskih modula ima enkapsuliranu logiku, a sa ostalim modulima komunicira preko pozivnih funkcija, parametara i povratnih vrednosti. Spregom svih modula ostvaruje se željena regulacija.

Aplikacija je podeljena na 5 modula i izvršava se u višenitnom okruženju. U slučaju pristupanja deljenim resursima neophodna je sinhronizacija niti. Moduli od kojih se sastoji aplikacija su:

- Modul za komunikaciju sa gejtvejom
- Modul za skladištenje podataka
- Modul za računanje upravljanja
- Modul za rad sa ekranom
- Glavni modul

Na slici 3 dat je grafički prikaz odnosa modula od kojih se sastoji realizovano rešenje.



Sl. 3. Arhitektura predloženog rešenja

V. IMPLEMENTACIJA REŠENJA

Svaki od pet modula sastoji se iz više klasa. Odnos klasa je takav da jedna, glavna, klasa svakog modula predstavlja servis tog modula i implementirana je po *Singleton* projektnom obrascu. Na ovaj način obezbedili smo da može postojati samo jedna instanca svake od servisnih klasa i omogućili znatno bolju kontrolu inicijalizacije tih klasa pa i modula. Dodatna pogodnost ovakve implementacije je lak pristup servisnim klasama iz ostalih delova koda. Ostale klase unutar modula možemo smatrati pomoćnim klasama. Od stanja pomoćnih klasa zavisi trenutno ponašanje sistema. Možemo reći da servisne klase poznaju procedure funkcionisanja sistema i operiraju nad pomoćnim klasama dok pomoćne klase nose informacije o stanju sistema i diktiraju dinamiku izvršavanja.

Pri samoj inicijalizaciji aplikacije, vrši se prijavljivanje aplikacije gejtveju i pretplaćivanje na slušanje relevantnih događaja. Od gejtveja se zahtevaju informacije o fotosenzorima i dimerima i na osnovu toga vrši se inicijalizacija grafičkog okruženja. Izgled korisničkog prozora, u slučaju kada je na sistem povezano dva dimerima i jedan fotosenzor, je prikazan na slici 4. Ukoliko dođe do ijedne greške, ona se prijavljuje korisniku i po prijemu informacije o potvrdi greške aplikacija završava sa radom.



Sl. 4. Izgled ekrana za interakciju sa korisnikom u slučaju detekcije jednog fotosenzora i dva dimerima

Dalji tok izvršavanja aplikacije zavisi od režima u kojem se aplikacija nalazi i od izvora promene.

U slučaju da promena dolazi od gejtveja, modul za komunikaciju filtrira podatke i koristan deo prosleđuje glavnom modulu. Glavni modul će obaviti ažuriranje prikazanih podataka na ekranu posredstvom modula za rad sa ekranom. Ukoliko je aplikacija u automatskom režimu rada potrebno je informaciju proslediti na obradu modulu za računanje upravljanja. Glavni modul je zadužen za to prosleđivanje kao i za slanje povratne vrednosti na izvršavanje.

U slučaju da promena dolazi od strane korisnika, obaveštavanje o promeni obavlja modul za rad sa ekranom. Ukoliko je aplikacija u ručnom režimu, ta promena se može ticati jedino upravljanja dimerima pa je glavni modul odmah prosleđuje u vidu zahteva modulu za komunikaciju. U automatskom režimu, korisnik može menjati samo trenutnu referencu pa je u tom slučaju nužno uključiti i modul za računanje upravljanja. Nakon prijema povratne informacije o preračunatom upravljanju, glavni modul šalje zahtev modulu za komunikaciju, ali i modulu za rad sa ekranom čime obavlja ažuriranje prikazanih podataka. Svi korisni podaci se, u svakoj iteraciji, smeštaju u modul za skladištenje podataka gde se čuva i istorija stanja sistema.

Upravljanje dimerima se očitava, zadaje i prikazuje u obliku procenata. Upravljanje od 100% odgovara maksimalnom sjaju sijalice. Količina svetlosti koju dimer predaje okolini pri fiksnom upravljanju zavisi od modela sijalice što praktično znači da nam prenosna karakteristika sijalice nije dostupna. Dodatni problem pri računanju upravljanja pravi činjenica da je čitav sistem veoma osetljiv na raspored objekata u prostoriji. Zbog opisanih problema, algoritam za upravljanje mora biti što jednostavniji i robusniji. Upravljanje se računa tako što se obavlja upoređivanje trenutne i zadate osvetljenosti. Ukoliko je vrednost sa senzora manja od zadate vrednosti, upravljanje se povećava za 2%, a ukoliko je situacija obrnuta, upravljanje se smanjuje za 2%. Nakon slanja novog upravljanja na izvršavanje, sistem čeka na povratnu informaciju o promeni u spoljašnjoj sredini. Upravljanje se ponovo preračunava sve dok se ne zabeleži preskok referentne vrednosti ili dok upravljanje ne dostigne granične vrednosti od 0% odnosno 100%.

VI. ISPITIVANJE REŠENJA

Kako je aplikacija modularno izdijeljena i kako se komunikacija modula odvija jedino putem eksternih pozivnih funkcija koje moduli propisuju (engl. *external API*), bila je veoma pogodna za automatsko ispitivanje. Ispitivanje smo sprovedi na 3 nivoa:

- Ispitivanjem modula (engl. *unit testing*) proveravali smo rad zasebnih delova modula i modula kao celina nezavisnih od ostatka aplikacije
- Integracionim ispitivanjem (engl. *integration testing*) proveravali smo pouzdanost osnovnih operacija koje su uključivale više modula
- Sistemskim ispitivanjem (engl. *system testing*) proveravali smo krajnje efikasnosti cele aplikacije poređenjem zadatih i realizovanih nivoa osvetljenja

Ispitivanje modula smo ručno pokretali pri svakom uspešnom prevođenju aplikacije. Prolaznost je bila na visokom nivou, a pad nekog od ispitnih slučajeva pomogao je ranom otkrivanju defekata i njihovom lakšem rešavanju.

Integraciono ispitivanje smo takođe pokretali ručno pri svakom uspešnom prevođenju aplikacije. Broj ispitnih slučajeva integracionog ispitivanja je bio manji od broja ispitnih slučajeva za ispitivanje modula, ali su znatno češće padali. Pad nekog od ovih ispitnih slučajeva sugerisao je da se interakcija između modula ne odvija očekivanim putem.

TABELA I
REZULTATI SISTEMSKOG ISPITIVANJA U ZAVISNOSTI OD SREDINE I
RASTOJANJA FOTOSENZORA I DIMERA

Ambijent (rastojanje)	Referenca [Lux]	Ostvareno [Lux]	Vreme [s]
Mračna soba			
• 1m	1800	1800	12
• 5m	1800	1800	26
Mračna soba			
• 1m	100	100	6
• 5m	100	100	14
Svetla soba			
• 1m	10000	10000	34
• 5m	10000	7000	42
Svetla soba			
• 1m	100	ambijantalna	∞
• 5m	100	osvetljenost	

Sistemsko ispitivanje obavljali smo ručno nakon svake veće promene aplikacije. Merili smo zadate i ostvarene vrednosti osvetljenosti kao i vreme koje je bilo potrebno da se te vrednosti ostvare u zavisnosti od odstojanja fotosenzora i dimera. Efikasnost sistemskih ispitnih slučajeva uveliko je zavisila od sredine u kojoj je sistem bio postavljen i rasporeda senzora i dimera. U mračnoj prostoriji, upravljanje je bilo efikasnije usled činjenice da je upravljanje dimerima imalo

veliki doprinos izmerenim vrednostima. U prisustvu dominantne dnevne svetlosti učinak koji smo mogli da postignemo je bio značajno manji. Tabela 1 prikazuje rezultate sistemskih ispitnih slučajeva.

VII. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada bio je razvoj programske aplikacije namenjene za održavanje ambijentalnog osvetljenja prostorije nezavisno od doba dana. Kao test, aplikacija se neprekidno izvršavala nedelju dana i pošto nije došlo do greške, realizaciju možemo smatrati uspešnom.

Kako je proces promene dnevnog osvetljenja spor, čitav sistem dobro kompenzuje nastale promene. Sistem je davao sporiji odziv u oblastima malih vrednosti reference i u slučaju skokovitih promena referentne ili merene vrednosti. Nedostaci rešenja uzrokovani su nedostacima fotosenzora koji je bio neosetljiv na promene manje od 200 Lux i čija je perioda odabiranja bila 2s.

Dalji razvoj aplikacije mogao bi da uključi i upravljanje pametnim roletnama čime bi se proširio raspon osvetljenosti koje sistem može da ostvari.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, na projektu tehnološkog razvoja broj: TR-32029.

LITERATURA

- [1] „*Building Automation and Control Systems (BACS)-Part 2*“, ISO Std. 16484-2, 2004
- [2] Mitsunori Miki, Tomoyuki Hiroyasu, Kazuhiro Imazato „*Proposal for an Intelligent Lighting System, and Verification of Control Method Effectiveness*“, Ch 2, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto
- [3] „*Collapse of I-35W Highway Bridge Minneapolis*“, Official report by National Transportation Safety Board,
- [4] Z-Wave Alliance, „*About Z-Wave*“, <https://z-wavealliance.org/about-z-wave-technology>
- [5] Lili Liang, Lianfen Huang, Xueyuan Jiang, Yan Yao, „*Design and Implementation of Wireless Smart-home Sensor Network Based on ZigBee Protocol*“, Ch 2, Xiamen University, Xiamen
- [6] HiveMQ, „*MQTT Essentials*“, <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials>
- [7] RT-RK, „*OBLO Living*“, <http://www.obloliving.com>

ABSTRACT

This paper gives one solution for lighting control in smart houses. The solution relies on *OBLO Living* system which is the home automation system developed by the scientific-research institute “RT-RK”. The solution also includes use of *Raspberry Pi* as a central control unit. The key part of this paper refers to methods of automation applied in the field of lightning control.

Lighting control in smart buildings

Miloš Milošević, Nenad Četić, Jelena Kovačević,
Tihomir Andelić