

PROJEKT OPUS: »OPTIMIZACIJA UPRAVLJANJA ENERGETSKO UČINKOVITIH PAMETNIH STAVB«

Tomaž Šef, Rok Piltaver, Tea Tušar

Odsek za inteligentne sisteme, Institut "Jožef Stefan"

Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

{tomaz.sef, rok.piltaver, tea.tusar}@ijs.si

POVZETEK

V okviru projekta OpUS skušamo razviti povsem novo tehnološko rešitev in inovativno e-storitev v oblaku, ki bo zmožna zagotavljati ekološko, energetsko in stroškovno učinkovitost zgradb ob zahtevanem udobju in varnosti v objektih. Urnike, različne scenarije in odzive bo samodejno prilagajala spreminjajočim se življenjskim navadam in potrebam uporabnikov. Sistem bo spremljal obnašanje uporabnikov in se od njih učil. Za to je predvideno (i) dinamično profiliranje uporabnikov in izmenjava uporabniških podatkov s sistemom vodenja (ii) uporabniški vmesnik za enostavno in uporabniku prijazno interakcijo s sistemom ter (iii) optimizacija delovanja sistema glede na odzive uporabnikov in ključne kriterije.

1 UVOD

Obstoječi sistemi hišne avtomatizacije oz. pametnega doma niso tako "pametni", kot to pričakujejo oz. želijo njihovi uporabniki. Preko mreže senzorjev sicer omogočajo spremljanje dogajanja v hiši in krmiljenje hišnih naprav, možno je nastavljanje urnike in različne scenarije (prihod, odhod, spanje, zabava ipd.) ter simulirati prisotnost. Nadzor poteka preko različnih pametnih naprav (telefoni, tablice, multimedijски televizorji ipd.), vodi se tudi arhiv dogodkov. Vendar pa se iz preteklega dogajanja in obnašanja uporabnika praviloma ničesar ne naučijo oz. se njihovo delovanje samodejno ne prilagaja uporabnikovim življenjskim navadam. Z energetskega vidika uporaba takšnih sistemov privarčuje kar nekaj energije, večji del potenciala pa še vedno ostaja neizkoriščen.

Različne zahteve uporabnikov pametnih stavb oz. njihovi cilji si med seboj pogosto nasprotujejo: potrebno je zagotavljati udobje in zahtevano stopnjo varnosti, obratovalni stroški morajo biti čim nižji, v zadnjem času pa se čedalje pogosteje izraža tudi zahteva po energetske učinkovitosti in okoljski sprejemljivosti. Manjša poraba energije se ne odraža nujno v nižjih obratovalnih stroških ali večji okoljski sprejemljivosti. Optimiranje teh treh dejavnikov pa praviloma negativno vpliva tako na udobje kot varnost.

1. primer – ogrevanje sanitarne vode (segrevanje vode, delovanje obtočne črpalke):

- *udobje*: stalna razpoložljivost tople vode oz. vedno, kadar jo uporabnik potrebuje,
- *energetska učinkovitost*: voda se segreje na željeno temperaturo tik pred uporabo (v tem primeru imamo najmanjše toplotne izgube), obtočna črpalka se vklopi nekaj sekund pred uporabo in ne deluje predolgo,
- *stroškovna učinkovitost*: voda se segreva v času najnižje tarife, upoštevajo se tudi toplotne izgube zalogovnikov,
- *okoljska sprejemljivost*: segrevanje v času presežkov energije oz. v času, ko je na razpolago dovolj alternativnih virov.

Stalna razpoložljivost tople vode zahteva njeno stalno dogrevanje, obtočna črpalka mora delovati ves čas. To pa je energetsko potratno. V kolikor bi znali predvideti/napovedati obnašanje uporabnikov oz. bi se sproti učili njihovih življenjskih navad bi za enako stopnjo udobja lahko porabili bistveno manj energije.

2. primer - osvetlitev prostorov (raba senčil in svetil):

- *udobje*: jakost svetlobe ustreza aktivnosti uporabnikov, pretirano sevanje sonca v prostor ni zaželeno, brez pregrevanja prostorov (čim bolj konstantna temperatura), nezaželeno pogosto spreminjanje nastavitvev (za uporabnika je moteče, če se npr. senčila prepogosto spuščajo in dvigajo),
- *varnost*: spuščena senčila dodatno varujejo pred vlomom v objekt, ob odsotnosti uporabnika simulacija njegove prisotnosti (z vklapljanjem in izklapljanjem luči, spreminjanjem položaja senčil ipd.),
- *energetska učinkovitost*: trenutni in pričakovani toplotni dobitki (pozimi so zelo zaželeni, poleti ravno nasprotno), toplotne izgube (večje skozi nezasečena okna), poraba energije za umetno razsvetljavo,
- *stroškovna učinkovitost in ekološka sprejemljivost*: čim manjša poraba energije za umetno razsvetljavo ter hlajenje oz. gretje.

Pozimi je z energetskega stališča zaželeno, da so okna ob sončnem vremenu v celoti nezasečena, vendar pa je to v nasprotju z zahtevo po udobju (pregrevanje posameznih prostorov, večja nihanja temperature) in varnostjo (če uporabnikov ni doma). Po drugi strani bi bilo poleti z energetskega vidika najbolje, če bi bila okna v celoti zasečena (tudi ko so stanovalci prisotni), vendar je to v nasprotju z zahtevo po zadostni (naravni) osvetlitvi.

Zagotavljanje udobja je zelo kompleksen problem; vsak posameznik se počuti udobno glede na različna stanja okolja

sistema (kot so temperatura, vlažnost, osvetljenost, pa tudi občutek varnosti) in samega uporabnika (aktivnosti, ki jih opravlja, vrsta oblačil, ki jih nosi). Po drugi strani pa so zelena stanja okolja sistema odvisna tudi od vremena, zunanjih temperatur, letnega časa ipd.

Sistemi v pametnih hišah tako ne morejo samostojno odločati o optimalnih vrednostih za temperaturo prostorov, osvetljenost, temperaturo sanitarne vode, lahko pa spremljajo uporabnike, se od njih učijo ter se v čim večji možni meri prilagajajo njihovim specifičnim zahtevam oz. potrebam. Delovanje takšnega sistema zahteva uporabo množice senzorjev, ki spremljajo trenutno stanje delovanja sistemov, stanje okolja, prisotnost uporabnikov in interakcijo uporabnikov s sistemom.

Na temo energetske učinkovitosti pametnih stavb poteka več projektov v okviru razpisov Artemis in 7. okvirnega programa EU. Raziskave so osredotočene predvsem na zagotavljanje energetske učinkovitosti ob vnaprej določeni stopnji udobja in varnosti. Optimizacijski algoritmi tako ne predvidevajo možnosti, da bi se uporabnik odpovedal določenemu udobju ali varnosti v zameno za še nižjo porabo energije in večjo ekološko sprejemljivost objekta. Na primer, sistemi uporabniku ne znajo svetovati, da bi ob minimalni in za uporabnika malo moteči spremembi parametrov vezanih na udobje lahko dosegel občutne prihranke. Optimirati znajo le posamezen kriterij, ne pa večjega števila (nasprotujočih si) kriterijev, kar je ključna pomanjkljivost obstoječih pristopov.

Primer: »Pametni« sistem, ki bi optimiral vseh pet kriterijev, bi lahko sprva temperaturo avtomatsko malenkost znižal, iz uporabnikovega odziva pa bi potem razbral, ali je malenkostno znižanje temperature ob občutnih prihrankih zanj še sprejemljivo. V kolikor bi se uporabnik odzval tako, da bi zahteval zvišanje temperature, bi se sistem iz tega nekaj naučil in drugič predlagal drugačno spremembo.

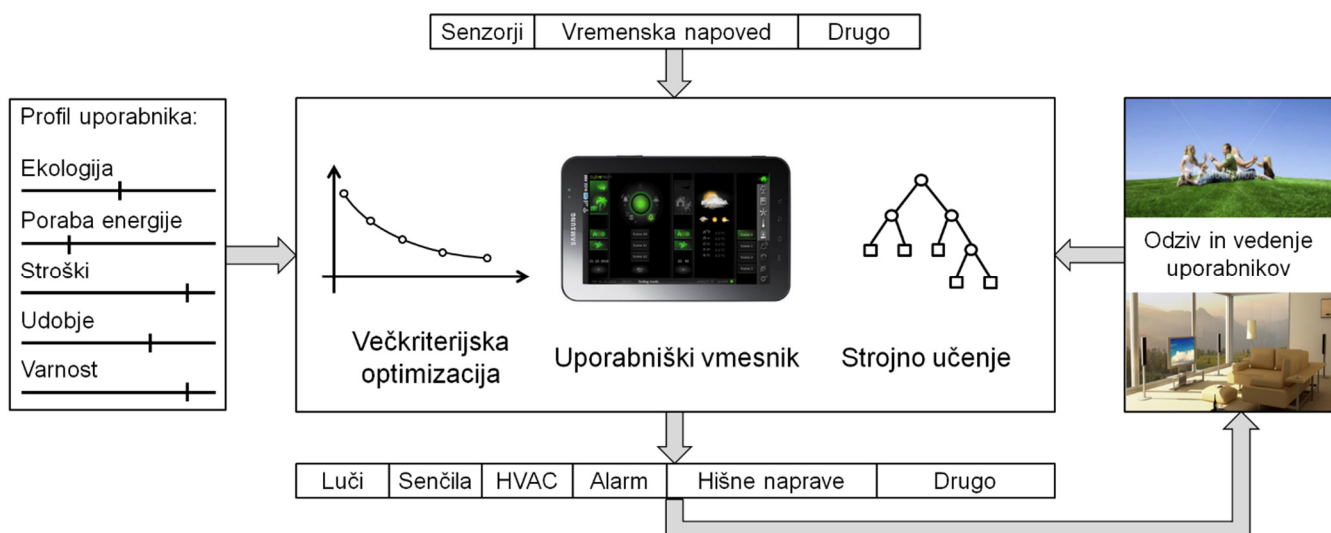
2 OPIS PREDLAGANE REŠITVE

Predlagamo razvoj povsem nove tehnološke rešitve in e-storitve v oblaku, ki bo zmožna zagotavljati ekološko, energetske in stroškovno učinkovitost zgradb ob zahtevanem udobju in varnosti v objektih ter bo znala urnike in različne scenarije ter zahtevane odzive samodejno prilagajati spreminjajočim se življenjskim navadam in potrebam uporabnikov. OpUS bo spremljal obnašanje uporabnikov in se od njih učil [4]. Delovanje takšne storitve predvideva spremljanje trenutnega stanja delovanja sistemov, stanja okolja, prisotnosti uporabnikov in interakcije uporabnikov s sistemi. Za to je predvideno (i) dinamično profiliranje uporabnikov in izmenjava uporabniških podatkov s sistemom vodenja (ii) uporabniški vmesnik za enostavno in uporabniku prijazno interakcijo s sistemom ter (iii) optimizacija delovanja sistema glede na vse ključne kriterije (slika 1).

2.1 Dinamično profiliranje uporabnikov

Pametna stavba se mora avtomatsko prilagajati uporabnikovim preferencam in pričakovanjem. Zato je potrebno profilirati navade uporabnikov. Glavni namen profiliranja uporabnikov je odkrivanje njihovih želja, potreb in pričakovanj.

Dinamično profiliranje uporabnikov v pametnih stavbah se opisuje z arhitekturo, ki omogoča uporabo kontekstnih informacij v kombinaciji s trenutnimi stanji sistemov in uporabniško interakcijo s sistemom vodenja. Pri tem kontekst, na katerem temeljijo avtonomno izvedene akcije pametnega doma, in funkcije ter informacije, ki jih sistem prikaže uporabniku, predstavljajo: trenutni čas, dan v tednu, prisotnosti ostalih ljudi ter njihove preference in navade, vreme, akcije uporabnika in njegovo obnašanje v bližnji preteklosti itd.



Slika 1 Arhitekturna rešitev projekta OpUS

Dinamično profiliranje uporabnikov pomeni avtomatsko iskanje vzorcev obnašanja (interakcij z napravami v pametni stavbi) in preferenc, ki jih je mogoče izluščiti iz obnašanja, za posameznega uporabnika. Rezultat profiliranja je model uporabnika, s pomočjo katerega je mogoče predvideti, katere akcije (interakcije s komponentami pametne stavbe) bo v določenem kontekstu ta uporabnik želel izvesti oz. naj jih namesto njega samodejno izvede pametna stavba, če so v skladu s potrebami in željami ostalih uporabnikov in splošnih ciljev delovanja pametne stavbe. Dinamično profiliranje pa pomeni, da se model uporabnika, ki je rezultat profiliranja, dinamično spreminja in prilagaja glede na novo pridobljeno znanje ter spreminjajoče se navade in potrebe uporabnika. Bogatejši kot je nabor senzorjev, s katerimi je mogoče zbirati podatke o kontekstu, in inteligentnejši kot so algoritmi, ki so iz teh podatkov sposobni izluščiti relevantne informacije in profile uporabnikov, bolj se lahko pametna stavba prilagodi željam in potrebam uporabnikov ter zagotovi primerno stopnjo udobja, varnosti in energetske učinkovitosti.

Predvsem zanimiva bo uporaba inkrementalnih algoritmov strojnega učenja, ki so sposobni dinamično dopolnjevati svoje znanje, in delno nadzorovanega (angl. semi-supervised) ter nenadzorovanega (angl. unsupervised) učenja, pri katerem ne potrebujemo uporabnikovega sodelovanja v postopku učenja. Obstoječe algoritme [3] je potrebno prilagoditi za delovanje v realnem času in delovanje na strojni opremi z omejenimi pomnilniškimi in procesorskimi kapacitetami ter delovanje na strežniku v oblaku.

2.2 Uporabniški vmesnik

Uporabniški vmesnik za pametne stavbe mora biti intuitiven in preprost za uporabo. Ker pametne stavbe uporabljajo tudi invalidi in ostareli, je zaželena možnost prilagajanja njihovim posebnim potrebam (veliki gumbi, dovolj veliko in berljivo besedilo, prikazovanje le osnovnih funkcionalnosti ipd.).

Z vidika raziskovalno razvojnega dela je še posebej zanimiva možnost dinamičnega prilagajanja vmesnika glede na pričakovane/napovedane potrebe uporabnika ter dinamičnega izbiranja prikazanih podatkov glede na njihovo aktualnost in relevantnost za določenega uporabnika v določenem kontekstu. Pomembno je, da uporabniški vmesnik uporabnika ne obremenjuje z nepotrebni in nerazumljivimi podatki ter številnimi funkcijami, temveč da mu ponudi le relevantne informacije, ki jih sistem samodejno izlušči iz surovih podatkov, in funkcije, ki jih bo uporabnik glede na svoje potrebe in poudarjene informacije verjetno želel uporabiti v določenem kontekstu.

2.3 Optimizacija delovanja OpUSA

Ob večjih spremembah v okolju bo moral sistem spremeniti nastavitve vanj vključenih naprav tako, da bo sočasno optimiral vseh pet kriterijev. Medtem ko so kriteriji stroškovne učinkovitosti, ekološke sprejemljivosti in energetske učinkovitosti objektivni in izračunljivi s poznanimi modeli, bo za ocenjevanje subjektivnih kriterijev

udobja in varnosti uporabljal v ta namen razvite modele, pridobljene med profiliranjem uporabnikov.

Optimizacijo bomo izvajali s pomočjo evolucijskih večkriterijskih optimizacijskih algoritmov, ki so sposobni učinkovito optimirati več kriterijev hkrati [2], [5]. Znano je, da so ti algoritmi uspešni le pri optimiranju dveh ali treh kriterijev, medtem ko je njihovo delovanje občutno slabše v primeru štirih ali več kriterijev. Raziskave na področju optimizacije delovanja OpUSA so zato usmerjene k snovanju novega algoritma, ki bo optimiral vseh pet danih kriterijev bolje od obstoječih algoritmov.

Rezultat novega optimizacijskega algoritma bo množica najboljših rešitev z različnimi kompromisi med posameznimi kriteriji. Izmed vseh bomo za končno rešitev (novo nastavitev naprav) izbrali tisto, katere kriteriji bodo najbolj ustrezali željam uporabnika.

3 UPORABLJENE TEHNOLOŠKE REŠITVE

Ambientalna inteligenca v pametnem domu integrira sisteme in tehnologije, razvite za vodenje vsakdanjih opravil, z namenom izboljšanega upravljanja domačega okolja in nudenja novih storitev. Cilj raziskav s področja ambientalne inteligence je izboljšati vsakodnevno uporabniško izkušnjo in postaviti človeka v središče bodoče družbe temelječe na znanju ter podprte s številnimi informacijskimi in komunikacijskimi tehnologijami. Pri tem so naprave, ki zagotavljajo inteligentne storitve, skrite v uporabnikovo okolje in zato zanj ne predstavljajo dodatnih obremenitev ali motenj. Ambientalna inteligenca predstavlja premik iz preproste avtomatizacije po urniku proti inteligentnim storitvam, ki jih sistem samodejno ponudi ali izvede glede na uporabnikov kontekst in profil.

Nove tehnologije/inovacije:

- *večkriterijska optimizacija parametrov* pametne hiše/objekta, skupine objektov, celih mest, npr. stohastične večkriterijske optimizacijske metode [6];
- *strojno učenje uporabnikovega obnašanja*, ugotavljanje življenjskih navad, analiza dogodkov in njihovih posledic na obratovanje objekta oz. na ključne dejavnike/kriterije, napovedovanje bodočih potreb uporabnikov (npr. metode za analizo časovnih vrst [1]);
- *prilagajanje glede na odzive uporabnikov*;
- *procesiranje časovnih vrst (senzorskih podatkov)* za luščenje relevantnih informacij;
- *komunikacija z uporabnikom* v njegovem domačem jeziku (dostop do novih uporabnikov: invalidi, starejši, otroci), dinamično prilagajanje uporabniškega vmesnika glede na pričakovane želje uporabnika.

Rešitev bo vsebovala strežniški del in uporabniški del. Strežniški del rešitve bo vseboval bazo podatkov s parametri o delovanju posameznega objekta ter tehnike in metode za njihovo analizo. Implementiran bo v različici Java J2EE ter nameščen v računalniškem oblaku. Z ostalimi deli rešitve bo komuniciral preko šifriranega varnega kanala, kjer bo vsak uporabnik avtentificiran. Poleg tega bo omogočal oddaljeno komunikacijo s pametnimi napravami, priključenimi na internet stvari.

Uporabniški del prototipa bo implementiran in dostopen na dva načina: a) v oblaku bo implementiran v HTML5 platformi in dostopen preko interneta; b) na mobilnih platformah bo implementiran kot domorodni prototip. Za implementacijo uporabniškega dela bomo uporabili posebna orodja, ki omogočajo implementacijo z uporabo dokaj enotne izvorne kode na večjem številu platform, torej na HTML5 in mobilnih platformah.

Strežnik in spletna aplikacija bosta podpirala standarda IPv6 in IPv4. To bomo zagotovili z neodvisnostjo lastne programske opreme od omrežnega sloja ter primerno izbiro strežniškega operacijskega sistema in druge strežniške programske opreme. Glede na to, da večina tovrstne programske opreme podpira oba standarda, tu ne pričakujemo težav.

Pri implementaciji uporabniškega dela bomo posvetili pozornost tudi uporabnikom s posebnimi potrebami.

4 SKLEP

Predlagani sistem OpUS predstavlja inovativno e-storitev v oblaku, ki bo zmožna zagotavljati ekološko, energetska in stroškovno učinkovitost zgradb ob zahtevanem udobju in varnosti v objektih. Projekt je inovativen iz več vidikov:

- *funkcionalni vidik*: intuitivna možnost nastavljanja uporabniških preferenc glede udobja, varnosti, stroškov, porabe energije in ekologije;
- *tehnični vidik*: dinamično profiliranje uporabnikov, napredna optimizacija delovanja sistema glede na vse ključne kriterije;
- *organizacijski vidik*: vrhunska raziskovalno razvojna institucija usmerja potek raziskovalno razvojnega dela, večino raziskovalno razvojnega dela pa opravi podjetje samo;
- *poslovni vidik*: ogromna količina podatkov o življenjskih navadah prebivalcev (o uporabniku izvemo veliko več, kot če zgolj spremljamo njegovo obnašanje na internetu), možnost osebnega svetovanja glede nakupa izdelkov in storitev.

LITERATURA

- [1] Chagas Moura, M., Zio, E., Lins, I. D., Droguett, E., 2011. Failure and reliability prediction by support vector machines regression of time series data. Reliability Engineering and System Safety 96 (11) 1527–1534.
- [2] Deb K., Agrawal, S., Pratap A., Meyarivan, T., 2002. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6 (2) 182–197.
- [3] Noh, H. G., Song, M. S., Park, S. H., 2004. An unbiased method for constructing multilabel classification trees. Computational Statistics and Data Analysis 47 (1), 149–164.
- [4] Rashidi, P.; Cook, D.J.: Keeping the Resident in the Loop: Adapting the Smart Home to the User, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A:

Systems and Humans, vol.39, no.5, pp.949-959, Sept. 2009

- [5] Robič, T., Filipič, B., 2005. DEMO: Differential Evolution for Multiobjective Optimization. Third International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Lecture Notes in Computer Science 3410, 520–533.
- [6] Zhou, A., Qu, B.-Y., Li, H., Zhao, S.-Z., Suganthan, P. N., Zhang, Q., 2011. Multiobjective evolutionary algorithms: A survey of the state of the art. Swarm and Evolutionary Computation 1 (1), 32–49.

ZAHVALA

Projekt OpUS delno financira Evropska unija, in sicer iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.