

SEMANTIČKI PRISTUP U INTEGRACIJI AMI I HAN SISTEMA U EFIKASNOM KORIŠĆENJU ENERGIJE I UPRAVLJANJU OPTEREĆENJEM

Autor

M. Stefanović, E-Smart Systems, Srbija

Koautori

M. Kojić Veljović, E-Smart Systems, Srbija

V. Pejović, E-Smart Systems, Srbija

UVOD

Poslednjih godina se, usled povećanja emisije CO₂, intenzivno radi na polju efikasnog korišćenja energije. Sa jedne strane imamo već uveliko prošireni koncept Smart Metering-a koji je u Italiji ili Švedskoj dostigao zavidan nivo zrelosti i koji podrazumeva razvijenu AMI (Automated Meter Infrastructure) infrastrukturu. Ova infrastruktura omogućava da, uz pomoć "pametnih" – smart – brojila koja su instalirana kod potrošača i različitih tipova daljinske komunikacije (GPRS, PLC, Zigbee) distributer električne energije u gotovo realnom vremenu dobija informacije o potrošnji ili kvalitetu električne energije, 15-minutnom opterećenju ili o događajima po mernom mestu. Informacije se mogu koristiti trenutno – u slučaju kvara na mernom mestu odmah se izlazi na teren odnosno vrši se daljinska kontrola tog mernog mesta ili kao arhivirane informacije – za analizu, predikciju, planiranje i na kraju, optimizaciju iskorišćenja energije. Sa druge strane, inteligentni sistemi za upravljanje uređajima u zgradi (Building Automation System - BAS) kao što su sistemi za klimatizaciju, ventilaciju, osvetljenje znatno doprinose sveukupnoj optimizaciji potrošnje električne energije. HAN sistemi (Home Area Network Systems) su uglavnom okrenuti ka domaćinstvima i podrazumevaju upravljanje potrošnjom u domaćinstvu prema parametrima koje je definisao sam korisnik.

U potrazi za poboljšanjem efikasnosti korišćenja električne energije na elektromreži a i kod krajnjih potrošača, kao rešenje smo prepoznali integraciju AMI sistema sa HAN sistemima. Ključ za podizanje nivoa upravljivosti potrošnjom električne energije u mreži, leži u valjanom definisanju odgovarajućih parametara sa jedne strane i dobrog razumevanje i brzog, u gotovo realnom vremenu, reagovanja na postavljene parametre. U veoma naprednom, liberalizovanom tržištu provajderi električne energije bi potpisivanjem ugovora sa distributerom bili u mogućnosti da publikuju svoje aktuelne tarifne modele kroz Web interfejs. Takođe, bile bi publikovane i osnovne informacije o potrošnji i tekućem opterećenju za svakog potrošača. HAN sistemi bi periodično prikupljali ove informacije i na osnovu njih sa jedne strane, i zahteva korisnika, vlasnika HAN sistema, sa druge strane, automatski kreirali plan za upravljanje kućnim uređajima tako da budu zadovoljeni kriterijumi koje je korisnik zadao. Publikacijom različitih tarifnih

modela i kroz automatizaciju koju omogućavaju ovakvi HAN sistemi, moguće je u gotovo realnom vremenu upravljati potrošnjom i samim tim značajno doprineti optimizaciji na mreži. Razvoj komunikacionih tehnologija danas, kako u pogledu Internet komunikacije, tako i u pogledu M2M komunikacije (Zigbee, Wireless M-Bus, PLC, ...), je dostigao nivo u kojem je ovakav koncept moguće implementirati.

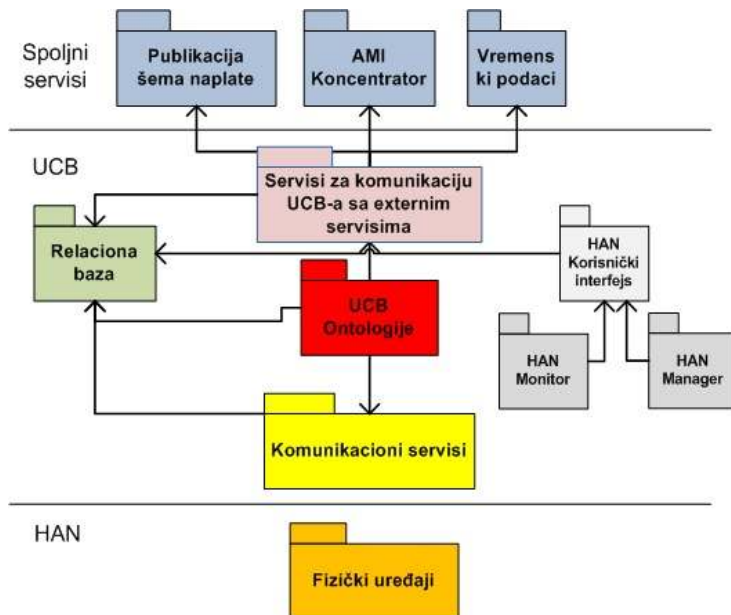
Između publikovanih informacija i uređaja unutar HAN mreže potrebno je da postoji mehanizam koji će automatski, sa razumevanjem tih informacija, prema zadatim politikama ponašanja i kriterijumima odlučivanja upravljati HAN mrežom. Mi smo se opredelili da uđemo u projekat evaluacije mogućnosti ovog automatizma unutar integracije HAN i AMI sistema, a da sistem odlučivanja baziramo na tehnologiji semantičkog modeliranja.

Ontologija kao rezultat semantičkog modeliranja predstavlja skup relacija, odnosno uređenih trojki tipa (*subjekat, predikat, objekat*) i pravila (*ukoliko važi <preduslov> onda važi <postuslov>*) po kojima se donose zaključci o identitetima u Ontologiji. Kroz definisanje klasa, podklasa, atributa klasa, relacija između klasa i pravila, u ontologiji je moguće modelirati ponašanje bilo kog dela okruženja iz realnog sveta. Na kraju, definisanjem semantičkih relacija (politika i kriterijuma), korisniku je kroz intuitivan korisnički interfejs na visokom nivou omogućeno da upravlja jednim ovako kompleksnim sistemom. Posebna karakteristika ontoloških modela je njihova jednostavna integracija sa drugim ontološkim modelima te je time omogućena otvorenost ka drugim, sličnim podsistemima.

Implementacijom ontološkog modela za uređaje (senzore i aktuatora) u HAN mreži i modela za šeme naplate, napravili smo integraciju AMI i HAN sistema i pokušali na ovaj način da odgovorimo na zahteve za unapređenje efikasnog korišćenja električne energije.

OPIS SISTEMA

Pred kraj razvoja našeg AMI sistema, u septembru 2009. godine, E-Smart kompanija je uzela učešće u međunarodnom projektu po imenu SESAME koji se bavi primenom semantičkih modela u integraciji AMI i HAN sistema. Arhitektura koju smo osmislili podrazumeva postojanje spoljnih servisa koji su publikovani od strane provajdera električne energije u liberalizovanom tržištu (podaci o aktuelnim tarifnim profilima, o vremenskim uslovima i prognozi i podaci o tekućoj potrošnji i opterećenju sa brojlara koje je u vlasništvu distribucije), Glavne kontrolne jedinice (Unit Control Box – UCB) koja vrši odlučivanje i upravljanje



Slika 1

sistemom, senzorskog i aktuatorskog hardvera koji je povezan odgovarajućim komunikacionim putevima sa UCB jedinicom i ekrana na kojem su prikazane osnovne informacije o stanju u kući i akcijama koje sistem trenutno sprovodi. Korišćenjem Windows servisa za komunikaciju UCB-a sa eksternim servisima vrši se periodično spuštanje informacija sa publikovanih spoljnih Web servisa. Kompletan model šema naplate se nalazi na strani distribucije i na strani UCB-a. Model omogućava definisanje "time of use" tarifnih modela, modela koji cenu računaju prema utrošku energije – po zonama, prema ostvarenim maksigrafima ili nekom drugom parametru koji je značajan za distribuciju. Izračunavanje cene za dosadašnju potrošnju se vrši i na strani UCB-a. Ovaj podatak se koristi u procesu odlučivanja o biranju trenutno najpovoljnijeg tarifnog profila, a važan je i kao informacija

samom potrošaču. UCB može biti, preko publikovanih tarifnih profila, pretplaćen na informacije od različitih provajdera energije, a sa trenutno aktivnim samo jednim tarifnim profilom. Na svakih 15 minuta podsistem UCB Ontologija odlučuje o najpovoljnijem tarifnom profilu. Ovaj podsistem započinje i promenu aktivnog tarifnog profila tako što šalje signal distribuciji sa informacijom o starom – ranije aktivnom i novom – ubuduće aktivnom profilu.

Podaci o tekućim merenjima na mernom mestu potrošača su veoma važni u procesu odlučivanja. Osim podataka o potrošnji i trenutnom opterećenju, dostupni su i podaci o stepenu generisanja reaktivne snage i podaci o kvalitetu mreže. Ovi podaci se, za svakog potrošača, nalaze na AMI koncentratoru ukoliko topologija mreže uključuje i koncentratore, ili direktno, u bazi podataka AMI sistema u distribuciji. Ovi podaci su, kroz odgovarajuće mehanizme zaštite, publikovani preko Web servisa distribucije i dostupni autorizovanim korisnicima.

Kao treći spoljni faktor koji utiče na odlučivanje o načinu upravljanja HAN mrežom jesu trenutni i budući meteorološki podaci. Provajderi meteoroloških podataka su takođe publikovani na Internet-u sa URL adresama koje su navedene u konfiguraciji UCB sistema.

Nezavisno od automatskog periodičnog spuštanja publikovanih informacija u UCB sistem, korisniku je omogućeno da kroz aplikacije HAN Monitor i HAN Manager vrši podešavanja sistema. Tekuće stanje sistema, stanje sa senzora, podaci o potrošnji i osnovna predikcija potrošnje, kao i akcije koje sistem trenutno vrši ili su u planu za izvršenje, je dato na HAN Monitor aplikaciji. Aplikacija je urađena u WPF tehnologiji i predviđena je da radi na kućnom display-u. Osim osnovnog pregleda ovih podataka, korisnik kroz ovu aplikaciju može da aktivira ili deaktivira periodična očitavanja pojedinih senzora u okruženju. Za unos konfiguracije senzorsko/aktuatorske mreže, konfiguracije soba (lokacije), programiranje vremena izvršenja pojedinih akcija (*“U periodu od 15h do 23h ukljči mašinu za sudove”*) ili postavljanje i vremensko raspoređivanje željenih stanja (*“Želim da noću bude prohladno”, “Želim da ujutru imam toplu vodu u kupatilu”, “Želim da mi u periodu kad se vratim sa posla dok ne legnem bude prijatno u stanu”*), korisnik ima HAN Manager aplikaciju. Ovo je Web aplikacija i urađena je u Silverlight tehnologiji, te je omogućena i daljinska rekonfiguracija sistema preko bilo kog uređaja povezanog na Internet.

Podaci o uređajima u sistemu i podaci o tarifnim profilima se čuvaju u relacionoj bazi podataka. U bazi su smešteni i podaci o potrošnji, zajedno sa spoljnim parametrima na osnovu kojih se kreira osnovna predikcija.

Za upravljanje HAN sistemom kreirani su komunikacioni servisi. Model komunikacionih servisa je kreiran tako da radi asinhrono. Preko odgovarajućih redova čekanja, drajveri prosleđuju i primaju komunikacione frejmove u mrežu i iz mreže. Definisanjem zajedničkih interfejsa za sve drajvere, predviđena je i nadogradnja sistema u smislu mogućnosti komunikacije sa novim tipovima uređaja.

U procesu odlučivanja, prvo se vrši odlučivanje u Ontologiji uređaja, a onda se dobijeni rezultati prosleđuju Ontologiji naplate zajedno sa podacima pripremljenim iz podmodela naplate u bazi podataka. Osnovni entiteti u Ontologiji uređaja jesu:

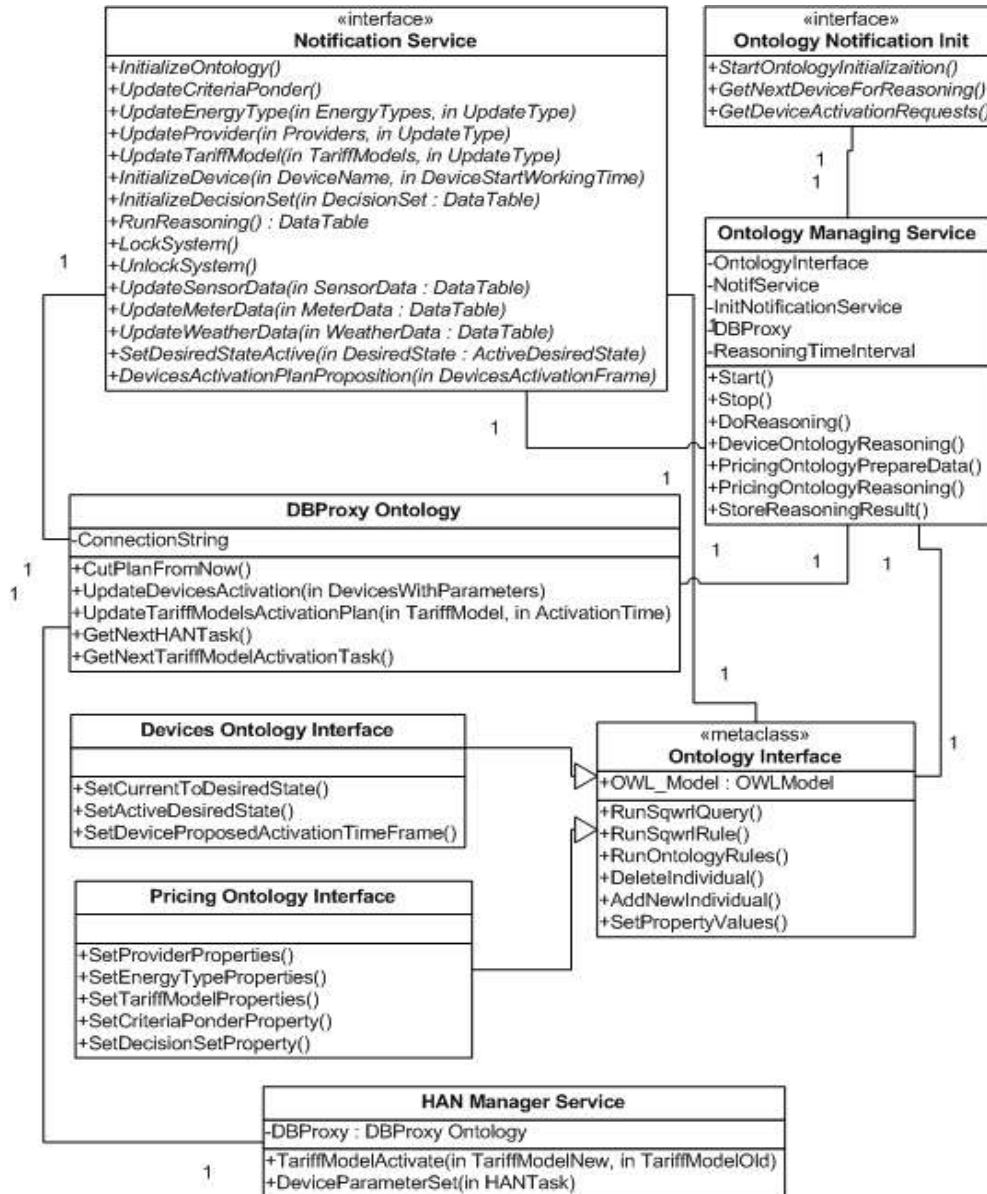
- **Device:** Instance ove klase predstavljaju uređaje u domaćinstvu koji, prema tipu uređaja kojima pripadaju, mogu da imaju jednu ili više mogućih aktivnosti i svaki uređaj ima po jedan aktuator koji prima odgovarajuće parametre – prosti parametri kao što je “Uključi/Isključi” ili složeniji kao što je “Pusti program A na veš mašini”. **Device Type:** Instance ove klase predstavljaju pojedine tipove uređaja koji imaju pridružene jednu ili više aktivnosti.
- **Activity:** Instance ove klase predstavljaju enumeraciju aktivnosti koje sistem podržava. To su Osvetljenje, Grejanje, Hlađenje, Zagrevanje vode, Pranje, Ventiliranje i Kuvanje. Aktivnosti su povezane sa tipovima uređaja sa jedne strane i sa razlikom između trenutnog stanja i željenog stanja (npr. ukoliko je trenutna temperatura 15°C, a željena temperatura je 20°C, potrebno je aktivirati neki uređaj koji radi aktivnost Grejanje).
- **Current State:** Postoji samo jedna instanca ove klase i ona predstavlja tekuće stanje u kući po svim lokacijama (osvetljenje, temperatura vazduha, vlažnost), odnosno po svim uređajima koji nisu kreatori ambijenta na lokacijama (temperatura vode u bojlerima, temperatura vode u centralnom grejaču, ...).

- Location: Instance ove klase predstavljaju pojedine prostorije u kući i mogu imati jedan ili više pridruženih uređaja.
- Weather Data: Svaka instanca ove klase se razlikuje prema vremenskoj oznaci, te postoje instance sa podacima o trenutnim meteorološkim informacijama i instance sa informacijama za budućnost (vremenska prognoza).
- Meter Data: Postoji samo jedna instanca ove klase i ona u sebi sadrži tekuće vrednosti od interesa koje su izmerene na brojilu potrošača.

Osnovni entiteti Ontologije Naplate su:

- Selecton Criteria Ponders: Postoji samo jedna instanca ove klase. Njeni atributi predstavljaju pondere tj. značaj određenih kriterijuma u odlučivanju o izboru optimalnog tarifnog modela.
- Provider: Instance ove klase predstavljaju provajdere energije. Lista provajdera je poređana prema prioritetima koje definiše korisnik, a koji učestvuju u odlučivanju o optimalnom tarifnom modelu.
- Energy Type: Instance ove klase predstavljaju tipove energije koje nudi neki tarifni model. Lista tipova energije, kao i lista provajdera, je poređana prema prioritetu koji definiše korisnik.
- Device: Po klasi Device se zapravo povezuju Ontologija uređaja i Ontologija naplate.
- Decision Set: Instanca ove klase predstavlja jednu kombinaciju vrednosti svih kriterijuma za startovanja uređaja po jednom tarifnom modelu. Kriterijumi koji ulaze u odlučivanje su da li je za distribuciju vreme za uključivanje uređaja kritično ili poželjno, kolika je cena, koji je tip energije, koji je provajder energije.
- Tariff Model: Instance ove klase predstavljaju pojedine tarifne modele.

Podsistem UCB Ontologija je integrisan sa ostalim komponentama sistema preko sistema Notifikacija. Logička arhitektura sa osnovnim metodama pojedinih komponenti ovog podsistema je data na Slici 2.



Slika 2

Inicijalizacija ontologije otpočinje slanjem signala ka komponenti *Ontology Notification Init* od strane komponente *Ontology Managing Service*. Nakon toga, servisi van podсистema UCB Ontologija pripremaju inicijalizacione podatke i preko komponente *Notification Service* te podatke kroz odgovarajuće interfejsе spuštaju u Ontologije. Pošto je inicijalizacija završena, odmah se startuje proces odlučivanja. Takođe, svaka promena u sistemu se spušta u Ontologije kroz odgovarajuće metode *Notification Service* komponente. Ove promene mogu biti promene konfiguracije na skupu uređaja (senzora ili aktuatora), promene očitanih podataka sa senzora, promena trenutno aktivnog željenog stanja, promene aktuelnih tarifnih profila, provajdera, tipova energije ili kriterijuma za odlučivanje u ontologiji za naplatu.

Na Slici 3 je prikazana sekvenca događaja koja se dešava u periodičnom procesu odlučivanja. Postoje dva modela odlučivanja koji se događaju jedan za drugim. Najpre se ispituje da li postoji uređaj koji treba uplanirati u tekući plan akcija. Ukoliko postoji, uz informacije o uređaju, Ontologija naplate se puni sa svim mogućim kombinacijama vremena startovanja rada uređaja i mogućih tarifnih profila (Decision Set), odakle se zatim, na osnovu definisanih kriterijuma, određuje optimalno vreme i tarifni profil u kojem će biti startovan uređaj i tako kreiran zadatak se upisuje u bazu. Ovakvo odlučivanje se primenjuje u slučajevima da je korisnik zadao npr. da mašina za veš treba da startuje svoj program u periodu od 22h do 6h kada za to bude bilo najpovoljnije vreme. Nakon ovog odlučivanja, sistem odlučuje o aktuatorima koji treba da budu aktivirani sa nekim parametrima. Ovi parametri se kreiraju na osnovu razlike između aktivnog željenog stanja i tekućeg stanja u kući. Aktivacija željenih stanja se odvija po automatizmu, prema rasporedima koje je korisnik već zadao. Ontologija uređaja kao rezultat daje vrednosti koje treba da se proslede aktuatorima u kući. Ovi rezultati, ulaze u Ontologiju naplate gde se utvrđuje plan aktivacije pojedinih aktuatora i plan promene tarifnih profila.

Korisniku je uvek ostavljena mogućnost da automatizam odlučivanja zaustavi pozivom funkcije *LockSystem()* koja će postaviti da je željeno stanje zapravo tekuće stanje, obrisati plan svih akcija koje imaju vreme izvršenja veće od tekućeg vremena i podignuti marker da se zaustavi ispitivanje da li ima novih uređaja za planiranje. Na ovaj način, korisnik „zamrzava“ sistem u tekućem stanju dok se ne pozove funkcija *UnlockSystem()* nakon koje se pokreće aktivacija trenutnog željenog stanja i započinje procedura planiranja aktivacije pojedinih uređaja.

Na kraju, komponenta *HAN Manager Service* periodično proverava zadatke koji su upisani u bazu od strane *Ontology Manager Service*-a i te zadatke prosleđuje na izvršenje. Ovaj servis vodi računa o „serijalizovanoj“ aktivaciji aktuatora, kako bi se što je moguće više smanjilo vršno opterećenje u kući. Interfejs koji ova komponenta koristi za izvršenje zadataka je isti bez obzira da li je zadatak aktivacija pojedinih aktuatora ili aktivacija određenog tarifnog profila. Ovakav pristup je omogućen interpretacijom funkcionalnosti aktuatora kao njegovih servisa.

ZAKLJUČAK

U poređenju sa HAN sistemima koji su danas već široko rasprostranjeni, ovaj sistem ima dve karakteristike koje ga izdvajaju:

1. Napravljena je integracija između AMI i HAN sistema kroz servise koje AMI infrastruktura nudi, a HAN sistem razume i koristi u automatizaciji optimizacije iskorišćenja energije
2. Sistem je baziran na ontološkom modelu u kojem se odlučivanje i reakcija sistema sprovode u skladu sa tekućim kontekstom (vrednostima koje sistem dobija sa senzora) i politikama, odnosno kriterijumima odlučivanja, koje je korisnik definisao.

Tako u običnom HAN sistemu, korisnik mora da ima ulogu administratora sistema koji sa sopstvenim znanjem o tarifnim politikama svoje distribucije ili svog provajdera energije radi raspoređivanje aktivnosti u svojoj kući („Uključi grejanje u 22h“, „Uključi mašinu za veš u 2h“, itd). Ovakav sistem administracije je



Slika 3

nemoguće primeniti u naprednom okruženju dinamičkih tarifnih modela gde se pretpostavlja postojanje više provajdera energije, koji mogu da isporučuju po jedan ili više tipova energije (Hidro, vetro, termo ili nuklearna energija) i koji imaju mogućnost da tarifne profile menjaju i više puta u toku dana. Ovo istraživanje je pokazalo da autonomni sistem baziran na ontološkom modelu koji prati ovakvu dinamku, može dovoljno brzo da reaguje i da, prema politikama koje je korisnik postavio na visokom nivou, donosi odluke o promenama aktuelnih tarifnih profila ili aktivaciji pojedinih kućnih uređaja. Na ovaj način potrošač veoma brzo i u svoju korist odgovara na zahteve u „Demand-Response“ okruženju i postavlja se u centar odlučivanja o načinu na koji će koristiti svoju energiju, a provajderi u poziciju da publikacijom različitih informacija relevantnih za korišćenje energije znatno unaprede kontrolu potrošnje i optimizuju stepen efikasnosti korišćenja energije.

LITERATURA

1. Segaran T, Evans C and Taylor J, 2009, “Programming the Semantic Web, 1st Edition”, “O’Reilly”
2. Hebel J, Fisher M, Blace R et al 2009, “Semantic Web Programming”, “Wiley Publishing, Inc.”
3. Vojdani A, 2008. “Smart integration” , “Power and Energy Magazine”, IEEE, Vol 6, 71—79
4. Energy Retail Association, 2008. “SRSM Project Paper”, “Definition of Market Models”, <http://www.energy-retail.org.uk/documents/MarketModelDefinitionPaperv1.pdf>
5. The California Public Utilities Commission (CPUC), 2008, “Information about Dynamic Pricing Service”. http://docs.cpuc.ca.gov/PUBLISHED/NEWS_RELEASE/85953.htm
6. Preuvenciers D, J. Van den Bergh, Wagelaar D et al. 2004. “Towards an Extensible Context Ontology for Ambient Intelligence” , “Lecture Notes in Computer Science”, Verlag Springer Berlin Heidelberg, Volume 3295/2004, Ambient Intelligence, 148-159.
7. Wang, Xiao Hang, Da Qing Zhang, Tao Gu et al. 2004. „Ontology Based Context Modeling and Reasoning using OWL“ , “PERCOMW”, pp.18, Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, 2004.
8. Xia, Tao Gu and Xiao Hang Wang, Hung Keng Pung et al. 2004. „An Ontology-based Context Model in Intelligent Environments“, in Proceedings of Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference, 2004, 270---275.
9. Ricquebourg V, Durand D, Menga D et al. 2007. „Context Inferring in the Smart Home: An SWRL Approach“ . „ainaw, vol. 2, 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW’07)“, pp.290-295.
10. Xu, Jingjing, Yann-Hang Lee, Wei-Tek Tsai et al. 2009. „Ontology-Based Smart Home Solution and Service Composition“ . „International Conference on Embedded Software and Systems (ICESS)“, 2009, 297-304.

Kontakt informacija autora:

Milan Stefanović, dipl Mat.

E-Smart Systems d.o.o, Kneza Višeslava 70A, 11030 Beograd

tel: +381 11 3050200