

Jedno rešenje arhitekture Smart Metering sistema

Srdan Vukmirović, *Member, IEEE*, Aleksandar Erdeljan, *Member, IEEE*,
Duško Lukač, *Member, IEEE*

Sadržaj — Rad se bavi arhitekturom Smart Metering sistema koji se u poslednjih nekoliko godina intenzivno istražuju i razvijaju u elektrodistributivnim sistemima. Predstavljena je inovativna arhitektura gde se usluge Smart Metering sistema posmatraju kao servis koji povezuje različite Advanced Metering Infrastructure (AMI) sisteme u jedinstven sistem sa izuzetno velikom količinom podataka prikupljenih iz razduženih merača potrošnje električne energije. Pored toga, predložena arhitektura je servisno orijentisana i omogućuje da se takav servis jednostavno, sigurno i pouzdano integriše sa ostalim aplikacijama i podsistemima distributivnog preduzeća. Na osnovu predložene arhitekture realizovan je komercijalni Meter Data Management proizvod.

Ključne reči — Daljinsko očitavanje, Meter Data Management, Smart Metering.

I. UVOD

Stalan porast potražnje za električnom energijom je posebno vidljiv u poslednjoj deceniji. Izvori energije su ograničeni dok potražnja konstatno raste, što samo uvećava značaj uštede energije na svim nivoima: u proizvodnji i prenosu energije (EMS), u distributivnom delu elektroenergetskih sistema (DMS), a u poslednje vreme i kod samih potrošača. Razvojem novih „pametnih“ merača omogućeno je da se i individualni potrošači uključe u proces uštede energije. Prve generacije automatskih merača su merile samo potrošnju, dok se kod najnovijih modela može meriti veći broj parametara potrošnje. Što je još važnije novi modeli merača omogućavaju isključivanje pojedinih kategorija potrošača po potrebi. U slučajevima kada u sistemu nema dovoljno proizvedene energije omogućeno je selektivno isključivanje potrošača i to u skladu sa ugovorom koji su sklopili sa distributivnim preduzećem. Na taj način merači prestaju da budu samo ulazni uređaji već postaju sastavni deo kompleksnog i sveobuhvatnog nadzorno-upravljačkog

sistema [1]. Može se očekivati da će ovakav sistem omogućiti uštede pri kritičnim opterećenjima mreže.

Osnovni zadatak Smart Metering sistema je da mere vrednosti sa udaljenih i razduženih merača potrošnje električne energije integriše u kompleksan i sveobuhvatan sistem za nadzor i upravljanje elektrodistributivnom mrežom. Po svojoj prirodi to su veliki distribuirani sistemi gde broj merača može da pređe i nekoliko miliona pa su pravilno dizajnirana arhitektura softverskog sistema i dobar izbor tehnoloških rešenja od presudne važnosti za uspešno funkcionisanje celog sistema. Podaci koji se prenose u sistemu mogu biti zloupotrebjeni – tu se pre svega misli na krađu energije, podataka o korisnicima i/ili neovlašćeno iskućivanje potrošača, pa je sigurnost podataka od izuzetne važnosti, Postoji američka studija koja je dokazala da sadasnji sistemi nisu sigurni od hakerskih napada i da je čak moguće prekinuti dovod elektricne energije [2, 3]. Stoga se rešenje mora oslanjati na proverene sigurnosne standarde. Od posebne važnosti je potreba da se podaci is Smart Metering sistema razmenjuju sa drugim podsistema i aplikacijama elektrodistributivnog preduzeća – te je precizno definisanje intefejsa za integraciju veoma bitno. Arhitektura predložena u ovom radu se zasniva na troslojnoj arhitekturi nadzorno-upravljačkog sistema pri čemu se na svim nivoima koriste najnovije informacione tehnologije i proizvodi koji su se do sada pokazali kao najprikladniji za idustrijsku primenu. Imajući u vidu visoke zahteve koji se postavljaju pred Smart Metering, kao komunikaciona tehnologija odabran je Microsoft Windows Communication Foundation (WCF). Time je omogućeno da se pomoću industrijski prihvaćenog standarda obavlja međuprocena komunikacija, pri čemu su interoperabilnost, skalabilnost, robusnost i sigurnost dobijene bez potrebne za posebnim razvojem (*from the box*). Kao centralni repozitorijum podataka odabran je OSI Soft PI koji je industrijski lider za čuvanje vremenskih serija signala u velikim sistemima. PI sistem je projektovan tako da omogućí skladištenje vrednosti izmerenih veličina očitanih sa više miliona merača, kao i da se čitanje istorije tih vrednosti obavlja veoma brzo.

II. RANIJI RADOVI

Iako je oblast Smart Metering-a relativno nova, postoje početna praktična iskustva i dostupni su radovi koji opisuju ulogu Advanced Metering Infrastructure (AMI) sistema, kao ključnog dela Smart Metering-a u elektrodistributivnim sistemima. Pojedini autori procenjuju da elektrodistribucije samo uvođenjem AMI sistema mogu uštedeti do 3% ukupnih troškova održavanja sistema [1].

Srdan Vukmirović, Fakultet Tehničkih Nauka u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (telefon: +381-21-6350992; e-mail: srdjanvu@uns.ac.rs).

Aleksandar Erdeljan, Fakultet Tehničkih Nauka u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (telefon: +381-21-6350992; e-mail: ftn_erdeljan@uns.ac.rs).

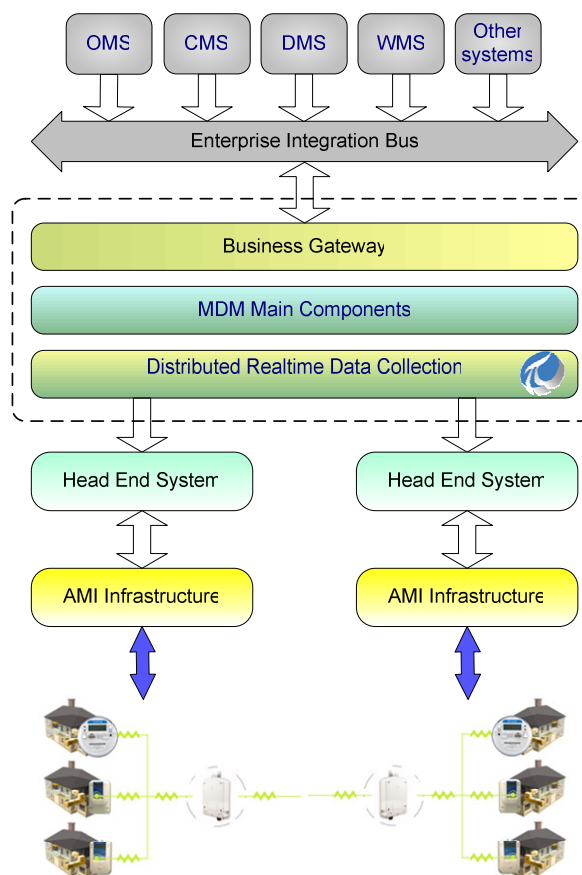
Duško Lukač, Rheinische Fachhochschule Köln gGmbH, Department of Mechatronics, University of Applied Sciences, Vogelsanger Strasse 295, 50825 Köln, Deutschland (telefon: +49-221-5468759, e-mail: lukac@rfh-koeln.de)

Ta ušteda se pre svega odnosi na smanjenje potreba za radnicima zaposlenim na održavanju mreže, kao i na bržoj restauraciji sistema posle havarije. Kada se AMI sistemi budu integrisali sa ostalim podsistemima očekuje se da će se uštede udvostručiti. U relevantnim radovima se ističe da su te integracije i saradnja sa drugim softverskim sistemima u okviru distributivnog preduzeća ključni aspekti Smart Metering sistema koji će presudno uticati na to koji će proizvod na tržištu na kraju uzeti najveći udeo [4]. Zbog toga je brza i jednostavna, ali sa druge strane i sigurna i pouzdana, integracija AMI sistema izuzetno bitna u ovoj fazi njihovog razvoja. Da bi se dobila osnova dobre integracije u heterogenim i distiruiranim sistemima uvek se prvo treba osloniti na proverene standarde. Neki od postojećih radova daju predloge arhitekture Smart Metering sistema, ali one su striktno orijentisane na rešavanje pojedinačnih problema ili daju samo uopštenu arhitekturu i predlažu osnovu za integraciju ne ulazeći u definisanje modela podataka i interfejsa potrebnih za integracije [5, 6]. Prednosti uvođenja Smart Metering sistema su stabilnost rada elektrodistributivne mreže i smanjenje sredstava potrebnih za njeno održavanje. Međutim, očekivanja da takvi sistemi doprinesu globalnoj uštedi električne energije još nisu potvrđena. Takođe, programirani ciklus Smart Metering sistema, po kritičarima, nije u stanju da prati kratkoročne promene u potrošnji i time omogućujući brzo prilagođavanje celog energetskeg sistema. U ovom radu se razmatraju samo tehnički aspekti Smart Metering sistema, ali je vredno pomenuti da će ekonomski i socijalni aspekti uticati na dalji razvoj ovakvih sistema. Koliko je ova tema osetljiva govori rezervisanost elektrodistributivnih kompanija u Nemačkoj da krenu u implementaciju Smart Meteringa. Trenutno su pokrenuta samo dva pilot-projekta oko uvođenja Smart Meteringa u firmama Yellow Strom i EnBW, gde je prvi projekat pretrpeo negativne kritike. Regulatorna tela pojedinih država razvila su pravnu regulativu za kontrolu svojih tržišta. Evropska unija je definisala okvirna pravila poslovanja za Smart Metering sisteme, dok je zemljama članicama ostavljeno da do kraja sprovedu u delo propise o regulisanju tržišta [7]. I druge međunarodne organizacije su se uključile u definisanje potreba i strategija razvoja ovakvih sistema [8, 9].

III. PREDLOŽENA ARHITEKTURA SISTEMA

Proizvođači mernih uređaja obično isporučuju infrastrukturu koja omogućuje centralizovano očitavanje više merača preko koncentratora. Takvi podsistemi koji skupljaju vrednosti iz merača jednog proizvođača nazivaju se Advanced Metering Infrastructure (AMI) sistemi. Kako jedan distributer električne energije može posedovati više vrsta merača proizvedenih od strane različitih AMI proizvođača pojavila se potreba za centralnim sistemom koji će služiti za čuvanje svih podataka iz različitih AMI sistema i omogućuje obradu prikupljenih podataka i centralizovano upravljanje celim sistemom. Tako su nastali Meter Data Management (MDM) sistemi koji pored uloge koncentracije podataka vrše i obradu dobijenih vrednosti - pre svega validaciju, estimaciju i editovanje (kraće VEE). Povezivanje različitih AMI sistema u jedan MDM sistem

je zadatak specijalizovanih softverskih komponenti Head End System-a. Podaci sa merača su potrebni drugim aplikacijama i podsistemima unutar elektrodistributivnog preduzeća, kao što su: Outage Managment System (OMS), Customer Management System (CMS), Distribution Management System (DMS), Work Management System (WMS) itd. U ovde predloženoj arhitekturi se takvi podsistemi posmatraju kao slabo povezani servisi, te se zajedno sa MDM sistemom dobro uklapaju u SOA koncept. Stoga se njihova integracija sa MDM sistemom vrši preko Enterprise Service Bus (ESB). Predložena arhitektura sistema prikazana je na slici 1.

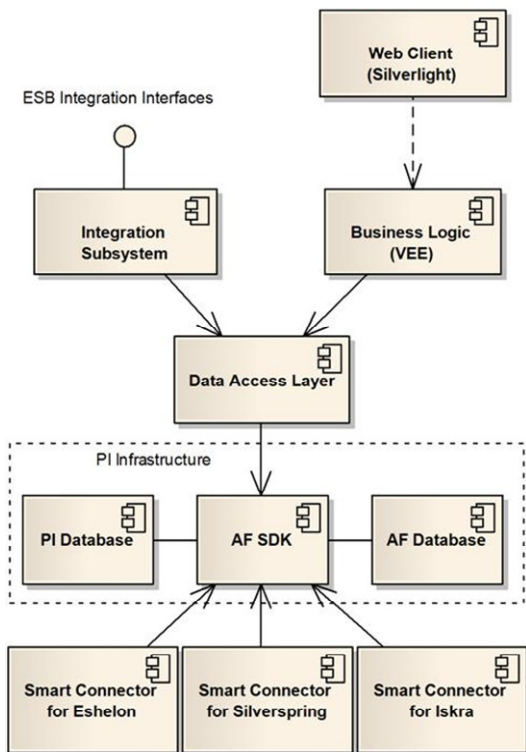


Sl. 1. Predložena arhitektura sistema

Komunikacija između merača i koncentratora se može obavljati preko energetskeg kablova ili bežičnim putem [10, 11]. M-Bus (Meter-Bus) je evropski standard (EN 13757) razvijen u Nemačkoj od strane Univerziteta Padeborn i Texas Instruments. U osnovi opisuje fizički sloj ISO-OSI referentnog modela sa namerom da postavi otvorenu osnovu na koju se mogu dograditi drugi protokoli. Pored dvožičnog prenosa, jednostavnog za primenu postoji i varijanta bežičnog prenosa (EN 13757-4). Sa druge strane, za komunikaciju između koncentratora i centralnog sistema za prikupljanje merenja (specifičnog AMI-ja) mogu se koristiti *Public Switched Telephone Network*, GSM, GPRS [12] i LAN.

IV. IMPLEMENTACIJA

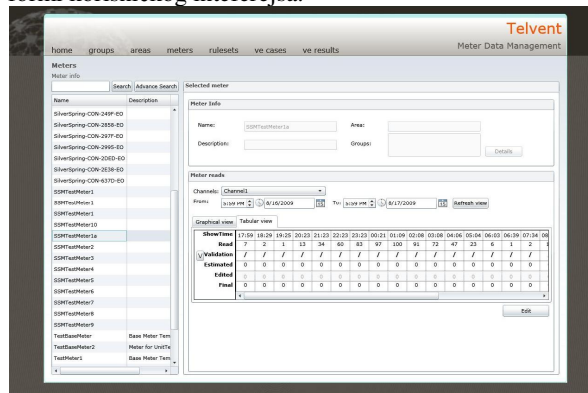
Kako je ranije napomenuto, arhitektura predloženog sistema zasnovana je na troslojnoj arhitekturi sa jasno definisanim granicama i interfejsima za razmenu podataka između slojeva. Za povezivanje slojeva koristi se Microsoft WCF (verzija 3.5). Ova tehnologija pruža dobre performanse, sigurnost u prenosu podataka i skalabilnost. Dodatno, gledano sa druge strane razvoja sistema, WCF omogućuje brz razvoj i lako održavanje softvera. Kao centralni repozitorijum podataka izabran je OSI Soft PI sistem zbog svojih visokih performansi kod čuvanja i pretrage velikog broja procesnih veličina. PI sistem u sebi sadrži dve baze: PI bazu namenjenu za čuvanje samo vrednosti merenih veličina i AF bazu za čuvanje svih ostalih podataka koji se sporije menjaju, a tipično se odnose na opis konfiguracije sistema (merači, grupe, korisnici itd.). AF baza je zasnovana na Microsoft SQL Server-u, dok PI baza ima zaštićen format osmišljen za čuvanje velike količine podataka i njihovu brzu pretragu.



Sl. 2. Grubi dizajn MDM sistema

Najniži sloj MDM aplikacije je Data Access Layer (DAL) koji služi kao prilagodni stepen između baze podataka i srednjeg sloja. DAL u sebi sadrži sveobuhvatni Data Model sistema. Pošto je moguće da elektrodistributivna preduzeća već imaju neku vrstu centralnog repozitorijuma podataka o merenjima, DAL je osmišljen i implementiran tako da bi pri eventualnoj promeni repozitorijuma podataka sve ostale komponente ostale nepromenjene. Smart Connector komponenta služi za direktnu komunikaciju sa udaljenim meračima specifičnog proizvođača. Za svaki tip merača je potrebno napisati posebnu instancu konektora, a za sada su razvijeni konektori za Eshelon i SilverSpring merače (u planu je

implementacija i za Iskra merače). Očekuje da će tokom upotrebe ovog sistema velika količina podataka pristizati u kratkom vremenskom intervalu – što je posledica jednobraznog podešenja merača da šalju svoja očitavanja u tačno propisanom trenutku. Da bi se predupredilo moguće zagušenje u konektore su uvedeni interni baferi koji će podatke čuvati dok se ne omogući njihova obrada i smeštanje u centralnu bazu podataka. U srednjem sloju (Business Access Layer) se vodi računa o identitetu i pravima korisnika sistema kao i načinu zaštite podataka. Pored toga u njemu se izvršava poslovna logika celog sistema, pre svega validacija merenih podataka i estimacija vrednosti tamo gde merenja nisu dobro očitana. Posebna komponenta ovog sloja (Integration Subsystem) je zadužena za integraciju sa ostalim sistemima preko WCF interfejsa. Na slici 2. prikazana je arhitektura MDM sistema zasnovanog na predloženoj arhitekturi. Za realizaciju korisničkog interfejsa korišćen je Microsoft SilverLight u kombinaciji sa Microsoft RIA Services što takođe doprinosi skalabilnosti rešenja i njegovom lakom održavanju. SilverLight je Microsoft-ova tehnologija najnovije generacije koja omogućuje razvoj aplikacija koje imaju visok stepen upotrebljivosti (na nivou Windows aplikacija), a moguće ih je koristiti preko Interneta i na drugim, a ne samo Microsoft platformama. Sigurnost podataka je posebno naglašena u ovoj tehnologiji što je od velikog značaja za Smart Metering sisteme. Predložena arhitektura je upotrebljena za implementaciju dela MDM proizvoda. Sve navedene komponente su realizovane u C# programskom jeziku u Visual Studio 2008 razvojnom okruženju. Kao ilustracija na slici 3. je prikazane jedna od formi korisničkog interfejsa.



Sl. 3. Korisnički interfejs MDM sistema

V. ZAKLJUČAK

U radu je opisana inovativna modularna arhitektura Smart Metering sistema zasnovana na savremenim informacionim tehnologijama i proizvodima koji pored brzog razvoja softvera pružaju skalabilnost i lako održavanje. Preko specijalizovanih Smart Connector-a predložena arhitektura omogućuje prikupljanje podataka sa merača razvijenih od strane različitih proizvođača. Implementiran je softverski sistem koji prihvata podatke sa velikog broja raznorodnih i distribuiranih merača. Sistem vrši obradu sakupljenih podataka, validaciju izmerenih vrednosti, estimaciju, kao i kontrolu ispravnosti samih merača. Pri projektovanju sistema posebna pažnja je posvećena otvorenosti sistema tako da se može lako

integrirati sa ostalim sistemima koji učestvuju u proizvodnji i distribuciji električne energije. Opisani sistem je u potpunosti implementiran u okviru komercijalnog Meter Data Management sistema. Implementacija sistema se nalazi u završnoj fazi, a očekivane praktične primene će pokazati kvalitet izloženog rešenja.

LITERATURA

- [1] Tram, H (2008) "Technical and Operation Considerations in Using Smart Metering for Outage Management", Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. T&D. IEEE/PES, pp. 1-3
- [2] Steffens, J (2009) "IoActive's Mike Davis to unveil Smart Card research at black hat USA" Available at <<http://www.ioactive.com/news-events/DavisSmartGridBlackHatPR.php>> July 28, 2009
- [3] Davis, M (2009) "SmartGrid Device Security- Adventures in a new medium" Available at <<http://www.blackhat.com/presentations/bh-usa-09/MDAVIS/BHUSA09-Davis-AMI-SLIDES.pdf>> October 4, 2009
- [4] Matheson, D, Jing, C and Monforte, F (2004) "Meter Data Management for the Electricity Market", 8 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Ames - Iowa, Septembar 2004.
- [5] Fischer, R., Schulz, NN and Anderson, GH (2000) "Information Management for an Automated Meter Reading System," 2000 American Power Conference, Chicago, April, 2000.
- [6] Le May, M, Nelli, R, Gross, G and Gunter, CA (2008) "An Integrated Architecture for Demand Response Communications and Control", Proceedings of the 41st Hawaii International Conference on System Sciences, 2008.
- [7] European Regulators' Group for Electricity and Gas (2007) "Smart Metering with a Focus on Electricity Regulation", Ref: E07-RMF-04-03, Oktobar 2007.
- [8] International Energy Agency Demand Side Management Programme (2009) "The Role of Advanced Metering and Load Control in Supporting Electricity Networks", Oktobar 2008.
- [9] Electric Power Research Institute, "Enterprise Service Bus Implementation Profile", April 2009.
- [10] Golubović, V (2004) "Analiza načina realizacije i perspektive širokopojsasnih mreža preko energetske vodova," TELFOR 2004, Novembar 2004, Beograd, Srbija
- [11] Danijela Paunović, i Aleksandrov, S (2004) "Implementacija PLC modema u sistem daljinskog očitavanja brojila i upravljanja potrošnjom", TELFOR 2004, Novembar 2004, Beograd, Srbija
- [12] Mitić, D (2008) "Komunikacija u sistemu za daljinski nadzor i upravljanje uređajima energetske elektronike". TELFOR 2008, Novembar 2008, Beograd, Srbija

ABSTRACT

This paper presents a novel architecture for Smart Metering systems. Smart metering solutions are a quickly evolving area in power distribution systems. Proposed architecture has a novel approach where services of Smart Metering system are used to link different Advanced Metering Infrastructure (AMI) systems into unique system with huge amounts of data that are collected from distributed meters of power consumption. Proposed architecture is service oriented which allows rapid development, scalability, easier maintenance and smooth integration with other application and subsystems of power distribution utility. The proposed architecture was fully implemented within a commercial Meter Data Management system thereby proving its worth.

A NOVEL ARCHITECTURE FOR SMART METERING SYSTEM

Srđan Vukmirović, Aleksandar Erdeljan, Duško Lukač