

MIGRACIJA SCADA SISTEMA U CLOUD OKRUŽENJE**MIGRATION OF SCADA SYSTEMS TO THE CLOUD ENVIRONMENT**Vuk Isić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – PRIMENJENO SOFTVERSKO INŽENJERSTVO**

Kratak sadržaj – Ovaj rad se bavi razmatranjima vezanim za migraciju SCADA sistema na Cloud. Problem migracije SCADA sistema na Cloud je kompleksan problem. Za ovakav problem ne postoji jednostavno rešenje, niti rešenje koje je već negde primenjeno, pa se može primeniti i na ovakav problem.

Ključne reči: SCADA, Cloud, Migracija, Mikroservisna arhitektura, Web, Nadzor, Upravljanje, Akvizicija.

Abstract – Migration of SCADA systems to the Cloud environment is presented in this paper. The problem of migrating SCADA systems to the Cloud is a complex problem. There is no simple solution that has already been applied somewhere, so it can be applied to this problem as well.

Keywords: SCADA, Cloud, Migration, Microservices, Web, Control, Commanding, Acquisition.

1. UVOD

Konstantan napredak tehnike i razvoj novih tehnologija zajedno utiču na promene u svim sferama softverske industrije. Između brojnih dostupnih tehnologija, postoji jedna koja se posebno ističe – **Cloud**. **Cloud** je drastično izmenio softversku industriju. Omogućio je stvaranje novih arhitektura i klasa aplikacija i uticao je na način na koji razmišljamo o razvoju i primeni softvera. Kako **Cloud** računarstvo utiče na gotovo sve softverske sisteme, pa tako se sve češće pokreće diskusija o primeni **Cloud** računarstva u infrastrukturnim sistemima sa kritičnom misijom.

Infrastrukturni sistemi su sistemi od ključnog značaja za rad industrije i socijalni kvalitet života. Upravljanje ovakvim sistemima je veoma kompleksno zbog velikog broja parametara koji utiču na njihov rad i uticaja na „korisnike“ ovakvih sistema [1].

Iz prethodno navedenih razloga, primena novih tehnologija u infrastrukturnim sistemima je nešto sporija o odnosu na ostale sisteme i samim promenama se pristupa na veoma ozbiljan način uzimajući u obzir moguće rizike i uticaje. Zbog performansi i nivoa bezbednosti koje ovakvi sistemi treba da postignu, veoma često se primenjuju lokalna rešenja. Međutim, kako se **Cloud** računarstvo brzo razvija, postaje očigledno da će u nekom trenutku u budućnosti, kada se za to steknu adekvatni uslovi, i infrastrukturni sistemi izvršiti migraciju na **Cloud**.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Darko Čapko, vanr. prof.

Jedan od vitalnih delova svakog infrastrukturnog sistema jeste **SCADA** sistem, koji u osnovi omogućuje nadzor i upravljanje sistemom u režimu realnog vremena sa udaljene lokacije. Kompleksnost **SCADA** sistema se ogleda u zagarantovanom vremenu odziva (*eng. Real-time*) sistema koje je potrebno obezbediti.

Glavni zadatak ovog rada jeste razmatranje migracije **SCADA** sistema na **Cloud**. Sama razmatranja moraju uključiti analizu i validaciju mogućih rešenja, prikaz alternativa, prikaz mogućnosti, prednosti i mana ove migracije.

2. TEORIJSKE OSNOVE**2.1. SCADA**

SCADA (*eng. Supervisory Control And Data Acquisition*) predstavlja sistem za nadzor i upravljanje realnim sistemima. Spada u klasu računarskih sistema za rad u realnom vremenu – sistemi koji treba da obezbede adekvatan (*zagarantovan*) odziv na promene stanja kontrolisanog objekta [2].

Osnovne funkcije **SCADA** sistema su:

- **Prikupljanje podataka** – Tok podataka od senzora ka glavnoj upravljačkoj stanici [2]. Podaci se mogu klasifikovati u dve kategorije: Indikacije statusa i Merene vrednosti. Postoje dva načina za prikupljanje podataka: Periodično prozivanje i Izveštavanje po izuzetku.
- **Nadzor** – nadzor prikupljenih podataka u odnosu na definisana normalna stanja i ograničenja. Ukoliko dođe do narušavanja ograničenja, generišu se alarmi.
- **Upravljanje** – Tok podataka od glavne upravljačke stanice ka aktuatorima [2] predstavlja upravljanje. Upravljanje može biti manuelno ili automatsko, u skladu sa zahtevima samog postrojenja kojim se upravlja.

U **SCADA** sistemima se primenjuju različiti protokoli za komunikaciju sa uređajima u polju koji su bazirani na **TCP/IP** komunikacionom steku. Najpoznatiji **SCADA** protokoli su: **Modbus**, **DNP3** i **IEC101/104**.

Kako **SCADA** sistemi često upravljaju kritičnim infrastrukturnim sistemima, **SCADA** softver se klasifikuje kao softver sa kritičnom misijom.

2.2. Cloud računarstvo

Za pojam **Cloud** računarstva (*eng. Cloud computing*) postoji veliki broj definicija u zavisnosti od ugla posmatranja, ali se generalno može reći da **Cloud** predstavlja način za isporuku **IT** resursa na zahtev putem interneta [3].

Glavne karakteristike *Cloud-a* su: Performanse, Lokacijska nezavisnost, Pouzdanost, Skalabilnost, Dostupnost i Virtualizacija.

Tipovi *Cloud-a*:

- **Public Cloud** – Javno dostupan svima putem standardnog interneta. *Hostovan* za različite korisnike i različite namene [3].
- **Private Cloud** – Lokalno *hostovan* od strane određene kompanije. Ograničeni broj korisnika može da mu pristupi [3].
- **Hybrid Cloud** – Kombinacija prethodna dva – virtuelni privatni *Cloud*. Omogućuje korišćenje servisa u **Public Cloud-u**, ali kontroliše ko može da im pristupi [3].

Nivoi usluga na *Cloud-u*:

- **IaaS** (eng. *Infrastructure as a Service*) – Osnovni hardverski resursi (računarski, skladišni i mrežni).
- **PaaS** (eng. *Platform as a Service*) – Osnovni hardverski i softverski resursi (na *PaaS-u* gradimo *SaaS*).
- **SaaS** (eng. *Software as a Service*) – Odgovornost pružaoca usluga je celokupna isporuka servisa. Softver se isporučuje kao servis.

3. OPIS PROBLEMA

Problem migracije *SCADA* sistema na *Cloud* je kompleksan problem. Za ovakav problem ne postoji jednostavno rešenje, niti rešenje koje je već negde primenjeno, pa se može primeniti i na ovakav problem. Zbog toga je sam problem migracije *SCADA* sistema na *Cloud* veoma aktuelan problem.

Osnovni problem jeste fundamentalna suprotnost između *SCADA* sistema i *Cloud* računarstva.

SCADA sistemi su *real-time* sistemi – sistemi sa zagantovanim vremenom odziva, koji su veoma osetljivi na vremenska kašnjenja, brzinu procesiranja i greške u komunikaciji. Dodatno, samo postrojenje se može sastojati iz više hiljada tačaka koje je neophodno nadzirati i kojima je potrebno upravljati.

S druge strane, *Cloud* predstavlja način za pristup objedinjenim *IT* resursima putem interneta. *Cloud* nudi prednosti poput skalabilnosti, dostupnosti, pouzdanosti i smanjenja troškova. Međutim *Cloud* sa sobom nosi i odgovarajuće probleme u pogledu performansi, bezbednosti i privatnosti. Ključno za upotrebu *Cloud-a* jeste razumevanje usluga u *Cloud-u*.

SCADA sistemi su vremenom evoluirali od klasičnih centralizovanih rešenja do distribuiranih rešenja. Sledeći logični korak jeste *Cloud*. Na *Cloud-u* se koriste i pristupa se servisima. Međutim sam pristup servisu na *Cloud-u* putem interneta unosi promenljivo kašnjenje. Dodatno, nijedan *Cloud* provajder trenutno ne nudi komponente za rad u realnom vremenu, niti garantuje za vreme odziva servisa – *SCADA* sistemima je upravo vreme odziva ključna karakteristika. Generalno treba migrirati *real-time* sistem na platformu / okruženje koje nije *real-time* kao što je *Cloud*.

Problem migracije se mora razmotriti pre svega sa tehničkog stanovišta, ali treba uzeti u obzir i druge faktore. Trenutno ne postoji konkretno rešenje za ovu

migraciju koje je u širokoj primeni. Ključ za uspešnu migraciju leži u razumevanju obe strane, i *SCADA* sistema i *Cloud-a*, razumevanju potrebe za migracijom i definisanju odgovarajućeg optimalnog rešenja za obe strane.

4. ARHITEKTURA

Arhitektura komponenta *SCADA* sistema je mikroservisna arhitektura i prikazana je na slici 1. Mikroservisna arhitektura je evolucija servisno-orijentisane arhitekture sa fokusom da svaki servis izvršava tačno jednu biznis logiku.

Komponente sistema su sledeće:

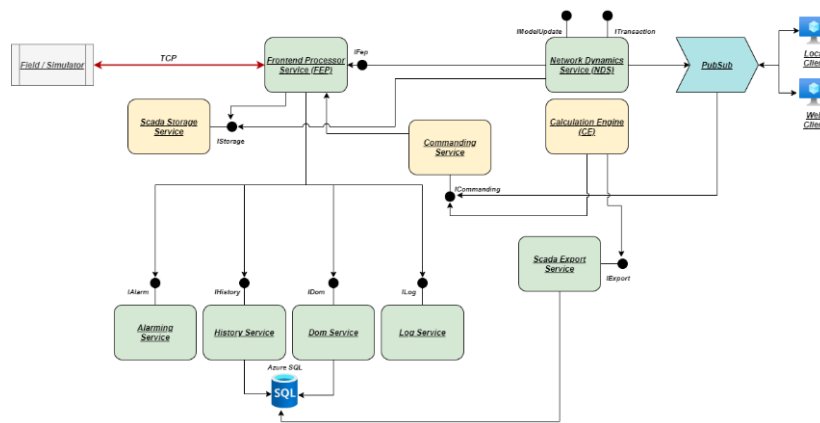
- **Frontend Processor Service** – Komponenta koja se koristi za komunikaciju sa uređajima u polju.
- **Network Dynamics Service** – Komponenta zadužena za rad sa modelom postrojenja.
- **Scada Storage Service** – Komponenta zadužena za skladištenje podataka o merenjima i modelu.
- **Commanding Service** – Komponenta koja primi *SCADA* komande, obradi ih i pošalje na izvršenje.
- **Calculation Engine** – Komponenta zadužena za proračune i automatsko upravljanje postrojenjem.
- **Alarming Service** – Komponenta zadužena za obradu i generisanje alarma za sva merenja.
- **History Service** – Komponenta zadužena za zapis istorije merenja.
- **Dom Service** – Komponenta zadužena za nadzor stanja opreme.
- **Log Service** – Komponenta zadužena za zapis *log* podataka celog *SCADA* sistema.
- **Scada Export Service** – Komponenta koja omogućuje pristup podacima *SCADA* sistema.
- **Pub Sub** – Komponenta za komunikaciju između *SCADA* sistema i klijentskih *HMI* aplikacija.
- **Local / Web Client** – Klijentske *HMI* aplikacije.
- **Simulator** – Komponenta koja simulira realni procesni kontroler.

Postoje dva tipa servisa:

- **Stateless servisi** – servisi koji nemaju neko interno specifično stanje (*obojeni zelenom bojom na slici*). Servis koristi druge resurse kako bi izvršio svoj zadatak. Instanca servisa se kreira na zahtev.
- **Stateful servisi** – servisi koji poseduju neko interno specifično stanje (*obojeni žutom bojom na slici*). Samo stanje se replicira na sve instance tog servisa.

Komunikacija u sistemu može biti realizovana na razne načine, jedini izuzetak jeste komunikacija sa simulatorom. Ona se realizuje putem *TCP-a* jer je većina *SCADA* protokola orijentisana na upotrebu *TCP-a*. Ostatak sistema može koristiti različite tehnologije za komunikaciju.

Važno je napomenuti da je ovakva arhitektura *SCADA* sistema uopštena (*referentna*) i da se može razlikovati u zavisnosti od konkretne primene u konkretnom sistemu. Cilj ove arhitekture je da obuhvati sve bitne komponente *SCADA* sistema.



Slika 1. Arhitektura SCADA sistema

5. ANALIZA MOGUĆIH REŠENJA

5.1 Public Cloud rešenje

Glavna odlika ovog rešenja jeste uniformnost – sve komponente / servisi se nalaze na **Public Cloud-u** - nema tranzicije između različitih okruženja.

Komunikacija između komponenti / servisa može biti realizovana na različite načine. Takođe, može se koristiti i otvorena infrastruktura za komunikaciju putem interneta.

Glavna prednost ovakvog rešenja jeste cena. **Public Cloud** je generalno jeftiniji od **Private** ili **Hybrid Cloud-a**.

Glavni nedostaci ovog rešenja su bezbednost, privatnost i performanse. **Public Cloud** je napravljen tako da je dostupan svima i da se može koristiti za različite primene, što dovodi do problema izolacije podataka. Nepredvidivo kašnjenje utiče na performanse vezane za pristup servisima.

Primena ovog rešenja je dosta upitna zbog navedenih problema. Ako se obezbedi odgovarajući nivo bezbednosti, ovakvo rešenje se može primeniti na **Soft SCADA** sisteme koji se odlikuju ublaženim zahtevima vezanim za vreme odziva.

5.2 Private Cloud rešenje

Glavna odlika ovog rešenja, ponovo, jeste uniformnost – sve komponente / servisi se nalaze na **Private Cloud-u** - nema tranzicije između različitih okruženja.

Komunikacija između komponenti / servisa može biti realizovana na različite načine. Dodatno, mogu se uključiti i privatne ili neke specifične komunikacione veze kojima su inače **SCADA** sistemi skloni.

Glavne prednosti ovog rešenja jesu performanse i bezbednost.

Kako je **Private Cloud** hostovan za tačno određenog klijenta i u tačno definisane svrhe sledi da je izolacija podataka potpuna. Sama privatna komunikaciona infrastruktura unapređuju performanse jer su komunikaciona kašnjenja manja, a komunikacioni linkovi su manje opterećeni.

Glavni nedostaci ovog rešenja su cena (**Private Cloud** je generalno skuplji od **Public** i **Hybrid Cloud-a**) i moguća ograničena skalabilnost **Private Cloud-a**.

Rešenje migracije **SCADA** sistema u **Private Cloud** je generalno rešenje koje se najviše preporučuje, a razlozi za to su performanse, bezbednost i privatnost.

5.3 Hybrid Cloud rešenje

Kako rešenja u **Public Cloud-u** i **Private Cloud-u** imaju različite prednosti i mane, moguće rešenje može biti integracija ova dva rešenja - upotreba **Hybrid Cloud-a**.

Glavna odlika ovog rešenja jeste, integracija različitih okruženja. Da bi se ovakvo rešenje moglo realizovati, mora se postaviti jasna granica između najkritičnijih komponenti i ostalih.

U ovom rešenju najkritičnije komponente su komponente za direktnu interakciju sa postrojenjem (**Frontend Processor**, **Scada Storage Service** i **Commanding Service**). Ove komponente su odabrane za primenu u **Private Cloud-u** jer zahtevaju visoke performanse.

Ostale komponente su takođe kritične, ali sve one direktno zavise od performansi komponenti koje se nalaze u **Private Cloud-u** pa su iz tog razloga one odvojene za primenu u **Public Cloud-u**.

Komunikacija između komponenti može biti realizovana na različite načine odvojeno između komponenti u **Public** i **Private Cloud-u**.

Glavna prednost ovog rešenja jeste to što se kombinuju prednosti prethodna dva rešenja. Rešenje primenom **Hybrid Cloud-a** je jeftinije od rešenja na **Private Cloud-u** ali skuplje od rešenja na **Public Cloud-u**, a pri tome se performanse, iako neznatno lošije u globalu, ne razlikuju puno od rešenja na **Private Cloud-u**. Nivo bezbednosti je unapređen u odnosu na rešenje u **Public Cloud-u**, a skalabilnost je unapređena u odnosu na rešenje u **Private Cloud-u**.

Glavni nedostatak ovog rešenja jeste kompleksna arhitektura. Granice između delova sistema u različitim okruženjima moraju biti jasno postavljene. Komunikacija između okruženja mora biti pažljivo planirana kako ne bi postala „usko grlo“.

Rešenje upotrebom **Hybrid Cloud-a** je rešenje koje se nalazi na polovini puta između **Public Cloud** rešenja i **Private Cloud** rešenja. Generalno nudi kompromis između performansi i cene.

5.4 Hibridno Rešenje

Prethodna rešenja prikazala su mogućnosti migracije **SCADA** sistema na **Cloud**, kada se migrira ceo **SCADA** sistem. Međutim, postavlja se jedno legitimno pitanje:

Zašto ne bismo jedan deo **SCADA** sistema ostavili da radi u lokalnu, a ostatak sistema migrirali na **Cloud**?

Glavna odlika ovog rešenja jeste integracija lokalnog sistema sa **Cloud-om**. Ponovo se pojavljuje potreba da se jasno definišu granice između heterogenih okruženja.

Najkritičnije komponente vezane za direktnu interakciju sa postrojenjem su odvojene u posebnu celinu koja se izvršava u lokalnu. Te komponente ponovo su **Frontend Processor**, **Scada Storage Service** i **Commanding Service**. Na ovaj način ovaj deo sistema ima mogućnost da ostvari najbolje performanse vezane za interakciju sa postrojenjem.

Ostale komponente su takođe kritične ali sve one direktno zavise od performansi komponenti koje se nalaze u lokalnu pa su one odvojene za primenu u **Cloud-u**.

Jedan od glavnih izbora koje je potrebno napraviti, pored izbora šta će biti u lokalnu, a šta će biti na **Cloud-u**, jeste koji tip **Cloud-a** će se koristiti za komponente na **Cloud-u**. Jasno je da u pogledu performansi i bezbednosti bolji izbor predstavlja **Private Cloud**.

U pogledu komunikacija pre svega se mora razmatrati komunikacija između lokalnog sistema i **Cloud-a**. S obzirom da se za ovu komunikaciju najčešće koristi internet, mora se posebno povesti računa o bezbednosti tih komunikacija. Komunikacija između komponenti na **Cloud-u** može biti realizovana na različite načine.

Glavne prednosti ovakvog sistema jesu performanse. Najkritičniji deo sistema je u lokalnu i odziv ovog dela sistema je **real-time**. Deo sistema na **Cloud-u** se koristi kako bi se obezbedile mogućnosti masovnog paralelnog procesiranja i skladištenja podataka.

Glavni nedostatak ovog sistema jeste, ponovo, kompleksna arhitektura. Granice između delova sistema moraju biti jasno postavljene. Komunikacija između okruženja mora biti pažljivo planirana kako ne bi postala „usko grlo“ između dva okruženja.

Ovo hibridno rešenje može imati dve uloge, može predstavljati inicijalno rešenje za migraciju na **Cloud**, ali takođe ovo rešenje može biti i konačno rešenje za migraciju.

6. PRIMER

Primer predstavlja migraciju **MasterSCADA** projekta [4] na **Cloud**. U prvoj fazi razvoja, implementiran je distribuirani **SCADA** sistem. U drugoj fazi, pristupilo se migraciji **SCADA** sistema na **Public Cloud**.

Prilikom migracije **SCADA** sistema na **Public Cloud**, primećeno je da su, u pogledu performansi, vremena odziva sistema povećana, delimično iz razloga upotrebe **Public Cloud-a**, kao i da su otvorena nova pitanja u smislu bezbednosti (Tabela 1. *Poređenje performansi*).

Tabela 1. *Poređenje performansi*

Rešenje	Akvizicija	Izvršenje komande	Ažuriranje GUI-a	Ukupno vreme odziva
Lokalno	2 s	~5 s	5 s	~12 s
Public Cloud	5 s	~11 s	10 s	~26 s

7. ZAKLJUČAK

SCADA sistemi su evoluirali od monolitnih – centralizovanih rešenja ka distribuiranim rešenjima. Sledeći, logični korak u razvoju, jeste migracija **SCADA** sistema na **Cloud**. Međutim, migracija **SCADA** sistema na **Cloud** predstavlja kompleksan problem, za koji ne postoji jednostavno rešenje.

U pogledu predloženih rešenja, rešenje u **Private Cloud-u** se izdvaja po performansama i bezbednosti, ali karakteristika takvog rešenja je visoka cena i moguća ograničena skalabilnost. S druge strane se nalazi rešenje u **Public Cloud-u** koje je u pogledu cene jeftinije i u pogledu skalabilnosti bolje, ali postoje problemi sa performansama i privatnošću. Kao kompromis između rešenja u **Public** i **Private Cloud-u**, predlažu se i hibridna rešenja. Prvo hibridno rešenje se zasniva na upotrebi **Hybrid Cloud** okruženja i nudi kompromis između cene i performansi i predstavlja jedno veoma primenljivo rešenje. Drugo hibridno rešenje zasniva se na tome da se najkritičnije komponente sistema ostave u lokalnu, dok se procesiranje i obrada podataka izvršavaju na **Private Cloud-u**. Na taj način se mogu iskoristiti prednosti **Cloud-a** poput skalabilnosti, dostupnosti i pouzdanosti. Ovo, drugo rešenje, je kao i prvo hibridno rešenje dosta primenljivo, međutim u oba rešenja postoji problem kompleksne arhitekture.

U pogledu svih mogućih predloženih rešenja, predlaže se primena rešenja u **Private Cloud-u** kao i primena hibridnih rešenja. U zavisnosti od konkretnog sistema treba izabrati jedno od tih rešenja u zavisnosti od potreba konkretnog sistema.

8. LITERATURA

- [1] A. Selakov, „Napredni infrastrukturni sistemi“ - materijal sa predavanja, 2021.
- [2] B. Atlagić, Softver sa kritičnim odzivom - Projektovanje **SCADA** sistema, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, 2015.
- [3] S. Vukmirović, Cloud Computing - Materijal sa predavanja, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, 2021.
- [4] V. Isić, S. Košutić, M. Janković, Ž. Matović i D. Novaković, „Master Projekat - MasterSCADA,“ 2021.

Kratka biografija:



Vuk Isić rođen je 26.10.1997. godine u Valjevu. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Primenjeno softversko inženjerstvo 2020. godine.

Kontakt: vukisic97@gmail.com.