



**SOFTVERSKO REŠENJE ZA AUTOMATIZOVANU RAZMENU ZDRAVSTVENIH
KARTONA ZASNOVANO NA TEHNOLOGIJI BLOKČEJN**

**A SOFTWARE SOLUTION FOR AN AUTOMATED MEDICAL RECORD EXCHANGE
BASED ON THE BLOCKCHAIN TECHNOLOGY**

Vladimir Jovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast - ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj - U ovom radu predstavljeno je softversko rešenje za automatizovanu razmenu medicinskih kartona zasnovano na tehnologiji Blokčejn. Softversko rešenje obezbeđuje bezbednu razmenu podataka između zdravstvenih institucija i istraživačkih organizacija, uz očuvanje anonimnosti pacijenata. Korišćenjem pametnih ugovora, pacijentima se omogućava potpuna kontrola nad dozvolama za pristup njihovim medicinskim kartonima. Softversko rešenje koristi tehnologije Hyperledger Fabric i MongoDB, čime se postiže skalabilnost i efikasnost u realnom vremenu, pri čemu su transparentnost i bezbednost ključni prioriteti.

Ključne reči: Blokčejn, pametni ugovori, Hyperledger Fabric, MongoDB, elektronski zdravstveni karton

Abstract - This paper presents a software solution for automated medical record exchange based on blockchain technology. The system ensures secure data exchange between healthcare institutions and research organizations while preserving patient anonymity. Smart contracts enable patients to have full control over access permissions to their medical records. The software solution uses Hyperledger Fabric and MongoDB technologies, achieving scalability and real-time efficiency, with transparency and security as key priorities.

Keywords: Blockchain, Smart contracts, EHR (Electronic Health Record)

1. UVOD

U savremenom društvu, razmena podataka ima ključnu ulogu u mnogim sektorima, od finansija i proizvodnje do logistike i zdravstvene zaštite. Efikasna razmena podataka omogućava unapređenje procesa, povećanje produktivnosti i donošenje odluka zasnovanih na relevantnim informacijama, što sve zajedno doprinosi inovacijama i razvoju novih tehnologija.

U zdravstvu, razmena podataka je značajna zbog svoje uloge u spasavanju života i unapređenu zdravstvenih usluga. Uvođenje elektronskih zdravstvenih kartona (EZK), predstavlja revoluciju u načinu upravljanja i

razmene medicinskih podataka. EZK omogućavaju digitalno čuvanje svih bitnih informacija o pacijentu, što poboljšava kvalitet zdravstvenih usluga.

Napretkom nauke o podacima i ulogom analitike u obradi i tumačenju medicinskih informacija, podaci postaju izvor za inovacije u medicini. Sve veća usmerenost ka inovacijama stvara potrebu za intenzivnijom razmenom podataka između medicinskih ustanova i istraživačkih centara. Pristup kvalitetnim zdravstvenim podacima omogućava razvoj novih terapija i tehnologija, uz potrebu za sigurnim sistemima koji štite privatnost pacijenata.

Glavni izazovi u razmeni podataka uključuju obezbeđivanje bezbednosti i privatnosti medicinskih informacija, kao i automatizaciju pristupa tim podacima. Pored toga, zdravstvenim radnicima je potrebna tehnička podrška i obuka kako bi se efikasno koristili novi sistemi za razmenu podataka. Implementacija i održavanje sistema za razmenu podataka takođe zahtevaju značajne resurse, što može predstavljati prepreku, posebno za manje ustanove.

Cilj ovog rada jeste da se prethodno navedeni izazovi prevaziđu kroz primenu tehnologije blokčejn i pametnih ugovora u sistemima za razmenu medicinskih podataka. Tehnologija blokčejn obezbeđuje neizmenjivost, decentralizaciju i transparentnost podataka. Dok sa druge strane pametni ugovori omogućavaju automatizaciju ključnih procesa, poput dobijanja dozvola pristupa medicinskim kartonima i anonimizacije podataka. Na taj način, ovaj pristup osigurava efikasno upravljanje dozvolama i visoku sigurnost procesa razmene podataka.

2. PREGLED TRENUTNOG STANJA U OBLASTI

U ovom poglavlju predstavljeni su neki od najkorišćenijih sistema za razmenu medicinskih kartona.

U radu [1] predstavljena je platforma otvorenog koda *PopMedNet*, koja omogućava implementaciju i upravljanje distribuiranim mrežama zdravstvenih podataka. Platforma omogućava vlasnicima podataka da zadrže punu kontrolu nad svojim podacima, dok istraživači mogu da šalju upite za analizu podataka. Sistem koristi distribuiranu mrežnu arhitekturu koja osigurava privatnost i poverljivost podataka. Značaj ovog rada je u tome što je pomenuta platforma iskorišćena i primenjena u radu [2]. U radu [2] predstavljen je sistem *MDPH* koji trenutno obuhvata tri velike ordinacije u Masačusetsu. Pomenuti sistem omogućava kontrolisan pristup zdravstvenim kartonima iz više nezavisnih ordinacija zbog efikasnog praćenja bolesti i procene

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor bio dr Vladimir Dimitrieski, vanredni profesor.

zdravstvene i epidemiološke situacije u regionu gde je sistem primenjen.

U radu [3] predlaže se platforma *BBDS* koja koristi privatnu blokčejn mrežu za unapređenje kontrole pristupa osetljivim medicinskim podacima. Platforma omogućava da pristup podacima imaju isključivo ovlašćeni korisnici, čime se obezbeđuje odgovornost i privatnost. Tehnologija blokčejn osigurava nepromenljivost podataka i detaljno beleži sve korisničke akcije. Medicinski kartoni se čuvaju na *cloud*-u, dok se blokčejn koristi za trajno beleženje podataka o pristupu, čime se kombinuju prednosti sigurnosti blokčejna i ekonomičnosti *cloud* skladištenja.

Rad [4] predlaže upotrebu tehnologije blokčejn i pametnih ugovora na platformi *Ethereum* za bezbedno deljenje medicinskih podataka. Indeksi zdravstvenih kartona, kreirani na osnovu složenih logičkih izraza koji opisuju podatke o pacijentima, čuvaju se na blokčejn mreži, dok su stvarni podaci šifrovani i smešteni na skladištu u oblaku. Korisnici mogu pretraživati ove indekse na blokčejnu, a nakon autentifikacije i plaćanja putem pametnog ugovora, dobiti dozvolu za pristup i dekrpciju podataka, čime se obezbeđuje siguran pristup medicinskim informacijama..

Predloženo softversko rešenje koristi prednosti privatne blokčejn mreže, obezbeđujući veću kontrolu bezbednosti i integriteta podataka u odnosu na javne mreže. Za razliku od rada [3], implementiran je mehanizam za specifikaciju podataka putem logičkih uslova. Osim toga, rad uvodi mehanizam anonimizacije privatnih podataka, što dodatno povećava bezbednost sistema.

3. SPECIFIKACIJA ZAHTEVA

U okviru predloženog softverskog rešenja postoje tri vrste korisnika:

Pacijent koji nakon registracije može svoje medicinske kartone predati sistemu na obradu i čuvanje, zadržavajući potpunu kontrolu nad pristupom podacima. Pacijent može pregledati kartone, odobravati ili odbijati zahteve za pristup, pratiti istoriju pristupa i ažurirati podatke.

Zdravstvena ustanova deluje kao posrednik između pacijenata i softverskog rešenja. Kada ustanova preda karton u sistem, preuzima vlasništvo i odgovornost za dalje upravljanje podacima. Ustanova ima iste mogućnosti kao i pacijent, ali je komunikacija sa pacijentom van okvira ovog rešenja. Smatra se da ustanova ima sva potrebna ovlašćenja za dalji prenos kartona.

Istraživačka ustanova je registovani korisnik koji zahteva pristup medicinskim podacima zbog obavljanja naučnog istraživanja. Zahtevi se šalju putem pametnih ugovora sa specifičnim logičkim uslovima. Nakon odobrenja, ustanova preuzima anonimizirane podatke prilagođene za istraživanje.

3.1 Funkcionalni zahtevi

Funkcionalni zahtevi sistema podeljeni su u tri glavne kategorije: osnovni zahtevi, rukovanje medicinskim kartonima i kontrola pristupa podacima.

Osnovni zahtevi uključuju registraciju korisnika, koja je ključna za omogućavanje pristupa svim ostalim

funkcijama sistema. Registracija korisnika je korak koji osigurava da samo verifikovani i autorizovani korisnici mogu pristupiti sistemu i koristiti njegove funkcionalnosti. Proces registracije obavlja se automatski, uz proveru identiteta korisnika i dodeljivanje odgovarajućih pristupnih prava.

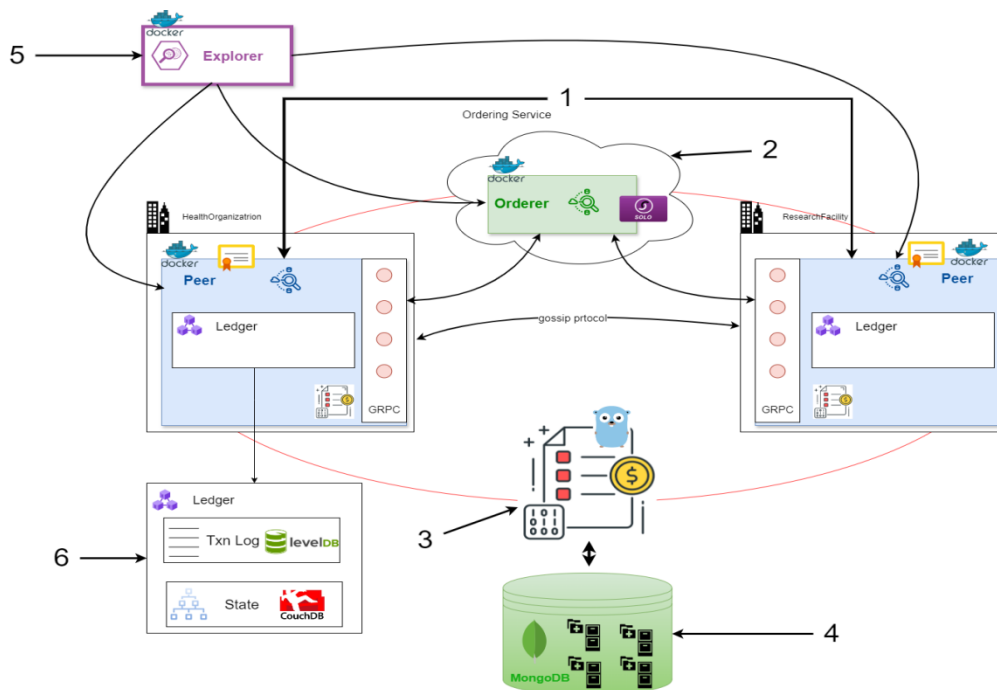
Rukovanje medicinskim kartonima obuhvata unos i ažuriranje medicinskih kartona od strane pacijenata i zdravstvenih ustanova. Prilikom unosa kartona, podaci se automatski anonimiziraju kako bi se zaštitila privatnost pacijenata. Anonimizovani podaci zatim se sigurno čuvaju, čime se obezbeđuje da su svi uneti podaci pouzdani i nepromenjeni. Ova funkcionalnost omogućava pacijentima i zdravstvenim ustanovama da zadrže kontrolu nad svojim podacima, dok istovremeno omogućava istraživačkim ustanovama pristup ažuriranim i tačnim informacijama.

Kontrola pristupa podacima omogućava pacijentima i zdravstvenim ustanovama da upravljaju pravima pristupa svojim medicinskim kartonima. Pacijenti imaju mogućnost da odobre ili odbiju zahteve za pristup podacima koje podnose istraživačke ustanove. Zahtevi za pristup se formiraju putem logičkih upita, koji definišu podatke za istraživanje. Nakon odobrenja zahteva, istraživačke ustanove dobijaju pristup anonimiziranim podacima, prilagođenim za istraživačke potrebe, čime se obezbeđuje zaštita privatnosti pacijenata i sigurnost podataka.

4. ARHITEKTURA SISTEMA

Predloženo softversko rešenje za automatizovanu razmenu medicinskih kartona sastoji se od nekoliko glavnih komponenti. Celokupna arhitektura sistema prikazana je na slici 4.1, gde su obuhvaćene glavne komponente ovog rešenja, uključujući pir čvorove (engl. *Peer Nodes*), servis za naručivanje (engl. *Ordering Service*), pametne ugovore, skladište podataka i alat za nadgledanje sistema. Sve komponente sistema su implementirane i orkestrirane korišćenjem *Docker*-a i *Docker Compose*-a, što omogućava laku instalaciju, konfiguraciju i upravljanje celokupnom infrastrukturom.. U narednim paragrafima dat je opis komponenti.

Pir čvorovi (označeni brojem 1 na slici 4.1) su centralne komponente softverskog rešenja za automatizovanu razmenu medicinskih kartona i ključni elementi distribuirane mreže. Njihova glavna uloga je validacija transakcija, pri čemu proveravaju ispunjenost uslova transakcija i autentičnost učesnika pre nego što se one dodaju u distribuirani registar (engl. *Ledger*). Takođe, pir čvorovi izvršavaju pametne ugovore koji definišu pravila za odobravanje ili odbijanje transakcija, te održavaju kopiju distribuiranog registra, čime se osigurava dosledan i tačan prikaz stanja podataka u mreži. Distribuirani registar, koji pir čvorovi održavaju, sastoji se od transakcionog dnevnika, koji beleži promene podataka, i baze podataka stanja, koja prikazuje trenutno stanje svih objekata u sistemu. U arhitekturi, po jedan pir čvor je kreiran za svaku organizaciju, s mogućnošću horizontalnog skaliranja po potrebi. Za implementaciju distribuiranog registra korišćeni su *LevelDB* za transakcioni dnevnik i *CouchDB* za bazu podataka stanja, čime se osigurava pouzdanost i efikasnost sistema.



Slika 4.1. Arhitektura sistema

Servis za naručivanje (označen brojem 2 na slici 4.1) upravlja redosledom transakcija u blokčejn mreži, grupišući verifikovane transakcije u blokove i osiguravajući njihov hronološki redosled. Nakon formiranja bloka, servis distribuira blokove pir čvorovima, omogućavajući im da ažuriraju svoj distribuirani registar i održavaju konzistentnost stanja u mreži.

Servis za naručivanje može biti implementiran na nekoliko načina: *Solo*, koji omogućava brzu implementaciju i efikasan rad u sistemima sa manjim opterećenjem, *Kafka*, koja obezbeđuje visoku dostupnost i otpornost na greške, ili *Raft*, moderni konsenzusni protokol za decentralizovane mreže. U predloženoj arhitekturi odabran je Solo kao najprikladniji za početne faze sistema, omogućavajući brzo postavljanje i jednostavnije prilagođavanje potrebama

Pametni ugovori (označen brojem 3 na slici 4.1) su programski kodovi koji se izvršavaju na blokčejn mreži, omogućavajući automatizaciju transakcija i primenu pravila bez potrebe za posrednicima. U predloženom softverskom rešenju, pametni ugovori su kreirani pomoću programskog jezika *GoLang* i instalirani na mrežu preko pir čvorova. Nakon postavljanja na blokčejn mrežu, oni postaju dostupni za izvršavanje u skladu sa definisanim uslovima, čime se osigurava sigurna i pouzdana obrada svake transakcije.

U predloženoj arhitekturi, pametni ugovori igraju ključnu ulogu u automatizaciji razmene podataka, omogućavajući procese kao što su kreiranje zahteva za medicinske kartone i odobravanje pristupa od strane korisnika. Oni ispunjavaju funkcionalne zahteve sistema, uključujući upravljanje pristupom podacima, verifikaciju korisnika, i obezbeđivanje sigurnosti transakcija.

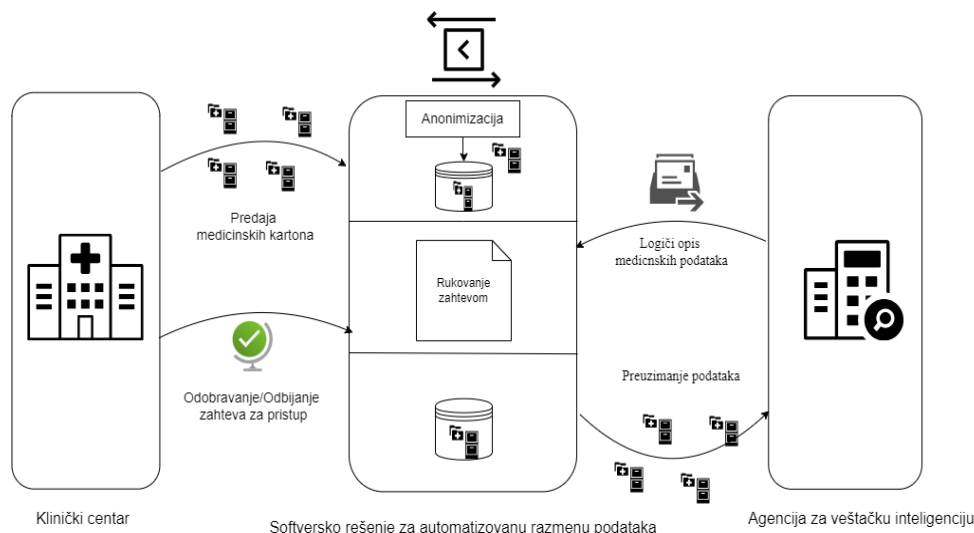
MongoDB (označen brojem 4 na slici 4.1) je dokument-orientisana *NoSQL* baza podataka projektovana za rad sa

velikim količinama podataka u dinamičnim okruženjima. U okviru predloženog rešenja, *MongoDB* služi kao osnovno skladište za anonimizovane medicinske zapise, pružajući skalabilnost i brz pristup podacima.

Hyperledger Explorer (označen brojem 5 na slici 4.1) je alat za nadgledanje blokčejn mreže koji omogućava korisnicima praćenje transakcija, stanja distribuiranog registra i statusa pir čvorova u realnom vremenu. Njegov jednostavan korisnički interfejs pruža administratorima i korisnicima detaljan uvid u blokove, pametne ugovore i druge ključne komponente sistema, što je ključno za održavanje i optimizaciju mreže. Korišćenje ovog alata obezbeđuje transparentnost, pouzdanost, i omogućava brzo identifikovanje i rešavanje potencijalnih problema, čime se osigurava konzistentnost i integritet podataka.

5. PRIMER UPOTREBE

U ovom poglavlju dat je primer upotrebe predloženog softverskog rešenja, gde su Klinički centar kao vlasnik medicinskih kartona i Agencija za veštačku inteligenciju kao tražilac podataka prepoznati kao glavni korisnici sistema. Slika 5.1 prikazuje dijagram toka sa četiri glavne etape: predaja medicinskih kartona softverskom rešenju, kreiranje zahteva za pristup podacima definisanim logičkim uslovom, odobravanje ili odbijanje zahteva, i preuzimanje medicinskih kartona. Klinički centar može, uz dozvolu pacijenata, da preda njihove medicinske kartone, koji se zatim anonimizuju i pohranjuju u eksterno skladište. Agencija za veštačku inteligenciju može kreirati zahtev za pristup podacima koristeći softversko rešenje i pametni ugovor. Zahtev treba da sadrži logički upit koji opisuje podatke. Softversko rešenje preuzima zahtev i vrši pretagu nad bazom medicinskih kartona. Za medicinske kartone koji ispunjavaju uslov kreira se zahtev unutar softverskog rešenja, koji Klinički centar može da odbije ili prihvati.



Slika 5.1. Dijagram toka

Klinički centar može ažurirati podatke, što je značajno za dugoročna istraživanja, i omogućava korišćenje ažuriranih podataka za validaciju modela veštačke inteligencije.

6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja softversko rešenje za automatizovanu razmenu medicinskih kartona zasnovano na tehnologiji Blokčejn, koje omogućava sigurnu i pouzdanu razmenu medicinskih podataka između zdravstvenih i istraživačkih ustanova. Integracijom *Hyperledger Fabric*-a i *MongoDB*-a razvijen je sistem koji omogućava anonimizaciju podataka, upravljanje dozvolama za pristup, i praćenje aktivnosti u realnom vremenu. Glavni doprinosi rada uključuju unapređenje sigurnosti i privatnosti kroz primenu tehnologije blokčejn, automatizaciju dobijanja dozvola i fleksibilno upravljanje pristupom medicinskim kartonima.

U poređenju sa postojećim rešenjima, predloženi sistem premošćuje nedostatke kao što su nedostatak automatizacije i ograničene mogućnosti pretrage podataka. Korišćenje privatne blokčejn mreže obezbeđuje veću kontrolu nad bezbednošću i integritetom podataka, dok pretraga putem logičkih uslova olakšava istraživačima pronalazak relevantnih podataka. Softversko rešenje omogućava ažuriranje podataka u realnom vremenu, što je ključno za dugoročna istraživanja.

Rezultati ostvareni kroz ovaj rad pokazali su da je moguće razviti sigurno i skalabilno softversko rešenje koje omogućava automatizovanu razmenu medicinskih kartona uz obezbeđenje visokog nivoa sigurnosti i privatnosti. Iako su postignuti značajni rezultati, postoji prostor za dalje unapređenje sistema, posebno u domenu poboljšanja načina pristupa softverskog rešenja kao i lakoće korišćenja.

U budućim istraživanjima, predlaže se unapređenje sistema kroz integraciju sa postojećim zdravstvenim sistemima i standardima, uključujući razvoj algoritama za konverziju različitih formata medicinskih kartona, čime bi se obezbedila kompatibilnost i šira primena. Takođe, integracija u okviru platforme eUprava mogla bi da

poboljša korisničko iskustvo, omogućavajući pacijentima lakše upravljanje dozvolama za pristup njihovim podacima i praćenje statusa zahteva. Kao dodatni pravac razvoja, predlaže se uvođenje kriptovalute unutar platforme, koja bi podstakla pacijente da dobiju nagrade za dozvolu korišćenja njihovih podataka u istraživanjima, što bi moglo značajno unaprediti dostupnost podataka..

7. LITERATURA

- [1] DEE, Daniel, et al. PopMedNet: A scalable and extensible open-source informatics platform designed to facilitate the implementation and operation of distributed health data networks. *Journal of Open Source Software*, 2022, 7.71: 4062.
- [2] VOGEL, Joshua, et al. MDPHnet: secure, distributed sharing of electronic health record data for public health surveillance, evaluation, and planning. *American journal of public health*, 2014, 104.12: 2265-2270
- [3] XIA, Qi, et al. BBDS: Blockchain-based data sharing for electronic medical records in cloud environments. *Information*, 2017, 8.2: 44.
- [4] CHEN, Lanxiang, et al. Blockchain based searchable encryption for electronic health record sharing. *Future generation computer systems*, 2019, 95: 420-429.

Kratka biografija:



Vladimir Jovanović rođen je 6. jula 1999. godine u Bijeljini, Bosna i Hercegovina, gde je stekao osnovno obrazovanje u osnovnoj školi „Sveti Sava“. Dalje školovanje nastavio je u Bijeljini gde je završio Gimnaziju „Filip Višnjić“. Školske 2018/2019 godine upisuje se na Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, smer Računarstvo i automatika. Osnovne akademske studije završio je 2022. godine i iste godine upisuje se na master akademske studije na studijskom programu Računarstvo i automatika Fakulteta tehničkih nauka. U toku master studija izabran je na poziciju Saradnika u nastavi na Fakultetu tehničkih nauka.