

MERNO-INFORMACIONI SISTEM ZA AKVIZICIJU, PRENOS I OBRADU BIOMEDICINSKIH SIGNALA

Filip Đorđević¹, Nikola Petrović², Vladimir Pejanović³, Milana Bojanić⁴

^{1,2,3,4}Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹filip.djordjevic@uns.ac.rs, ²petrovicnikola@uns.ac.rs, ³vladimirpejanovic@uns.ac.rs, ⁴milana.bojanic@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: U ovom radu prikazujemo implementaciju merno-informacionog sistema koji se sastoji iz klijentskog i serverskog modula. Realizacija ovih aplikacija je usmerena na bezbedan i pouzdan prenos i sinhronizaciju biomedicinskih signala u realnom vremenu. Sistem pruža fleksibilnost po pitajnu signala koji se prenose (višekanalni EKG, višekanalni EEG, EMG, EOG) i mernih uređaja koji se koriste za njihovo merenje i akviziciju. Serverski modul omogućava arhiviranje, organizaciju i strukturiranje podataka na osnovu pošiljaoca, tipa signala ili ispitanika. Dobijeni rezultati za više klijentskih aplikacija i sa jednostavnim modelom podataka daju osnovu za buduća istraživanja.

Ključne reči: merno-informacioni sistem, vizuelizacija podataka u realnom vremenu, TCP/IP komunikacija, biomedicinski signali, podaci sa pridruženim vremenskim trenucima

MEASUREMENT INFORMATION SYSTEM FOR ACQUISITION, TRANSMISSION AND PROCESSING OF BIOMEDICINE SIGNALS

Abstract: In this paper we present an implementation of a measurement information system that consists of two modules: a client and a server. These applications are intended to provide safe and reliable transmission and synchronization of biomedicine signals in real-time. The system provides the flexibility regarding transmitting signals (multichannel ECG, multichannel EEG, EMG, EOG) and measurement devices that are used for their acquisition. The server module allows archiving, organization and structuring of data depending on the sender, type of the signal or the respondent. Results gathered for multitude of client applications and with a simple data model provide a basis for future research.

Key Words: measurement information system, real-time data visualization, TCP/IP communication, biomedicine signals, Time Series Data

1. UVOD

1.1 Domen i cilj istraživanja

Merno informacioni sistem, u opštem slučaju, predstavlja posebnu vrstu informacionog sistema čiji je zadatak da upravlja i organizuje podatke koji su rezultat merenja. Da bi se postigla preciznost i tumačenje podataka na pravilan način, oni se sakupljaju tokom vremena, sa pamćenjem vremenskih trenutaka kada su prikupljeni (*Time Series Data*). Kao rešenje za analizu ovako sakupljenih podataka, koristi se vizuelizacija u vidu linijskih grafikona i zapis prikupljenih podataka u tabelarnom formatu u *Comma-separated values (*.csv)* datoteku.

Za mrežnu komunikaciju između modula koristi se *Transmission Control Protocol (TCP)*, protokol koji pripada transportnom nivou u okviru TCP/IP skupa protokola i koji krajnjim modulima garantuje pouzdan prenos podataka. Garancija pouzdanog prenosa se postiže uspostavljanjem konekcije između modula koje komuniciraju na mreži. Interfejs koji povezuje aplikaciju i transportni protokol su utičnice (*socket*), koje se opisuju IP (*Internet Protocol*) adresom i brojem porta. Utičnice predstavljaju krajnje tačke komunikacije između klijentskog i serverskog modula.

Domen istraživanja su biomedicinski signali, koji se mere ili sakupljaju u kontekstu biomedicinskih istraživanja i u domenu zdravstva. Podaci koji predstavljaju model istraživanja se opisuju kao kvaziperiodični signali za praćenje rada srca (ECG, *electrocardiogram*), aktivnost mozga (EEG, *electroencephalogram*), procenu nervnih i mišićnih ćelija (EMG, *electromyography*) i dijagnozu očiju (EOG, *electrooculogram*). Kada se vrednosti ovakvih signala prikupljaju simultano sa više senzora ili izvora, oni se tada nazivaju višekanalni signali. Ovakvi signali se prenose kao više vrednosti zapisanih u istom vremenskom trenutku. U ovom istraživanju, u prvom planu će biti višekanalni EEG signali.

Cilj istraživanja je implementacija klijentske i serverske aplikacije koje predstavljaju module merno-informacionog sistema za akviziciju, prenos i obradu biomedicinskih signala. Serverska aplikacija ima za zadatak prijem vrednosti signala, dok klijentska aplikacija simulira akviziciju i potom šalje vrednosti ka serverskom modulu.

1.2 Pregled relevantne literature

Ovo poglavlje pruža sveobuhvatni pregled radova koji su relevantni za oblasti našeg rada.

Predlozi realizacije mrežne komunikacije u razvoju telemedicinskih sistema su tema izložena u [1]. Pored

predloga realizacije, izneseni su i drugi važni izazovi i pravci u kojima treba ići u razvoju telemedicinskih rešenja. Među protokolima koji se mogu koristiti za bežičnu komunikaciju, navodi se i TCP koji nudi raznovrsne, jeftine funkcionalnosti, kako bi se efikasno prenosili podaci uz postizanje velike propusne moći i male stope grešaka. Navode da buduća rešenja iz oblasti telemedicine moraju podržati bezbednost i privatnost podataka, kao i da sistemi kombinuju različite bežične mreže kako bi se garantovao kvalitet usluge (*Quality of Service, QoS*).

Android aplikacija za udaljeno praćenje stanja pacijenata kroz kontrolnu tablu za vizuelizaciju podataka o njima je predložena u [2]. Slično našem rešenju, ovde koriste funkcije koje u realnom vremenu imitiraju senzore IoMT uređaja koji pružaju tokove podataka zarad testiranja sistema. Različita merenja su prikazana primenom radarskog grafikona, toplotne mape i kružno-stubičastih grafikona.

Način vizuelizacije podataka koji imaju pridružene vremenske trenutke pomoću linijskih grafikona, tako da se gusti grafikonu redukuju izborom najvažnijih tačaka, odnosno najvažnijih izmerenih vrednosti od kojih se kreira precizniji grafikon je predstavljen pomoću četiri algoritma u [3]. Linijski grafikon je označen kao najbolji pristup u prikazivanju podataka povezanih sa vremenskim trenucima. Odatle su izvučeni predlozi za vizuelizaciju velike količine podataka, gde je *MinMax* algoritam pokazao najbolje performanse i *vizuelnu stabilnost*, koncept koji se uvodi u ovom radu. Vizuelna stabilnost ima za cilj da isprati vizuelne promene koje se dešavaju prilikom uvećavanja ili klizajućeg pomeranja pogleda na grafikon.

Način bezbednog prenosa višekanalnih EEG singala je predložen u [4]. Autori prikazuju dizajn sistema za efikasnu i bezbednu obradu primljenih merenja. U radu je predložen *Advanced encryption standard* (AES) algoritam, koji omogućava bezbedno slanje merenja, jer je potrebno sačuvati privatne informacije koje se šalju. Takođe, kako bi se postigla optimizacija zauzete memorije, signali se kompresuju pre slanja, kako bi posle prijema mogli biti dekompresovani tako da se ne gube korisne informacije. AES algoritam je korišćen tako da se šifrovanje primeni na blokove jednakih veličina, koristeći asimetrične ključeve. Kao rezultat izneseno je da je obrada kompresovanih signala u odnosu na sirove signale mnogo brža.

2. METODOLOGIJA I PREDLOŽENO REŠENJE

Rešenje je razvijano koristeći *Windows Presentation Foundation* (WPF), grafički podsistem za razvoj aplikacija sa grafičkim korisničkim interfejsom i projektni obrazac *Model View ViewModel* (MVVM). Za realizaciju vizuelizacije pomoću grafikona upotrebljena je biblioteka *LiveCharts2* [5].

Klijentski modul koristi funkcionalnost *C#* klase *TCPClient*, kako bi imao mogućnost da se poveže sa serverskim modulom koji se nalazi na određenoj IP adresi i broju porta. Grafički korisnički interfejs aplikacije nudi korisniku da izabere koji tip signala će se slati ka serveru, a u slučaju EEG signala, nudi se izbor kanala za koje se šalju merenja. Nakon toga, na svakih 10 milisekundi se šalje broj vrednosti koji odgovara broju kanala merenja. Vrednosti merenja su predstavljene kao brojevi sa pokretnim zarezom (tip *float*).

Serverski modul se oslanja na funkcionalnosti klase *TCPLListener*, kako bi se omogućilo prihvatanje zahteva za uspostavu veze sa jednom ili više klijentskih aplikacija čija je uloga da šalju podatke (vrednosti izmerenih signala), kao i da se postigne pouzdanost slanja merenih vrednosti.

Kada prihvati zahtev za uspostavom veze, server za svakog klijenta stvara novu nit (*thread*) koja će regulisati komunikaciju i obradu pristiglih signala. Svaka nit, tokom svoje aktivnosti, pamti podatke o IP adresi i broju porta klijentske aplikacije sa kojom komunicira, uz vrednost brojača koji je to klijent po redu koji se prijavio.

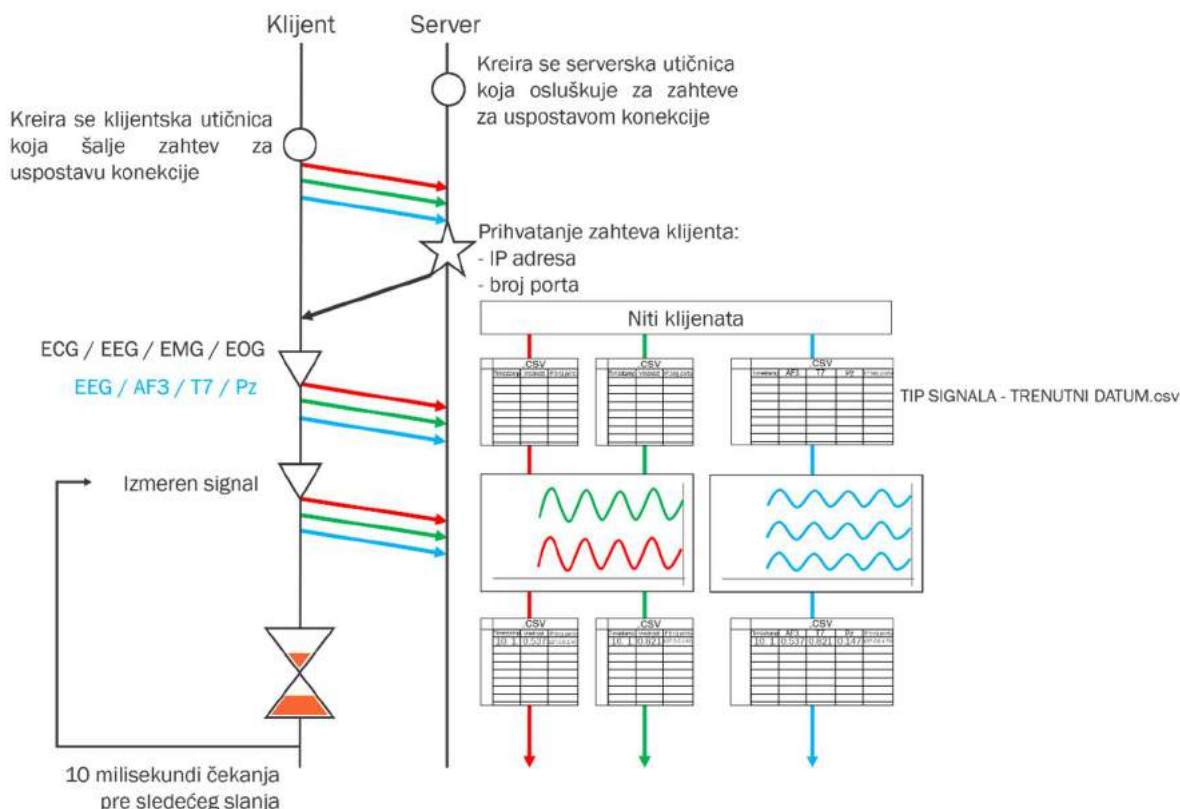
Na glavnom prozoru programa stoji dugme koje služi za pokretanje funkcionalnosti servera, gde nakon uspostave veze sa klijentom, server očekuje poruku o vrsti merenja za koje će primati podatke, gde će zavisno od sadržaja primljene poruke serverski modul funkcionisati na dva različita načina:

1. Prva poruka sadrži samo tip signala za koji se očekuju merenja (ECG, EEG, EOG ili EMG). U ovom slučaju, server u nastavku rada prima od svakog klijenta po jednu vrednost merenja.
2. Prva poruka sadrži samo tip signala za koji se očekuju merenja (ECG, EEG, EOG ili EMG) odvojen simbolom “/” od naziva svakog od kanala u višekanalnom prenosu. U ovom slučaju, server u nastavku rada prima od svakog klijenta vrednosti merenja za svaki kanal.

Naziv svake od *.csv datoteka se formira na osnovu vrste merenja i vremenskog trenutka kada je prijem poruka započeo. Ovim se garantuje jedinstvenost naziva svake od datoteka. Server kreira datoteku i dopunjuje je sa svakom primljenom vrednošću.

Njihov sadržaj se nakon prijema prve poruke organizuje dodeljivanjem imena kolonama za svakog klijenta. Prva kolona sadrži podatak u vremenskom trenutku je pristigla vrednost merenja (*Timestamp*). Ako se prima po jedna vrednost, onda se u narednoj koloni čuva primljena vrednost, dok ako je u pitanju višekanalno merenje, zauzima se onoliko kolona koliko kanala vrednosti čini merenje, kako bi se sačuvale sve vrednosti. Poslednja kolona sadrži podatke o klijentu sa kojim se komunicira (IP adresa i broj porta).

Pristigle vrednosti merenja se vizuelizuju u realnom vremenu na linijskom grafikonu koji prikazuje poslednjih 250 primljenih vrednosti. Način komunikacije i tok rada oba modula je prikazan na **slici 1**.



Slika 1. Dijagram toka komunikacije između klijentskog i serverskog modula

Podeoci y-ose grafikona se dinamički određuju prema najmanjim i najvećim primljenim vrednostima signala (njihovoj amplitudi), a na x-osi, na kojoj se predstavljaju vremenski trenuci prijema signala, povećava se broj podeoka kako odmiče vreme od početka prijema signala. Oznake podeoka prikazuju broj proteklih sekundi od trenutka prijema date vrednosti. Zavisno od broja klijenata i broja kanala, pojedinačni linijski grafikoni se pomeraju naviše kako ne bi bilo preklapanja između njih i kako bi amplitude mogle da se sagledaju.

3. REZULTATI

Kao zadatak ovog istraživanja postavljen je zahtev za uspešan prijem, arhiviranje, organizaciju i strukturiranje primljenih podataka u okviru pojedinačnih *.csv datoteka, kao i prikaz više merenja u realnom vremenu zavisno od broja klijenata, odnosno broja kanala merenja koji se šalju.

Pošto server treba da prima i obrađuje podatke koji predstavljaju signale, za inicijalno testiranje i prikupljanje rezultata aplikacije korišćene su nasumično generisane vrednosti i testiranje je obavljano na jednom računaru sa više klijentskih aplikacija.

Tabela 1 prikazuje deo sadržaja *.csv datoteka koje se kreiraju prilikom rada sa više klijenata (u ovom slučaju dva). Za svako merenje se beleži vremenski trenutak kada je pristiglo (Timestamp), kao i adresne vrednosti klijenta koji je poslao to merenje (IP Endpoint). Tabela 2 prikazuje deo sadržaja *.csv datoteke koja se kreira kada jedan klijent šalje višekanalna merenja (u datom primeru pet kanala EEG merenja), gde se ponovo navodi vremenski trenutak, vrednosti za svaki kanal merenja i adresne vrednosti klijenta koji je poslao merenje.

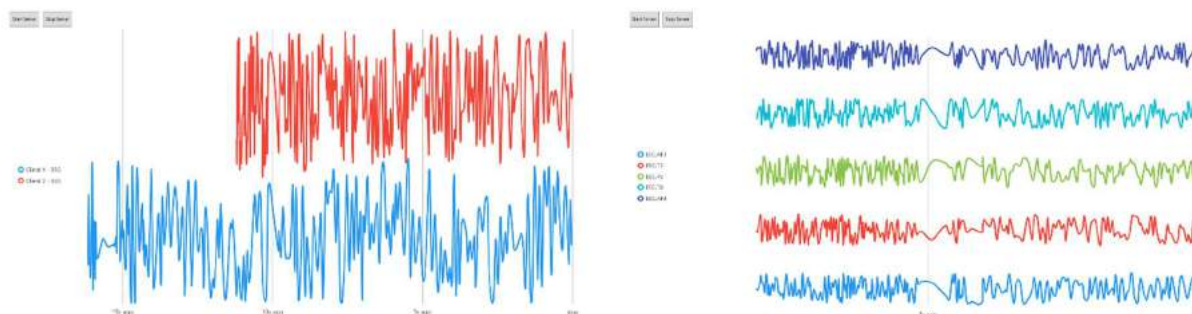
Tabela 1 – Sadržaj *.csv datoteka za dva različita klijenta

EEG - 10-01-2024 13-57-47.csv			EEG - 10-01-2024 13-57-55.csv		
Timestamp	Measurement	IP Endpoint	Timestamp	Measurement	IP Endpoint
10-01-2024 13-57-47-595	0.981283367	127.0.0.1:60628	10-01-2024 13-57-55-945	0.721616	127.0.0.1:60629
10-01-2024 13-57-47-641	0.46891	127.0.0.1:60628	10-01-2024 13-57-55-986	0.651967	127.0.0.1:60629
10-01-2024 13-57-47-644	0.65675	127.0.0.1:60628	10-01-2024 13-57-56-016	0.61606	127.0.0.1:60629

Tabela 2 – Sadržaj *.csv datoteke u kojoj se beleže vrednosti višekanalnih signala

Timestamp	EEG.AF3	EEG.T7	EEG.Pz	EEG.T8	EEG.AF4	IP Endpoint
05-01-2024 20-56-30-861	0.620043	0.033509	0.606637	0.933019	0.01137	127.0.0.1:5529
05-01-2024 20-56-30-988	0.693496	0.771671	0.257675	0.029192	0.013148	127.0.0.1:5529
05-01-2024 20-56-31-027	0.864947	0.876714	0.445086	0.163376	0.037782	127.0.0.1:5529

Uporedo sa čuvanjem podataka unutar *.csv datoteke, linijski grafikoni koji se iscrtavaju u realnom vremenu prikazuju iste podatke i služe kao dodatni dokaz o validnosti rezultata. Primeri ovih grafikona su prikazani na slici 2.



Slika 2. Prikaz grafikona kada se merenja primaju od dva različita klijenta (levo) i kada se merenja primaju kao višekanalni signali (desno)

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata merenja u realnom vremenu uz čuvanje tih rezultata u *.csv datotekama, zaključuje se da je cilj rada ispunjen, odnosno da je kreiran jednostavan merno-informacioni sistem koji je u stanju da prikuplja vrednosti od više klijentskih aplikacija ili višekanalna merenja i pomoću grafikona prikaže primljene vrednosti.

Istraživanje i realizacija ovih modula u kombinaciji sa klijentskim modulom, može da pokaže primenu računarskih mreža u biomedicini, nastavljajući se na ideje i predloge iznesene u relevantnim radovima.

Na osnovu toga, ovo rešenje predstavlja osnovu za dalje istraživanje i dalji razvoj celog sistema, gde su ciljevi:

- Dopuna vizuelizacionog rešenja tako da ono više odgovara standardu prikaza medicinskih signala.
- Praćenje i vizuelizacija dijagnostičkih podataka o samoj mreži, koji se dobijaju od klijentskog modula, gde će glavni prozor serverskog modula izgledati kao kontrolna tabla za prikaz i praćenje svih podataka koji pristižu od klijenta.
- Primena algoritama za pojednostavljenje gustih grafikona bi pomogla kao dopuna vizuelizacionog rešenja za praćenje stanja (dijagnostike) mreže, dok za grafikone koji predstavljaju merenja, to nije nužno korisno, kako bi se omogućilo detaljno praćenje vrednosti svakog merenja.
- Istraživanje i dodavanje sloja za enkripciju i dekrpciju poslatih podataka, bilo putem SSL (*Secure Sockets Layer*) bezbednosnog protokola ili nekog od naprednijih algoritama, kako bi se omogućio potpuno bezbedan prenos podataka.

5. LITERATURA

- [1] Caroline Alenoghena, Henry Ohize, Achonu Adejo, Adeiza Onumanyi, Emmanuel Ohihoin, Aliyu Balarabe, Supreme Okoh, Ezra Kolo, Benjamin Alenoghena, "Telemedicine: A Survey of Telecommunication Technologies, Developments, and Challenges." *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 12, 2-38, 10.3390/jsan12020020, 2023.
- [2] Mohammad Salah Uddin, Jannat Alam, Suraiya Banu, "Real time patient monitoring system based on Internet of Things.", *ICAEE*, 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering, 516-521, 10.1109/ICAEE.2017.8255410, 2018.
- [3] Jonas Donckt, Jeroen Donckt, Michael Rademaker, Sofie Hoecke, "Data Point Selection for Line Chart Visualization: Methodological Assessment and Evidence-Based Guidelines", 2023.
- [4] Jamal A. Hammad, Assef Raad Hmeed, Ahmed J. Obaid, "Cerebral disorders diagnosis via a secure transmission of multichannel EEG signal based on IoMT", *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, 26:7, 1865–1873, 10.47974/JDMSC-1676, 2023
- [5] "LiveCharts 2: Flexible, Customizable, Interactive Charts for .NET," GitHub repository, 2021. Dostupno na: <https://github.com/beto-rodriguez/LiveCharts2>.