

PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

By Laszlo Tot

**UNIVERZITET SINGIDUNUM
DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE**



**PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE
PODATAKA O STANJU PACIJENATA U
ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**Mentor:
Prof. Dr Milan Milosavljević**

**Student:
Laszlo Tot, master
Broj indeksa: 460117/2012**

Beograd, 2019.

POSVETA

¹² Zahvaljujem se, neizmerno, mentoru profesoru Milanu Milosavljeviću na podsticanju i usmeravanju istraživanja koja su konačno oblikovana u ovoj disertaciji. Posebno se zahvaljujem profesoru Gojku Gruboru, na podršci i pomoć u toku ¹² doktorskih studija. Takođe zahvalnost dugujem Univerzitetu Singidunum, celokupnom osoblju Univerziteta, posebno ¹² podama Orlić Dijani i Lugonja Ani, kao i gospodinu Nemeth Janošu na prevod. Posebnu zahvalnost na podršci dugujem svojoj roditeljima: ocu Lajošu, majci Silviji.

¹² Ovu disertaciju posvećujem svojoj supruzi Aniti i sinovima Botondu i Benci. Bez Vas ovaj rad ne bi bilo moguće ostvariti. Hvala Vam od svega srca.

IZJAVA O ČUVANJU TAJNI

Ja, dole potpisani Laszlo Tot, student smera Napredni sistemi zaštite, broj indeksa 460117/2012 prihvatom obavezu da podatke, potrebne za izradu svoje doktorske disertacije, kao i imena institucije, učesnika, pomagača i izvršilaca radnji, ostalih učesnika u istraživanjima, nadalje ime lekara specijaliste koji je propisao te realizovao terapije, kao i imena lica učesnika u sveukupnom istraživanju i kontrolne grupe ni u kojoj formi neću spominjati u disertaciji, izbegavajući tako povredu ličnih prava spomenutih ličnosti u ma kakvoj formi.

Lične podatke koje tokom uvida u disertaciju, rukovanja istom ili tokom valorizacije disertacije određene osobe eventualno saznaju i upoznaju, trećim osobama, institucijama ili organizacijama ne mogu dostaviti ili preneti, odnosno ne smeju kopirati iste.

Gornja izjava o čuvanju tajni se ne odnosi na dobijene naučne rezultate.

ABSTRAKT

Ova disertacija ima za cilj, s jedne strane ocena stanja pacijenata koji pate od neuromotoričnih bolesti uz pomoć senzorskih mreža korišćenih u zdravstvu, a s druge strane odgovor na pitanje da li tenis kao sport bolji i efikasniji u rehabilitaciji od klasičnih rehabilitacijskih procesa. Drugi je cilj utvrditi, da li su u zdravstvu korišćene senzorske mreže izložene sve većoj opasnosti, što je veoma bitan i važan faktor, te ga moramo imati u vidu.

U disertaciji se upoređuje razvoj i oporavak dve osobe skoro iste telesne građe životne dobi i snage od kojih se jedna leči klasičnom rehabilitacijom, a drugi uz pomoć tenisa kao rehabilitacijskog sporta. Pored toga se komparira razvoj čitave grupe sa razvojem kontrolne grupe. Osim navedenih analiziraju se i senzorske mreže korišćene u zdravstvu, njihova zaštita i bezbedno formiranje.

Kao rezultat istraživanja može se reći da su osobe rehibilitovane uz pomoć tenisa brže napredovale, do kraja istraživanja im se povećala snaga udaraca u odnosu na pacijente rehabilitovane na klasičan način. Možemo stoga reći da je istraživanje bilo uspešno. I druga moja pretpostavka je dobila potporu, jer se razvojem tehnike u sve većoj meri uočavaju razne bezbednosne pukotine u različitim mrežama.

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA ²U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

28

ABSTRACT

The objective of this thesis was both to assess the conditions of patients suffering from neuro-motor illnesses with the help of networks of sensors used in health care, and to see if tennis as a sport is better at rehabilitating than the regular reeducational processes. Another goal was to prove that these networks of sensors are exposed to increasing dangers that is a major factor to keep an eye on.

In the thesis the improvement and recovery of two patients of nearly the same age, strength and physique are compared, one of whom is recovering with a regular rehabilitation while the other one with the means of tennis as a rehabilitating sport. Besides, the development of the entire group is also compared with that of the control group. Moreover, the networks of sensors used in health care, their protection and safe installation are also analysed.

23

As the result of the research, it is proved, that the patients cured with the help of tennis improved faster and better, by the end of the research their stroke power was stronger, than that of the patients undergoing the regular rehabilitating processes. So, we can declare, that the result of the research was a success. The other assumption of mine was also supported, since with the development of technology, the various safety gaps are more and more common in the different networks.

1
PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

1.	UVOD.....	- 10 -
1.1	Značaj teme	- 11 -
1.2.	Cilj istraživanja	- 11 -
1.2.1.	Naučni cilj rada.....	- 11 -
1.2.2.	Društveni cilj rada.....	- 12 -
1.3.	Predmet istraživanja	- 12 -
1.4	Hipoteze	- 13 -
1.5	Metode istraživanja i tok istraživačkog rada.....	- 13 -
2.	SENZORSKE MREŽE.....	- 14 -
2.1	Uvod u bežične tehnologije.....	- 14 -
2.2	Pregled bežičnih računarskih mreža.....	- 15 -
2.3	Ad hoc mreže	- 18 -
2.3.1	Karakteristike Ad hoc mreža	- 19 -
2.4	Vrste Ad hoc mreža	- 20 -
2.4.1	Mobilne <i>ad hoc</i> mreže	- 20 -
2.4.2	Mesh-mreže	- 20 -
2.4.3	Senzorske mreže	- 21 -
2.5	Bežične senzorske mreže.....	- 22 -
2.6	Arhitektura WSN.....	- 25 -
2.6.1	Osnovne karakteristike SNode-ova i Sink/BS.....	- 25 -
2.6.2	Organizovanje i komunikaciona arhitektura WSN.....	- 27 -
2.7	Nivoi protokola	- 30 -
2.7.1	Fizički nivo	- 31 -
2.7.2	Nivo veze.....	- 32 -
2.7.3	Mrežni nivo.....	- 35 -
2.7.4	Transportni nivo	- 38 -
2.7.4.1	Protokoli na transportnom nivou – uporedne karakteristike.....	- 38 -
2.7.5	Aplikacioni nivo	- 40 -
2.7.6	Kolaboracija enkodera	- 41 -
2.8	Sigurnost bežičnih senzorskih mreža	- 41 -
2.8.1	Načini rada i pretnje	- 41 -

1
PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

2.8.1.3	Primanje i obrada naredbi (Receive and Process Commands)	- 43 -
2.8.2	Načini rada i odgovori na pretnje	- 44 -
2.8.3	Ostale pretnje	- 48 -
2.9	Zaštita bežičnih senzorskih mreža	- 52 -
2.9.1	Link layer security	- 52 -
2.9.2	Secure routing	- 56 -
2.9.3	Forenzika bežičnih mreža	- 57 -
2.9.4	Forenzički alati i postupci	- 59 -
3.	PRIMENA U ZDRAVSTVENOJ ZAŠTITI	- 66 -
3.1	Teorijska pozadina istraživanja	- 66 -
3.1.1	Tehnike udaraca u tenisu	- 66 -
3.2	MEMS senzori	- 70 -
3.3	Trgovinsko dostupni MEMS senzori	- 71 -
3.3.1	DigiTrainer	- 72 -
3.3.2	Minimax S4	- 73 -
3.4	Izabrani uređaj - Shimmer	- 73 -
3.4.1	Opis hardvera	- 74 -
3.4.2	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	- 76 -
3.1	Standardna programska rešenja	- 78 -
3.1.1	Program za usmeravanje podataka na mikroSD karticu	- 78 -
3.1.2	Program za usmeravanje podataka preko Bluetooth-a	- 79 -
3.1.2	Program za kalibraciju senzora	- 79 -
3.2	Razvojni alati	- 80 -
3.2.1	C#	- 80 -
3.2.2	LabVIEW	- 80 -
3.2.3	MATLAB	- 81 -
3.3	Održavanje sistema	- 81 -
3.3.1	Održavanje podataka	- 81 -
3.3.2	Digitalna foreznička analiza	- 81 -
4.	ISTRAŽIVANJE	- 83 -
4.1	Izgradnja sistema	- 83 -
4.2	Puštanje u rad	- 83 -
4.2.1	Prenos podataka u „Windows“ okruženju	- 88 -

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

4.2.2	Prenos podataka u „Linux“ okruženju	- 89 -
4.2.3	Prenos podataka na „Android“ mobilne uređaje.....	- 89 -
4.3	Realizacija istraživanja.....	- 91 -
4.3.1	Smeštanje uređaja na pacijentu.....	- 91 -
4.3.2	Povezivanje senzora sa programom Consensys.....	- 92 -
4.3.3	Određivanje koordinatnog sistema kod reketa.....	- 93 -
5.	REZULTAT ISTRAŽIVANJA	- 94 -
5.1	Podela učesnika u terapiji po polovima.....	- 94 -
5.2	Podela učesnika u kontrolnoj grupi po polovima	- 95 -
5.3	Analiza pokreta pacijenata koji učestvuju u terapiji.....	- 97 -
5.3.1	Okretanje reketa oko ose	- 97 -
5.3.2	Ritem udarac.....	- 99 -
5.3.3	Serva	- 101 -
5.4	Analiza pacijenata kontrolne grupe.....	- 103 -
5.4.1	Okretanja reketa oko ose	- 103 -
5.4.2	Ritem udarac.....	- 105 -
5.4.3	Serva	- 107 -
5.5	Upoređivanje dva pacijenata	- 109 -
5.5.1	Upoređivanje okretanja reketa.....	- 110 -
5.5.2	Upoređivanje riterna	- 111 -
5.5.3	Upoređivanje serve	- 112 -
5.6	Upoređivanje cele terapijske grupe	- 112 -
5.7	Kritičnost bezbednosti senzorske mreže u zdravstvenim ustanovama	- 115 -
6.	PREGLED DOPRINOSA DISERTACIJE.....	- 116 -
7.	ZAKLJUČAK.....	- 117 -
8.	LITERATURA	- 119 -

LISTA SLIKE

Slika 1. Ad-hoc režim rada	- 16 -
Slika 2. Infrastrukturni režim rada	- 17 -
Slika 3. Prošireni način povezivanja	- 17 -
Slika 4. Princip rada WSN	- 24 -
Slika 5. Struktura senzorskog čvora	- 25 -
Slika 6. Arhitektura WSN-a sa podelom na klastere	- 29 -
Slika 7. Protokol stack SNod-a	- 30 -
Slika 8. SPIN protokol	- 37 -
Slika 9. Transport tipa događaj-sink	- 38 -
Slika 10. Kolaboracija enkodera	- 41 -
Slika 11. LIDS arhitektura	- 49 -
Slika 12. Formati poruka	- 55 -
Slika 13. Prikaz mogućnosti uočenja	- 63 -
Slika 14. Prikaz uočenih paketa	- 63 -
Slika 15. Grafički prikaz sumiranog prometa	- 64 -
Slika 16. Prikaz „stručnih podataka“	- 65 -
Slika 17. Niz pokreta pri servisu	- 66 -
Slika 18. Niz pokreta pri bekhend udarcu	- 68 -
Slika 19. Niz pokreta kod forhend udarca	- 68 -
Slika 20. DigiTrainer	- 72 -
Slika 21. Minimax S4	- 73 -
Slika 22. Tipski nosač senzora platforme Shimmer3	- 74 -
Slika 23. Struktura Shimmer uređaja	- 75 -
Slika 24. Aplikacija „ConsensysPRO“	- 79 -
Slika 25. Aplikacija “9DoF Calibration”	- 80 -
Slika 26. Spoljni izgled senzora Shimmer3	- 84 -
Slika 27. Baze za punjenje 6 i 15 uređaja	- 84 -
Slika 28. Dijalog okvir “Devices and Printers”	- 85 -
Slika 29. Izgled programa za konfigurisanje	- 86 -

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Slika 30. Povezan senzor	- 86 -
Slika 31. Dijalog okvir za konfiguraciju.....	- 87 -
Slika 32. Snimanje konfiguracije.....	- 87 -
Slika 33. Pokretanje prenosa podataka	- 88 -
Slika 34. Pokretanje prenosa podataka u Linux okruženju.....	- 89 -
Slika 35. “ShimmerCapture” aplikacija za Android	- 90 -
Slika 36. “Multi Shimmer Sync” aplikacija za Android.....	- 90 -
Slika 37. Razmeštaj senzora	- 91 -
Slika 38. Izgled Consensus programa.....	- 92 -
Slika 39. Osovinski pravci Shimmer uređaja.....	- 93 -
Slika 40. Koordinatni sistemi reketa kojeg pacijent drži u ruci	- 93 -
Slika 41. Podela učesnika u terapiji po polovima	- 94 -
Slika 42. Podela učesnika po njihovoj životnoj dobi	- 95 -
Slika 43. Polna struktura učesnika kontrolne grupe.....	- 96 -
Slika 44. Podela članova kontrolne grupe po životnoj dobi	- 96 -
Slika 45. Okretanje reketa oko osovine X	- 98 -
Slika 46: Okretanje reketa oko osovine X na kraju rehabilitacije	- 99 -
Slika 47. Ritern udarac pre terapije.....	- 100 -
Slika 48. Ritern na kraju rehabilitacije	- 101 -
Slika 49. Serva pre rehabilitacije	- 102 -
Slika 50. Serva na kraju rehabilitacije	- 103 -
Slika 51. Okretanje reketa oko osovine X pre rehabilitacije	- 104 -
Slika 52. Okretanje reketa oko osovine X na kraju rehabilitacije.....	- 105 -
Slika 53. Ritern pre rehabilitacije	- 106 -
Slika 54. Ritern na kraju rehabilitacije	- 107 -
Slika 55. Serva pre rehabilitacije	- 108 -
Slika 56. Serva na kraju rehabilitacije	- 109 -
Slika 57. Upoređivanje okretanja reketa.....	- 110 -
Slika 58. Upoređivanje riterna	- 111 -
Slika 59. Upoređivanje serve	- 112 -

1. UVOD

U današnjem modernom i sve ubrzanijem društvu od fundamentalnog je značaja da se u toku oporavka od raznih oboljenja u ovoj oblasti na raspolaganju rehabilitacijske mentorske usluge ne bude samo klasičan monitoring, odnosno da se razvoj pacijenata ne meri samo sredstvima zasnovanim na mehaničkoj valorizaciji vežbi. Važno je da imaju u rukama takva sredstva, pomoću kojih dobijaju kvantitativne količine (podatke) o kontinuiranom učinka bolesnika koji se oporavlja, i uz pomoć kojih lako i brzo dolaze do ovih vrednosti, te ih možemo efikasno i analizirati. Naravno, oko specijaliste koji vrši rehabilitaciju ne može zameniti nikakvo sredstvo ili instrument, ali se može ubrzati proces i dopuniti, pomoći njegov rad. Potrebno je iskustvo i znanje stručnjaka, fizioterapeute ali je svakako pomoć za njegov rad ukoliko što objektivnije može valorizovati i oceniti događaje i postignute rezultate tokom rehabilitacionog procesa. Niz podataka dobijenih uz pomoć ovih instrumenata rezultira novim aspektom u posmatranju pokreta. Jedan dovoljno precizan instrumenat je u stanju da registruje i takve sitne tehničke detalje koje fizioterapeut ni na usporenoj videoanalizi ne može uočiti, jer mu to izmiče pažnji tokom rehabilitacije. Osim toga niz podataka, registrovan u dužem vremenskom periodu pružaju takve informacije statističkog karaktera u toku procesa rehabilitacije, koje se drugim metodama teško uočavaju, kao je što je, na primer ujednačenost udaraca, umor, itd. Pošto se napredak često meri u desetinama, pa čak i stotinama sekundi, svaki i najmanji tehnički pomak i poboljšanje može imati značaj u napretku, odnosno napredovanju, te u konačnom rezultatu.

Ukoliko se rehabilitaciona aktivnost izrađuje za određenu osobu, odnosno pripremimo plan treninga, odnosno vežbi za ciljanu osobu, možemo postići bolje rezultate nego do tada primenjena klasična rehabilitacijska metoda. Ovakvom ličnom, ili za određeno lice „krojenom” terapijom mogu se lečiti razne bolesti, kao što su:

- Posttraumatska stanja, primarna rehabilitacija nakon traumatoloških i ortopedskih operacija
- Degenerativne bolesti kičme, bolovi prouzrokovane istima, stanje nakon operacija kičme
- Posledice neuroloških, odnosno bolesti muskulature: stroka, sclerosis multiplexa, heine-medine, mono-polineuropatia, posledice raznih oboljenja mišića
- Hemofilija – rehabilitacija usled posledica po organe kretanja
- Posledice neuroloških i mišićnih oboljenja muskuloskeletalis zbog kojih se vrši programirana rehabilitaciona terapija
- Rehabilitacija radi otklanjanja posledica osteoporoze
- Rehabilitacija neophodna nakon operacije otoka/tumora kostiju

¹ PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- Reumatološka oboljenja, degenerativna, ili prouzrokovana upalama: artroza, spa, sns, za ruku, kičme i velikih zglobova
- Rehabilitacija starijih ljudi, primarni i sekundarni
- Oštećenja prouzrokovana šećernom bolešću, neuropatije, angiopatije, itd.

Fokusirajući se na činjenicu da je tenis izuzetno kompleksna forma pokreta, u disertaciji tražim odgovor na pitanje: dali je ovaj sport pogodan za lično određen rehabilitacioni proces osobama koji pate od neuromotoričnih bolesti, odnosno onih pacijenata koji se već oporavljaju od posledica ovakvih oboljenja. Ispituje se osim toga i zaštita upotrebe mreža MEMS senzora, jer po mom mišljenju zaštita senzorskih mreža korišćenih u zdravstvu usled tehnološkog razvoja postaje sve važnija i kritičnija.

1.1 Značaj teme

Tehnološkim razvojem senzorskih mreža, pogotovo u pogledu niske potrošnje i posebno razvojem senzora za praćenje fizioloških procesa u čovekovom organizmu, nalazi se njihova primena u sistemima zdravstvene zaštite (eng. wireless sensor networks - WSN). Vide se velike mogućnosti za povećanje efikasnosti rada zdravstvenih službi. Prve primene odnose se na rano otkrivanje pogoršanja kliničkog stanja pacijenata, (O.Chipara 2009 i J.Ko 2010), da bi se povećala efikasnost prvih reagovanja. Sledeća primena odnosi se na pružanje hitne pomoći u velikim katastrofama primenom automatske trijaže (D. Malan 2004. i T.Gao 2008.). Može se postići produženje životnog veka čoveka mobilnim praćenjem vitalnih funkcija čoveka (G. Virone 2006.) i terensko proučavanje ponašanja čoveka i praćenje hroničnih bolesti (K.Patrick 2007 i S.Kumar 2007.).

1.2. Cilj istraživanja

1.2.1. Naučni cilj rada

Naučne aspekte bežičnih mreža korišćenih u računarskoj tehnologiji, podrazumevajući tu prednosti radiofrekvencijskih mreža kao i njihove osnovne bezbednosne pukotine su već uglavnom naučno obradili i potkrepili u raznim stručnim publikacijama i naučnim radovima. Digitalna kriminalistika bežičnih mreža je takode opširno istraživana, objavljene su brojne studije, iako se malo naučnih radova bavi senzorskim mrežama vezanim za upotrebu u zdravstvu, kao i njihovom kriminologijom. Cilj disertacije je da se naučno potkrepi prednost i korisnost upotrebe senzorskih mreža u zdravstvu, kao i ispitivanje korisnosti teniskih formi pokreta u lečenju pacijenata sa neuro-motoričkim bolestima unutar istog istraživanja koje će ili

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

potkrepiti našu hipotezu, ili će je odbaciti. Osim navedenih dokazaće se i važnost zaštite senzorskih mreža korištenih u zdravstvu.

1.2.2. Društveni cilj rada

Društveni cilj disertacije jeste namera da se uz pomoć pokreta korištenih u teniskom sportu olakša, učini efikasnijim i bržim rehabilitacija i oporavak pacijenata koji boluju od nekih neuro-motoričkih bolesti. Uspešnim dokazivanjem ove teze postigli bi ne samo naučni, već i društveni napredak, odnosno iskorak. Uz sve to i zaštita senzorskih mreža korištenih u zdravstvu ima istaknutu ulogu i važnost u društvenom životu, pošto „curenje” raznih ličnih, intimnih informacija iz ovih mreža jeste povreda ličnih prava, odnosno prava ličnosti građana.

1.3. Predmet istraživanja

Savremena medicina je nezamisliva bez uređaja kao što su: termometri, merači krvnog pritiska, merači koncentracije glukoze, elektrokardiografija, elektroencefalografija, uređaj za rentgensko snimanje i slično.

Medicinski senzori u stvari pretvaraju i detektuju električne, termičke, optičke i hemijske signale na koje se primenjuju algoritmi za obradu signala da bi se dobile informacije o stanju fizioloških procesa u čovekovom organizmu na osnovu kojih se ocenjuje zdravstveno stanje.

Sledeći aspekti razvoja tehnologija medicinskih senzora imaju veliki uticaj na sisteme zdravstvene zaštite:

- Pojavljuju se nove vrste uređaja: mikroelektromehanički sistemi, elektronska kola za sminanja i mikrofluidna i nanofluidna elektronska kola (laboratorije na jednom čipu).
- Razvojem mikroelektronike pojavljuju se senzori za kućnu upotrebu (digitalni merači krvnog pritiska i merači koncentracije glukoze u krvi) koji omogućavaju česta merenja fizioloških veličina bez potrebe odlaska lekaru.
- Prenosni medicinski senzori koji su smanjenjem dimenzija dobili mogućnost da ih nosi osoba sa ciljem praćenja fizioloških parametara (puls, fizičkih naprezanja i praćenje Holtera) da bi se registrovale nepravilnosti koje se ne mogu primetiti tokom kratke posete lekaru.
- Pojava medicinskih senzora za implantaciju koji služe za kontinuirano merenje fizioloških veličina. Predviđeni su za praćenje parametara koji nisu spolja dostupni (na primer intraokularni pritisak kod pacijenata sa glaukomom). Druga namena je kao inicijator fiziološke intervencije sa ciljem sprečavanja neželjenih događaja (na primer epileptičnih napada).

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Zbog svoje prirode da su implantirani potrebno je da komunikaciju realizuju bežično i da napajanje primaju bežično.

- Medicinski senzori postaju opremljeni standardnim komunikacionim protokolima: RS232, USB i Ethernet ali i sa bežičnim komunikacionim protokolima kratkog dometa kao što je Bluetooth.

1.4 Hipoteze

U skladu sa već iznetim stavovima i činjenicama, očekuje se da će istraživanje dati realno izvodljive načine povećanja efikasnosti rada sistema zdravstvene zaštite i dati odgovor na zabrinutost zbog rizika gubitaka medicinskih podataka, postavljaju se sledeće hipoteze:

H1: Uvođenjem senzorske mreže ostvariće se povećanje efikasnosti rada službi sistema zdravstvene zaštite.

H2: Bezbednost senzorske mreže zdravstvene ustanove je kritičan faktor.

1.5 Metode istraživanja i tok istraživačkog rada

U radu će se koristiti sledeće metode istraživanja: studija slučaja i uporedna analiza.

Studija slučaja će omogućiti analizu pogodnosti koje mogu nastati uvođenjem bežične senzorske mreže. Analizirani efekti će potvrditi ili odbaciti hipotezu 1. Takođe, analizom tehničkih karakteristika bežičnih senzorskih mreža, studijom slučaja će se dati odgovor da li postoje mogućnosti curenja informacija. Odnosno, da li može biti ugrožena privatnost medicinskih podataka. Odakle se može zaključiti da li hipotezu 2 treba prihvatiti ili odbaciti.

Uporedna analiza rada postojećeg sistema zdravstvene zaštite i sistema zdravstvene zaštite sa pretpostavljenom primenom bežičnih senzorskih mreža može dati odgovor da li će uvođenjem bežične senzorske mreže doći do povećanja efikasnosti rada zdravstvenih službi. Odnosno, da li će se hipoteza 1 prihvatiti ili ne.

Disertacija će početi analizom bežičnih senzorskih mreža, a nakon toga rad će se fokusirati na sledeće segmente primene: primena bežične senzorske mreže u zdravstvenoj zaštiti, MEMS senzore, izabranje uređaja za istraživanje. Sledeći korak je opis hardverske opreme i načina implementacije u istraživanje. Na kraju disertacije sledi prezentovanje rezultata istraživanja.

2. SENZORSKE MREŽE

2.1 Uvod u bežične tehnologije

Sam naziv pojma „Bežična tehnologija“ verno objašnjava osnovnu karakteristiku bežičnih mreža, koja predstavlja i jeste prenos podataka bez upotrebe fizičkih kanala komunikacije, poput kablova. Umesto kablovima, prenos podataka se ostvaruje upotrebom radio-talasa ili svetlosnih signala. U poslednje vreme, najčešće se koriste radio-talasi zbog svoje sposobnosti da ne zahtevaju optičku vidljivost.

Bežične mreže primenjuju se na mestima gde nije moguće postaviti žičanu infrastrukturu ili u situacijama kada postavljanje žičane infrastrukture zahteva velike materijalne troškove. Pored toga, bežične mreže poseduju karakteristike koje im obezbeđuju nesagledivu prednost u odnosu na žičano umrežavanje, te se nikako ne mogu zanemariti, poput:

Mobilnosti klijenata – klijent može koristiti započeti mrežni servis bilo kada, bez obzira da li je napustio svoje radno okruženje ili je i dalje na mestu istog, dokle god to želi, što navodi na pretpostavku da je tipičan mobilni klijent zapravo korisnik koji obavlja rad na laptop računaru ili nekom drugom vidu dostupnih gadžeta.

Laka rasprostranjenost i mogućnost širenja – bežična mreža nudi povećanje broja klijenata do izvesne granice bez kupovine dodatne opreme.

Brzo i jeftino uspostavljanje mreže privremenog trajanja – bežičnu mrežu je moguće relativno brzo i lako uspostaviti na privremenim lokacijama, gde se očekuje brza reakcija radi određenog događaja koji zahteva primenu savremene tehnologije, što svakodnevica nosi sa sobom. Danas se neretko na određenim privremenim lokacijama odvijaju naučni skupovi, sportski događaji i slične manifestacije kojima odgovara brzo i jeftino uspostavljanje privremene mreže koja ima svoj rok trajanja. U ovim situacijama bi uspostavljanje žičane infrastrukture bilo neadekvatno, sporo i neekonomično, a naposljetku i neupotrebljivo nakon održanog skupa.[1]

Klasifikovati bežične mreže možemo na osnovu različitih kriterijuma, ali jedan od najprimenljivijih je najčešće onaj koji klasifikaciju vrši na osnovu razdaljine na kojoj se, putem mreže, vrši razmena podataka.

Prema ovom kriterijumu, bežične mreže možemo da se podelimo ⁴ na:

- Bežične mreže kratkog dometa (Bluetooth),
- Bežične mreže srednjeg dometa (IEEE 802.11) i
- Bežične mreže velikog dometa (satelitske mreže, mobilna mreža, paging mreže).

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Kod računarskih mreža je najčešće korišćena IEEE 802.11 tehnologija (koja je i inače namenski razvijena za računarske mreže), ali se za veća rastojanja koriste i mreže mobilne telefonije, kao i satelitske mreže. [1]

2.2 Pregled bežičnih računarskih mreža

Bluetooth IEEE 802.15 predstavlja bežičnu mrežu kratkog dometa tj. protokol za bežičnu razmenu podataka na malim rastojanjima između elektronskih uređaja. Najčešće se razmena podataka vrši na razdaljini od oko 10 metara među laptopovima, PC računarima, prenosivim računarima, štampačima, tastaturama, slušalicama, digitalnim kamerama, mobilnim telefonima i drugim gadžetima. Po principu radio-tehnike, koristi se zbog izuzetno niske potrošnje električne energije. Ova tehnologija podrazumeva međusobno otkrivanje, nakon kog sledi prepoznavanje i dogovaranje komunikacionih parametara, a zatim je moguća i komunikacija u realnom vremenu. Svoj naziv duguje izvesnom Haroldu Bluetoothu koji je bio majstor pregovora u diplomatiji, te je njegovo ime postalo sinonim za označavanje dobre komunikacije.

Razvojem specifikacije za ovaj standard se bavi *Bluetooth Special Interest Group*. Od 1994. godine do sada je bilo više verzija ovog standarda. Verzije 1.0 i 1.0B su nekompatibilne sa ostalim verzijama, a verzije 1.1, 1.2, 2.0 i 2.1 su međusobno kompatibilne. Bezbednost Bluetooth komunikacije je prema objavljenim radovima, na više načina ugrožavana.[2]

Prednosti ovog načina komunikacije koje izdvajaju ovu vrstu bežične mreže su niska potrošnja tj. ekonomičnost pri potrošnji energije, niska cena, interoperabilnost, slaba snaga zračenja, te time i smanjena mogućnost štetnosti po ljudsko zdravlje...

U mane spada kratak ³⁴ let kojim ova mreža raspolaže, kao i frekvencija koja se koristi pri komunikaciji i koja mora da se menja kako bi se izbegle smetnje pri istoj.

WiFi IEEE 802.11 spada u bežičnu tehnologiju srednjeg dometa kod koje se prenos podataka vrši putem radio-talasa, ali uz upotrebu adekvatne antene. Ova tehnologija je zastupljena u WLAN mrežama (*Wireless Local Area Network*), a koristi se i za bežični pristup internetu. Osnovni standardi kojima se ova tehnologija definiše su: IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g i 802.11n.

Radiokomunikacija se kod WLAN-ova obavlja u tzv. ⁴ ISM (Industrial, Scientific, Medical) opsegu frekvencija. ISM obuhvata tri opsega frekvencija:

- 902- 928 MHz,
- 2.400-2.483 MHz,
- 5.728-5.750 MHz.

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA ^UZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- Najčešće se ²⁰koristi opseg od oko 2,4 GHz.

WLAN-ovi koriste tzv. *Spread Spectrum*, tehniku rada u proširenom spektru. Razlikuju se:

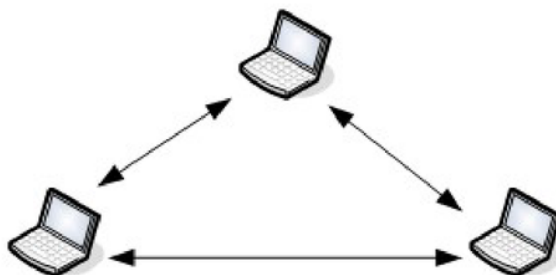
- Frekvencijsko skakanje - *FHSS (Frequency –Hopping Spread Spectrum)*,
- Rad sa direktnim frekvencijama - *DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum)*,
- Korišćenje „Ortogonalnih frekvencija“ - *O FDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*.

²¹Više korisnika istovremeno dele isti frekvencijski opseg bez međusobne interferencije, sa mnogo većom otpornošću na elektromagnetne smetnje i prisluškivanje u odnosu na rad sa fiksnim frekvencijama, što omogućava znatno veću zaštitu podataka. Ova tehnologija razvijena je pre pola veka za vojne potrebe zbog bezbednosti prenosa podataka.

WiFi tehnologija obuhvata interne i eksterne WiFi kartice i uz njih odgovarajuće antene. Antene omogućavaju formiranje manjih mreža do 30 m, a ukoliko postoji potreba za većim rastojanjima upotrebljavaju se eksterne antene za dodatno pojačanje signala.

Postoje tri tipa WLAN topologija:

⁴*Nezavisan način povezivanja*, često se naziva i *AD-HOC (IBSS – Independent Basic Service Set)* sastoji se od grupe 802.11 stanica koje komuniciraju direktno jedna sa drugom. Može se posmatrati i kao *peer-to-peer* WLAN mreža. Za funkcionisanje se ne koristi pristupna tačka (AP-Acces Point). Obično su male i traju dok postoji potreba za komuniciranjem. Pošto je svaki uređaj klijent, u komunikaciji mogu nastati problemi zbog tzv. skrivenog čvora (*hidden node*).[1]

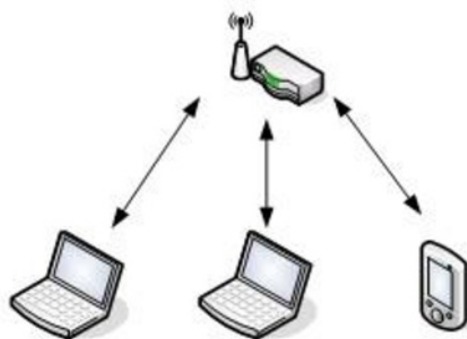


Slika 1. Ad-hoc režim rada (IBSS WLAN) [1]

Infrastruktura ⁴*i režim povezivanja (BSS – Basic Service Set)* prikazan je na slici 2. Ovaj režim zahteva specijalizovanu stanicu, odnosno tačku pristupa (*AP – Access Point*), pomoću koje se obezbeđuje pokrivenost od približno 30 metara. Upotrebom raznih pojačivača, moguće je po potrebi bitno proširiti domet. Za razliku

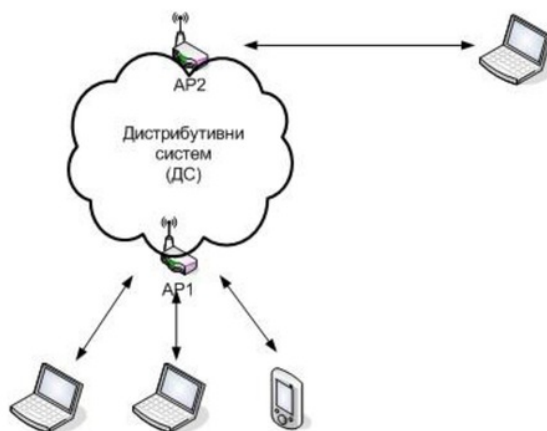
PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

od prethodnog slučaja u kom klijenti komuniciraju direktno, klijentske stanice u ovom slučaju ne komuniciraju direktno jedna sa drugom već se prenos obezbeđuje pomoću određene tačke pristupa, koja zatim šalje dalje okvire određenim stanicama. Ovaj režim može imati i takozvani uplink port koji je predviđen za povezivanje preko žičane mreže.



Slika 2. Infrastrukturni režim rada (BSS WLAN) [1]

BSS mreže se mogu povezati i preko žičnih distributivnih sistema, pri čemu se koristi oznaka ESS (*Extended Service Set*). Ovaj način povezivanja prikazan je na slici 3.



Slika 3. Prošireni način povezivanja (ESS WLAN) [1]

Kako bi bežične mreže neometano funkcionisale, neophodno je da se ispuni preduslov- mala potrošnja električne energije bežičnih klijenata, što pretpostavlja odgovarajući kapacitet njihovih baterija. Prema IEEE 802.11 standardu, upravljanje potrošnjom električne energije vrši se tako što bežični klijent koristi način rada sa niskom potrošnjom energije, a bez gubitka veze sa bežičnom infrastrukturom.

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA ^UZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

WLAN pruža mogućnost bežičnom klijentu da se kreće, bez potrebe da menja svoje mrežne parametre. Važnost ove karakteristike je veoma značajna jer se njom povećava fizički domet bežičnih mreža i mobilnost klijenta.

⁴WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) je bežična tehnologija za visoke brzine prenosa podataka prema standardu IEEE 802.16. Koristi se tehnika rada u proširenom spektru. Omogućava fiksnim i mobilnim korisnicima pristup internetu. Može se posmatrati kao alternativa DSL kablovskim tehnologijama.[1]

WiMAX nam pri današnjim uslovima omogućava brzi bežični pristup na razdaljinama od čak 50 km kada su u pitanju fiksne stanice, a 5 do 15 km za pokretne stanice. Ovom svojom sposobnošću, on ostavlja BS ⁴daleko iza sebe. Poređenja radi, WiFi 802.11 je ograničenog dometa oko 20-100 metara. Postojeći standard omogućava brzine prenosa podataka do 40 Mb/s. Međutim, očekuje se da će se razvojem standarda IEEE 802.16m uskoro omogućiti brzina prenosa podataka od 1 Gb/s.

WiMAX tehnologija je posebna po svojoj sposobnosti da omogućava postavljanje mreže na područjima kojima nedostaje klasičan pristup internetu putem kablova, a u isto vreme odgovara i potrebama postavljanja mreže u vanrednim mestima i situacijama. Često se upotrebljava i kao podrška žičnim mrežama u slučaju kvara ili kao pojačanje postojećoj kablovskoj infrastrukturi.

⁴Postoje dva tipa WiMAX-a:

- fiksni (802.16d) i
- mobilni (802.16e).

⁴Fiksni tip koji označavamo kao *point-to-multipoint* tehnologiju, a mobilni tip je, *multipoint-to-multipoint* tehnologija, nalik infrastrukturi za mobilnu telefoniju, prema [1] pp.100 – 106.

2.3 Ad hoc mreže

⁵Razvoj interneta i bežičnih komunikacija u poslednjoj deceniji doveo je do pojave sveprisutnosti bežičnih uređaja. Pristup bilo *gde i bilo kad* traženiji je nego ikad pre. Iz potrebe za komunikacijom i na mestima *gde nema* postavljene infrastrukture, kao što su poljoprivredne površine, mesta nesreća i bojno polje, razvilo se načelo *ad-hoc* komunikacije.[3]

⁸*Ad-hoc* bežična mreža višeskokovna je dinamička samoorganizujuća mreža ravnopravnih čvorova, odnosno to je skupina nezavisnih čvorova ili terminala koji međusobno komuniciraju preko bežičnog linka, a povezani su u decentralizovanom obliku. Formira se bez prethodnog planiranja, bez postavljanja infrastrukture, u kojoj svaki čvor ravnopravno učestvuje u prosleđivanju prometa, te je upravo ovakav način

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

organizovanja ovih mreža uzrok njihove popularnosti. Osim što igra ulogu domaćina (engl. *host*) i šalje svoje podatke ili podatke svojih korisnika, mora se ponašati i kao usmernik (engl. *router*) i učestvovati u razmenjivanju kontrolnih podataka protokola usmeravanja i prosledivati podatke drugih čvorova. Usmeravanje je distribuirano po svim čvorovima mreže. Dinamički se prilagođava stanju mreže kako se ona menja promenom položaja, prestankom rada ili dolaskom novih čvorova.[4]

Po Seder L., Ilić Ž., Kos M [3] prednost svake *Ad-hoc* mreže je njena sposobnost pomoću koje se brzo i efikasno postavljaju nezavisne, veći broj ili manji, mobilne stanice i stvaraju jedinstvenu, održivu, snažnu i efikasnu mrežu. Širina njene primene je takođe jedna od karakteristika koju ova mreža poseduje, a i omogućava komunikaciju u različitim situacijama. Koristi se pri korištenju običnog pristupa internetu, pri vojnim operacijama kako bi uočili ili uzbunili pre nekog napada, operacijama spašavanja, komuniciranju u slučaju elementarnih nepogoda i sličnim prilikama, svuda gde postoji opasnost za prisustvo čoveka ili nedostatak istog.

⁵Budući da komuniciraju preko bežične veze, *ad-hoc* mreže se ⁵očavaju sa mnogobrojnim problemima šuma, gušenja i interferencije. *Ad-hoc* mreže imaju manju pojasnu širinu i propusnost od žičanih mreža. Osim toga, promenljiva je topologija mreže usled pomeranja čvorova i njihovih kvarova, a spoljašnji uticaji i stvaranje novih čvorova zahtevaju efikasno preusmeravanje.

2.3.1 Karakteristike Ad hoc mreža

Komunikacija između stanica koje se nalaze van međusobnog dometa mora da se odvija preko stanica koje se nalaze među njima. Kako postoji nedostatak pristupnih tačaka koje bi u infrastrukturnom režimu rada povezale udaljene BSS-ove, svaka stanica mora da prosleđuje promet susednih stanica čiji signal prima, uz vlastiti promet.

Sledeće karakteristike zajedničke su za sve vrste *ad hoc* mreža:

- mobilnost,
- višeskokovnost,
- decentralizovanost i samoorganizovanost.

Glavni razlog zbog kog mobilne *ad hoc* mreže postoje jeste njihova **mobilitet**. Ona je zaslužna za brzo postavljanje mreže u područjima bez infrastrukture i stavlja ove vrste mreža u prednost u odnosu na druge vrste. Ona se formira bez prethodnog planiranja i bez postavljanja infrastrukture.

⁵**Višeskokovnost** je karakteristika koja pomaže u obilaženju ⁵i očuvanju energije. *Ad hoc* mreže predstavljaju višeskokovne mreže u kojima se put od izvorišta do odredišta prolazi drugim čvorovima, gde svaki čvor ravnomerno učestvuje u prosleđivanju prometa.

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

¹⁸**Decentralizacija i samoorganizacija:** *Ad hoc* mreža sama određuje parametre komunikacije poput adresiranja, usmeravanja, grupisanja, pozicioniranja. Ona je zapravo dinamička samoorganizovana mreža koja funkcioniše preko gotovo ⁵vnopravnih čvorova, koji su povezani u decentralizovanom obliku. U pojedinim slučajevima mogu postojati čvorovi s većim ovlašćenjima. Ovi čvorovi čine logičku mrežu unutar mreže i koordiniraju i upravljaju određenim putevima komunikacije.

2.4 Vrste *Ad hoc* mreža

⁷Prema najčešćim primenama *ad hoc* mreže se dele na:

- mobilne *ad hoc* mreže (engl. *mobile ad hoc networks*, skr. MANET),
- *mesh*-mreže i
- senzorske mreže.

2.4.1 Mobilne *ad hoc* mreže

⁷Mobilna *ad hoc* mreža je autonomni skup mobilnih uređaja koje komuniciraju putem bežičnih veza relativno male propusnosti.[5] Oni pritom uspostavljaju kratkotrajnu i privremenu komunikaciju bez podrške infrastrukture.

Glavna karakteristika MANET-a je pokretljivost čvorova. Pokretljivost čvorova može biti u rasponu od male, koja se ogleda pri prenosu računara unutar učionica, do velike, koja je zastupljena dok se automobili kreću po putu.

¹⁸Kako je u prethodnim poglavljim⁷ istaknuto da *ad hoc* mreža nema postavljenu infrastrukturu, jasno je da ta mobilnost stanica uzrokuje dinamičnu strukturu mreže. Topologija mreže je vremenski promenljiva u odnosu na to kako stanice menjaju svoj položaj i izlaze iz dometa jednih, a ulaze u domet drugih stanica.

Zbog svoje promenljivosti mreže koja je stalna, stanice moraju umeti da prepoznaju prekid veze prema susednoj stanici i moraju biti efikasne u pronalaženju novih puteva ili okolnih tunela, koji vode informaciju ka odredištu.

⁵Primeri mobilnih *ad hoc* mreža su: mreže vozila, mreže u vojnim operacijama, mreže u kriznim situacijama (spašavanje, poplave, požari, zemljotresi, itd.)

⁵2.4.2 Mesh-mreže

Mesh-mreže engl. *wireless mesh networks*, skr. WMN) su razvijene u cilju pružanja telekomunikacijskih usluga na područjima gde se ulaganje u infrastrukturu ne isplati ili je neizvodljivo. Svaki čvor (nepokretna ili slabo pokretna bežična stanica) omogućava komunikaciju svojim bežičnim klijentima i uz to prosleđuje promet s drugih čvorova.[3]

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA ^U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Sastoje se od čvorova-usmernika (engl. *mesh router*), koji mogu biti razmešteni u različitim formacijama. Ovi čvorovi preko poveznika (engl. *gateway*) omogućavaju bežičnim stanicama pristup spoljnoj mreži, koja je najčešće internet.

Mesh-mreže, poput ostalih vrsta bežičnih *ad hoc* mreža, odlikuje decentralizovanost i višeskokovna komunikacija. Međutim, postoje izvesna obeležja koja odvajaju mesh-mreže u odnosu na ostale, a po kojima se bitno razlikuju, a to su:

⁷ Nemaju energetske ograničenja – za ⁵ zliku od mobilnih *ad hoc* i senzorskih mreža, koje zahtevaju optimizaciju potrošnje električne energije, čvorovi mesh-mreže imaju pristup dovoljnim količinama električne energije.

Statične su – mesh ⁵ mreža je statična, za razliku od mobilnih *ad hoc* mreža. Takođe se razlikuju i od senzorskih mreža u kojima senzori sami po sebi ne moraju biti mobilni, ali mreža menja topologiju usled prestanka rada pojedinih senzora, ukoliko se iscrpi određeni izvor energije ili se dogodi kvar.

Imaju više primopredajnika – usled pada cena bežičnih sistema postala je isplativa ugradnja višestrukih primopredajnika u čvorove-usmernike. Ova karakteristika ne odgovara mrežama s uređajima koji imaju ograničen pristup energiji.

⁵ Prometni model – u mesh-mrežama promet je najčešće usmeren od poveznika i prema njemu, u oba pravca. Čvorovi-usmernici ²⁶ prvenstveno usmeravaju promet na putu od krajnje tačke (korisnika) do poveznika. Ovo je jedan od razloga zbog čega ⁵ dolazi do većeg opterećenja.

⁵ Propusnost- Mesh-mreža mora biti skalabilna za više hiljada korisnika, tj. mora imati mogućnost da podnese povećan broj zahteva i korisnika mreže. Ova karakteristika je čini pogodnim tлом za povećanje protoka informacija i podataka.

⁷ 2.4.3 Senzorske mreže

Razvoj i dostupnost bežične tehnologije doveo je do razvoja jeftinih malenih senzorskih stanica male potrošnje energije i bežične komunikacije malog dometa. Senzorske stanice sastoje se od senzora, procesora podataka i komunikacijskog dela.[6]

Razlika između senzorskih mreža i mobilnih *ad hoc* mreža sastoji se u sledećem:

- ¹⁸ nadzoru područja pod prirodnim i drugim katastrofama.
- velika je gustina senzora u postavljenoj mreži,
- ⁵ iako su senzori najčešće nepokretni, njihovi česti kvarovi uzrokuju česte promene topologije,
- ⁷ visoka stopa kvarova (mehaničkih kvarova, iscrpljivanja izvora električne energije),

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- ⁵ senzorske stanice su ograničene energije, procesne snage i memorije,
- primene senzorskih mreža su na područjima industrijskog upravljanja i nadzora, automatizacije domaćinstava i potrošačke elektronike, praćenja inventara i upravljanja nabavkom, pametne poljoprivrede, sigurnosti i vojske, praćenja zdravlja itd.
- ⁷ broj senzora je mnogo veći, čak i po nekoliko redova veličine,

2.5 Bežične senzorske mreže

Važnost i osnovna namena bežičnih senzorskih mreža ogleda se u prikupljanju i ispostavljanju informacija i podataka, razmeni, unutar mreže. Koji podaci će se razmenjivati, priroda informacija, kao i njihova validnost zavise samo od potreba onih koji se mrežom služe. Podaci koji se prikupe trebali bi da predstavljaju validne podatke jer od njihove potvrđenosti zavisi da li će svojim korisnicima pružiti korisne informacije vezane za različite fizičke fenomene ili pak odgovoriti na zahteve odgovarajućih događaja, pravilno izvršiti detekcije određenog objekta, pokreta, pružiti adekvatne rezultate vlažnosti, pritiska ili temperature vazduha.

⁶ Bežična senzor mreža (WSN) je mreža koja se sastoji od autonomnih senzora postavljenih sa ciljem osmatranja nekog fizičkog fenomena i dostave opserviranih podataka korisnicima.[7]

Uobičajeno je da se veliki broj senzorskih čvorova raspoređuje na malim rastojanjima u blizini, odnosno unutar posmatrane oblasti. Najčešće se to događa u opsegu od deset metara. Na taj način se formira senzorsko polje. Pokrivanje posmatrane oblasti najčešće zavisi od gustine i rasporeda, koji može imati različite forme senzorskih čvorova unutar prostora. Od njih zavisi i mogućnost prikupljanja informacija o određenim fenomenima. Slabija pokrivenost može dovesti do nepotpunih informacija, dok jača pruža snažniju, potpuniju sliku i pregled date situacije.

⁶ Bežičnu senzor mrežu možemo danas definisati u zavisnosti od gustine i rasporeda SNod-ova u prostoru. Ovome pridodajemo i karakteristiku senzora koji su upotrebljeni da potpuno ili nepotpuno pokriju posmatranu oblast, u zavisnosti od činjenice da li postoji mogućnost prikupljanja informacija o posmatranim fenomenima.

⁶ Bežična senzor mreža je distribuiran sistem koga čini polje senzora različitog tipa međusobno povezanih komunikacionom mrežom.[8]

Podaci koje dobijamo sa izlaza senzora se mogu podeliti, a dovode se na ulaz distribuiranog sistema radi njihove estimacije, procene.² Dati sistem ima zadatak da, na osnovu podataka koji su mu dostupni na osnovu senzora, izdvoji najadekvatniju informaciju o fenomenu koji nadgleda.

¹ PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPRA

Osnovne operativno-ekonomske karakteristike WSN su:

- ⁶ visoka pouzdanost u radu,
- relativno visoka tačnost,
- fleksibilnost,
- niska cena,
- lako raspoređivanje senzora u prostoru.

WSN se sastoji od baterijski napajanih modula, koji su u suštini senzorski čvorovi. Gradivni blokovi ovih modula su:

- senzor,
- radio-primopredajnik,
- jedan ili više procesora.

Senzor predstavlja generator podataka. Koriste se za povezivanje fizičkog i digitalnog sveta. Senzori detektuju fizičke pojave i prevode ih u digitalan oblik, koji može da se čuva, obrađuje i kasnije koristi. Predstavljaju, zajedno sa aktuatorima, stvarnu vezu sa spoljašnjim svetom pomoću kojih se posmatra okolina i na nju utiče. [9]

⁶ Uloga svakog senzora je vršenje tri osnovne funkcije:

- nadgledanje razne parametara okoline (sensing),
- komunikaciju sa drugim čvorovima u mreži (communication),
- izvršava implementirane komunikacione algoritme i algoritme za obradu prikupljenih podataka (computation).

Radio-primopredajnik pošalje svoje podatke ili prosleđuje podatke, koje je primio od svojih komšija, kroz mrežu. Ovaj se proces naziva još i rutiranje podataka ili upućivanje u smeru u kom želimo.

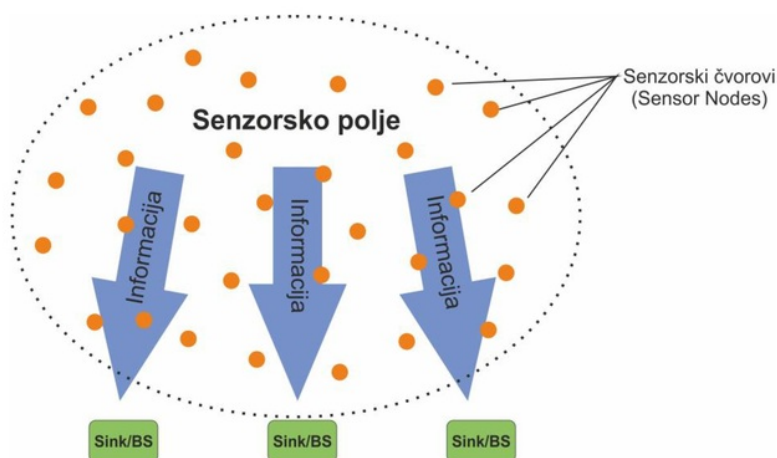
Procesori imaju ulogu da kontrolišu rad senzora i radio-primopredajnika, sprovode te podatke i ubacuju ih tj. implementiraju u mrežne protokole, kao i u protokole za rutiranje.

Kako bi se izvršio kompletan princip rada WSN-a (slika 4), potrebno je proći kroz sledeće faze projekta: prikupiti informacije iz i o okruženju, koje se prenose putem međusobne komunikacije između Snod-ova, a zatim ih proslediti ka pristupnim uređajima (Sink/BS). Krajnje odredište svih paketa određuju oni elementi mreže koji su predstavljeni kao pristupni uređaji (Sink/BS). Oni ostvaruju dvosmernu komunikaciju, zaustavljaju i prenose podatke sa senzora. Kako bi se komunikacija ostvarila, potrebno je prikupiti prijem podataka sa Snod-ova, a zatim i sabrati sve dobijene zadate upite i prenosne podatke sa senzora. Da bi ostvario protok informacija sa korisnikom mreže, Sink/BS koristi svu raspoloživu telekomunikacionu

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

infrastrukturu. Aparatura koja se upotrebljava zavisi od određene oblasti interesa, a neretko se koristi i primenjuje i određeni mrežni interfejs. Korisnik, koji je krajnji, uvek uspostavlja vezu sa svim senzorskim čvorovima bežične senzorske mreže. Važnost dvosmerne komunikacije je očita ukoliko se posmatra³³ realizaciju mrežnih protokola. Ona je potrebna radi potreba upravljanja mrežom, bez obzira da li se radilo o izmeni cilja rada ili reorganizaciji mreže. O kom god se tipu komunikacije govorilo, neophodan je transfer između Snod-ova i Sink/BS-a unutar mreže.

Princip interakcije koji se odvija između SNod-ova i Sink/BS-a zasniva se na sledećim fazama: svim Snod-ovima i grupacijama istih šalje se zahtev za prikupljanje podataka o svom okruženju, na odgovarajući zahtev zatim odgovaraju samo oni Snod-ovi koji poseduju tražene podatke, naposljetku se svi odgovori upućuju ka Sink/BS-u. Moguće je i da senzorski čvorovi, bez obzira da li ih posmatramo pojedinačno ili grupno, uzvrate informaciju ka Sink/BS-u na osnovu detektovane pojave predefinisano dogadaja. Razlozi zbog čega se čitav proces odigrava između Snod-ova i Sink/BS-a su različiti.



Slika 4. Princip rada WSN

Po P. Dakiću ² [10] postoje dva tipa SNod-ova koji se uglavnom razlikuju po tome u koji se tip SNet-ova ugrađuju:

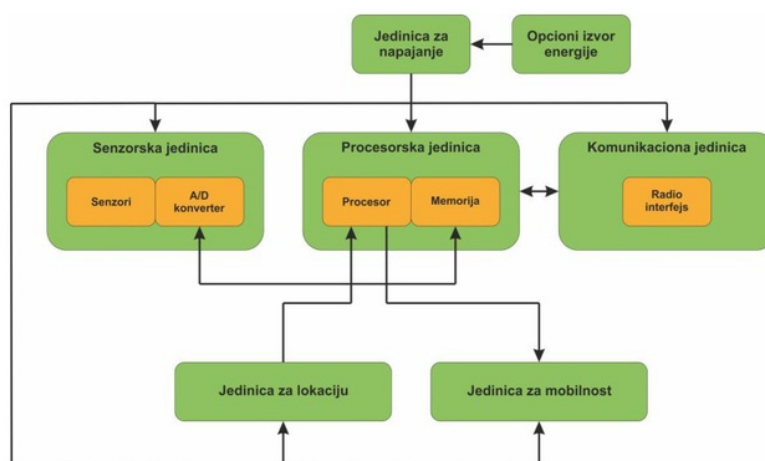
- *Proactive Networks* - čvorovi u mreži periodično uključuju senzore, izmere veličinu okruženja i predaju podatke koji su od interesa
- *Reactive Networks* - su mreže kod kojih su čvorovi sve vreme budni i trenutno reaguju na nagle promene u mreži. Ovi tipovi čvorova su pogodni za aplikacije sistema koje rade u realnom vremenu.

2.6 Arhitektura WSN

2.6.1 Osnovne karakteristike SNode-ova i Sink/BS

Na slici 5 prikazuje se struktura jednog senzorskog čvora (*sensor node*). Ova struktura se sastoji od sledeća osnovna gradivna bloka:

1. senzorska jedinica,
2. procesorska jedinica,
3. komunikaciona jedinica i
4. jedinica za napajanje energijom.



Slika 5. Struktura senzorskog čvora

Kako bi se senzorske funkcije obavljale u okviru *senzorske jedinice*, potrebno je koristiti kapacitet jednog ili više senzora i analognu-digitalnu konverziju signala dobijenu od senzora. Podatke, koje pritom dobijamo, koristimo i skladištimo uz pomoć *procesorske jedinice*, koji upravlja kontrolom rada senzora. Karakteristika procesorskog podsistema jedne tipične SNode platforme je izuzetno ograničena procesorska snaga, kao i količina memorije.

Ovaj podsistem obavlja sledeće zadatke:

- upravlja radom svih elemenata SNode-ova,
- izvršava zahteve za prikupljanje podataka korišćenjem skupa senzora
- realizuje komunikacione protokole u cilju ostvarivanja komunikacije sa drugim elementima mreže.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Jedinica za napajanje je, najčešće, baterijskog tipa. Osnovna karakteristika ovog tipa napajanja jeste ograničen kapacitet. Pojedini slučajevi svedoče o mogućoj upotrebi jednog od opcionih izvora energije koji predstavljaju solarne ćelije.

Komunikaciona jedinica predstavlja radio interfejs koji nam je od velike važnosti kako bismo komunicirali, preko SNod-ova, sa svim ostalim delovima senzorske mreže. Nedostatak samo jednog od delova za potrebe komunikacije SNod-ova sa ostalim elementima mreže označava prazninu bez koje protok informacija više ne struji, poput nepostojeće puzzle koja narušava kompletnost i celovitost slike, koja zapravo bez tog delića i ne postoji.

² Da bi čitav proces neometano funkcionisao, na samom početku senzor na ulazu prima merenu veličinu, a zatim je pretvara u električni signal. Signal mora da dobije odgovarajući kvalitet koji je ustanovljen određenim normama i standardima kako bi se doveo na ulaz A/D konvertora. Tek nakon konverzije, prihvata se od procesora. On radi u odnosu na to kako su programirali i vrši nad podacima odgovarajući vid signal procesiranja. Svoju informaciju, koju isfiltrira i predaje kao rezultat svog rada, šalje ka mreži pomoću primopredajnika.

U zavisnosti od potreba WSN-a, zavisi i potreba prepoznavanja lokacije SNod-ova. U situacijama kada je važno prepoznati i locirati određeni SNod u prostoru ili ga definisati u odnosu na ostale, koristimo *jedinicu za lokalizaciju* čiji sam naziv govori o njegovoj funkciji tj. koji precizno određuje lokacije SNod-ova.

Senzorski čvorovi imaju i mogućnost mobilnosti, ali to nije odlika svih senzorskih čvorova. Ukoliko se unutar bežične senzorske mreže nalaze senzorski čvorovi kod kojih postoji mobilnost, tada njega kontroliše *jedinica za mobilnost*. On upravlja senzorskim čvorovima i pokreće ih u skladu s potrebama i prema cilju rada bežične senzorske mreže.

⁶ Prosečne dimenzije SNod-ova kreću se od veličine kutije šibica, pa do dimenzija reda 1cm³ i manjih.[11]

Osnovne karakteristike SNod-ova su:

- ograničene rezerve energije,
- niska cena izrade,
- velika integracija elektronskih elementi
- mogućnost autonomnog rada bez održavanja.

Svi ovi uređaji koje upotrebljavamo i ⁹ji naizgled imaju veliku mogućnost da se prilagode svom okruženju, najčešće imaju relativno malu procesorsku moć i nizak memorijski kapacitet. Potrošne su prirode.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Za razliku od SNodeva, Sink/BS predstavljaju znatno komplikovanije uređaje čija je složenost neoporeciva. U okviru mnogo većih dimezija ovih uređaja javljaju se i jači kapaciteti za obrađivanje podataka, snažniji protok informacija i sigurnija komunikacija.

Ovi uređaji poseduju dve vrste interfejsa koje koriste radi komunikacije što im stvara slojnost kojom jačaju svoju poziciju. Interfejs se koristi radi umrežavanja sa spoljnim telekomunikacionim strukturama, a bežični interfejs ostvaruje protok podataka između uređaja i senzorskih čvorova. Karakteristike uređaja Sink/BS nemaju ograničenja, kako softverska, tako ni hardverska, te se razvoj protokola, algoritmi komunikacije, kao i obrade podataka unutar bežične senzorske mreže odigravaju neometano.

2.6.2 Organizovanje i komunikaciona arhitektura WSN

Kako bi se pravilno organizovala i bila funkcionalna, potrebna je priprema bežične mreže. Samo valjanom i planiranom pripremom može da se omogući njeno delanje. Pri uspostavljanju plana, nezaobilazan aspekt predstavlja raspoređivanje senzora. Ono se vrši unutar senzorskog polja, a način njihovog razmeštanja zavisi od svrhe i cilja njene upotrebe.

U slučajevima kada je potrebno pokriti površinski velike prostore, rasipa se veliki broj malih, potrošnih senzorskih elemenata iz različitih razloga. U ovim situacijama senzori se raspoređuju slučajno. Uz njihovu pomoć aktivno se osmatraju i nadgledaju tereni, lako kontroliše temperatura, vlažnost, pritisak vazduha, na vreme se detektuju različite atmosferske pojave. Kada je raspoređivanje slučajno, očekuje se uniformna raspodela SNodeva u prostoru.

Kada je reč o statičnim lokacijama, gde nisu važne promene strukture mreže, vrši se raspoređivanje po planu kako bi se omogućilo praćenje i održavanje SNodeva. Ovaj vid postavljanja senzorskih elemenata koristi se često radi praćenja saobraćaja u gradovima, primene u industriji, bezbednosne i zaštitne primene. Tek nakon postavki svih elemenata organizuje se i uspostavlja rad jedne bežične telekomunikacione mreže. ⁹ Se se vrši po principu koji je svojstven ad hoc bežičnim komunikacionim mrežama (WCN).

Čvorovi mreže uspostavljaju međusobne veze, organizuju topologiju mreže za potrebe rutiranja i uspostavljaju mehanizme za dodelu i kontrolu pristupa resursima mreže korišćenjem odgovarajućih protokola, bez upotrebe dodatne infrastrukture (npr. baznih stanica). Ovaj postupak je potpuno samostalan, koristi proces međusobnog dogovaranja i na taj način se organizuju celokupna struktura i rad mreže.[8]

Senzorski čvorovi, nakon puštanja u rad funkcionišu autonomno. Najčešće se ne održavaju i ne postoji mogućnost dopune energije, osim pri upotrebi komplikovanih i luksuznijih senzorskih elemenata. Pri postavki ovih drugih, kada se

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

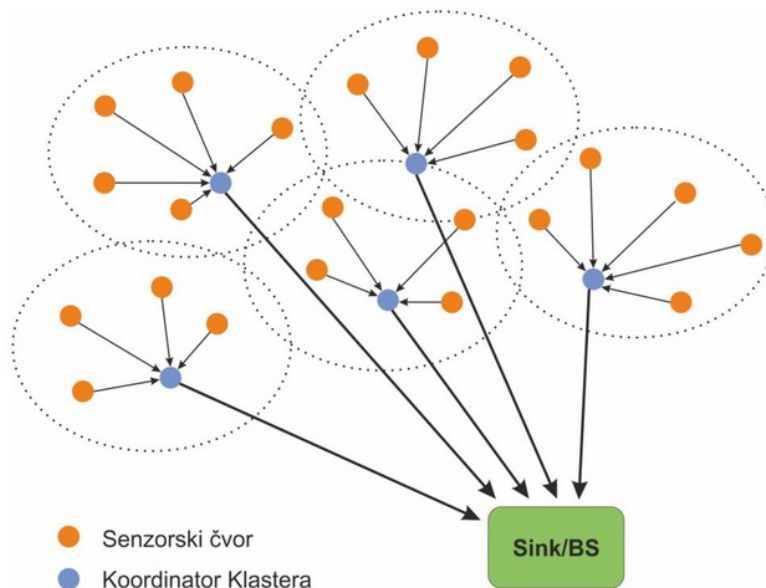
izvršava postavljanje mreže po planu, moguće je napajanje tj. obnavljanje izvora energije. Kod senzorskih modula koji pripadaju baterijski napajanim uređajima, energetska efikasnost modula direktno utiče na životni vek istih.

Kada se postave svi činioci, organizuje i uspostavi WSN kao ad hoc mreža, korisnici započinju svoju kontrolu rada, prikupljaju podatke iz okruženja preko Sink/BS-a, reorganizovanje i kontrolisanje mreže. Čim moduli prestanu s radom, zaustavlja se skupljanje podataka, a moduli unutar mreže gube svoju mogućnost da i nadalje rutiraju, upućuju svoje podatke. Koliko dugo će svaki pojedinačni senzor, a sa njim i čitava mreža, uspešno obavljati svoju funkciju, zavisi od energetske efikasnosti koja vrši neposredan uticaj na njih. Zbog ovog faktora, postoji važnost sagledavanja problema energetske efikasnosti s aspekta procene svih detalja koji se utiču na projektovanje mreže, a zatim i na funkcionisanja čitave mreže.

Protok informacija između SNodeva obavlja se pomoću bežičnog interfejsa, te se i gradi paketska bežična mreža. Cilj ovih senzorskih čvorova je da obave lokalna, diskretna merenja i pruže detaljnu analizu i presek podataka fenomena koji se posmatra u svom okruženju. Isto tako, on je ujedno i izvor podataka merenja, sadrži sve neophodne informacije za neometano funkcionisanje mreže. Senzorski čvorovi šalju informacije jedni ka drugima pomoću kratkih paketa, a njihov glavni cilj je da njihovo krajnje odredište postane Sink/BS ili neki drugi SNode. Ovim putem se i paketi od strane Sink/BS-a upućuju u svim pravcima, bez obzira da li se rutiraju ka jednom ili grupi senzorskih čvorova u mreži. Za njihov transport potreban je veći broj senzorskih čvorova kako bi se omogućila kvalitetna komunikacija. Upotrebom Sink/BS elemenata, koji su smešteni u samo senzorsko polje ili u njegovu neposrednu blizinu, korisnik ima mogućnost da pristupi resursima WSN-a.

U situacijama kada nije neophodno da svi SNodevi u mreži ⁶ dostave ⁹htevane podatke ka Sink/BS-u, tada je dovoljno, u cilju da se smanji količina saobraćaja i potrošnja energije dostavljanje združene informacije na osnovu kombinacije podataka više SNodeva. U ⁸m smislu, moguće je formirati međusobno razdvojene grupe SNodeva (klastera). Na Slici 6 je prikazana arhitektura bežične senzorske mreže kada je podeljena na klastere.

¹
PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa



Slika 6. Arhitektura WSN-a sa podelom na klastera

Klaster se sastoji od jednog SNode-a, koji ima ulogu koordinator klastera (Cluster Head, CH) i ostalih SNode-ova koji komuniciraju isključivo samo sa koordinatorom klastera. CH koordinira komunikaciju, prikuplja i vrši nagomilavanje, zbija⁶ i prosledivanje podataka. CH, na višem nivou, kroz međusobnu komunikaciju vrše rutiranje podataka/paketa od i ka Sink/BS-u.

Ulogu koordinator klastera ne dobija bilo koji SNode, već se izbor vrši na osnovu kriterijuma potrošnje. Važna je što niža potrošnja, kao i potreba upućivanja podataka i zahteva mreže, što se odnosi na primenu WSN-a. S vremena na vreme zamenjuje se SNode koji je do tada vršio ulogu CH koordinatora kako bi se energija i njena potrošnja ravnomerno rasporedile unutar klastera. Ovim postupkom dovodi se do formiranja klastera kom je povećana energetska stabilnost i efikasnost. Važnost klastera ogleda se i pri drugim učinkovitim procesima unutar WSN-a poput postupka agregacije podataka koji je uz njihovu pomoć znatno olakšan. Smanjena je zauzetost, a povećana prohodnost kanala veze. Mrežni kapacitet se povećava pri velikim saobraćajnim opterećenjima, te retko dolazi tj. znatno se smanjuje mogućnost sukoba među paketima. Sve navedeno mnogo govori o značaju i važnosti klastera čije prisustvo neoporecivo vodi ka efikasnosti bežične senzorske mreže.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA ² U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

² 2.7 Nivoi protokola

Protokol *stack* (PS), koji koriste senzorski čvorovi, prikazan je na Slici 7. Ovaj protokol kombinuje:

- svesnost dizajna koja se odnosi na potrošnju i rutiranje (*power and routing awareness*),
- integritet podataka sa mrežnim protokolom, i
- energetske efikasnosti komuniciranja preko bežičnog medijuma [12]

Postoji nekoliko nivoa s kojih je dati proces potrebno sagledati kako bi celovitost bila što kompaktnija. Tek združivanje podataka koje nam pruža svaki od nivoa (fizički, nivo-veze, transportni, mrežni, aplikacioni) daje integritet.

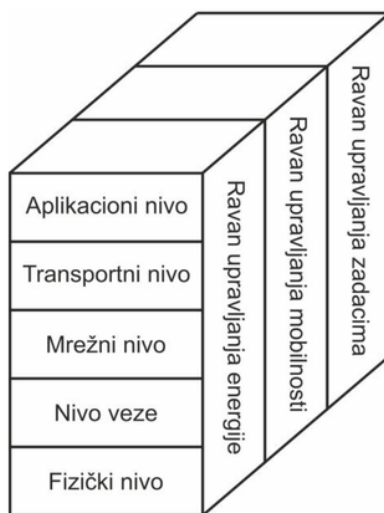
¹⁰ **Fizički nivo** odgovara za sprovođenje modulacionih tehnika, predaju i prijem signala.

Nivo-veze je zadužen za prevazilaženje kolizija pri predaji podataka.

Mrežni-nivo odgovara za sprovođenje podataka.

Transportni nivo prati isporuku podataka od jednog ka drugom korisniku.

² **Aplikacioni nivo** kontroliše pružanje usluga.



Slika 7. Protokol stack SNod-a

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Ravni upravljanja energije, mobilnosti i zadataka posmatraju potrošnju, kretanje i zadatke između senzorskih čvorova. Ove ravni pomažu senzorskom čvoru oko koordinacije senzorskog zadatka i umanjivanja potrošnje energije.[13]

2.7.1 Fizički nivo

Fizički nivo je odgovoran:

1. izabranje frekvencije (*frequency selection*),
2. otkrivanje, prijem signala (*signal detection*),
3. zaštitu podataka (*data protection*),
2. efekte širenja i rasprostranjivanja signala (*propagation effects*),
5. modulacionu šemu (*modulation scheme*) i
6. energetska efikasnost (*power efficiency*).

Frekvencije, pri upotrebi bežičnih senzorskih mreža, koje se najčešće koriste za slanje signala su na RF915 MHz opsegu frekvencija.

Da bi se izvršio drugi sloj sagledavanja fizičkog nivoa potrebno je detektovati signal što iziskuje određivanje hipoteze $\{h_i\}$ koja je istinita na osnovu sabranog skupa nadgledanih vrednosti $\{x_j\}$. Bez obzira na to ²da li je njeno prisustvo zabeleženo ili ga naprotiv nema, ciljna frekvencija emitovanja se zasniva na proceni parametara $\{f_k\}$ od $\{x_j\}$. Oni se oslanjaju na izabrane Furijeove transformacione koeficijente za talasnu dužinu.

Treći sloj prati efekte širenja i rasprostranjivanja signala i identifikuje se kao propagacija signala. Kako bi prohodnost bila na zadovoljavajućem nivou, potrebna je gusta raspoređenost senzorskih čvorova. Oni se rasprostiru po neravnoj površini, te je činjenica da među sobom nemaju velika prostranstva od presudne važnosti kako bi se ostvarila dobra veza na malom rastojanju. SNod-ovi imaju na sebi ugrađene male antene kojima odašilju signal koji primaju. Blizina među čvorovima onemogućava negativne faktore koji bi mogli da ometaju signal. Na ovaj način identifikuje se prostorno razdvajanje SNod-ova i utvrđuje njihova pozicija.

Gubitak signala se može prikazati formulom $(1/d)^n$, gde se n vodi kao približno 4, pri čemu se upotrebljava najjednostavniji *Path Loss Model*. Važnost izbora modulacione šeme je neprocenljiva i predstavlja najkritičniju tačku ukoliko se posmatra sa stanovišta energetske efikasnosti. Kod M-arnih modulacija ograničava se potrebna snaga za predaju podatka tako što ²se u okviru jednog simbola prenese veliki broj bitova. Pritom su, u ovom slučaju, elektronska kola za predaju/prijem (*Tx/Rx*) isuviše složena. Troši se velika količina energije. Binarne modulacione sheme funkcionišu na principu uključivanja i isključivanja ¹⁷ON/OFF, te se ovom modulacijom uspostavlja mnogo bolji odnos između balansa snage na predajnoj strani

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

i one koja se troši od strane Tx/Rx kola. U ovaj tip binarnih modulacionih shema spadaju BPSK, FSK i ASK. Od velikog značaja je pravilno usmeravanje start up vremena i energije radi uštede potrošnje. Na prosečnu energiju po bitu (²) veliki uticaj ima start up vreme, dok veći uticaj ima start up energija u slučajima kada se u toku prenosa koriste kratki paketi. Eb tj. energija po bitu menja se u odnosu na obim paketa. Tada se upotrebljava prenos header-a i troši start up energija, a ne ona koju koristimo za prenošenje informacija.

2.7.2 Nivo veze

Nivo veze, koji je odgovoran za prevazilaženje sudara pri protoku informacija, zadužen je za:

1. omogućavanje stvaranja više komunikacionih linija koje koriste isti računarski kanal za prenos podataka, multipleksiranje nizova podataka (*multiplexing data streams*),
2. pripremu i oblikovanje okvira (*framing*), ²²
3. fizičko upućivanje podataka na datu adresu (*physical addressing*),
4. upravljanje protokom informacija (*flow control*),
5. kontrolu grešaka pri prenosu (*error control*),
6. odabir metoda i kontrolu pristupa (*access control*)

Kontrola sredstava komunikacije potrebnih za pristup

Posmatrajući proces predaje kroz niz slučajeva, uočava se da se veliki broj predaje informacija vrši istim putevima. Oni koji pronadu način da te puteve zaobiđu, uspevaju da naprave iskorak u vremenu, iskoče iz šina, zaobiđu sukobe, možda čak učine nešto revolucionarno. Bezbroj pokušaja vodi i ka neuspehu, put je duži, njim se gubi znatan deo snage ili važnosti poruke, te se korisnik vraća na utabanu stazu. Veliki broj predajnika koji obavljaju radio-prenos vrše ga na istoj frekvenciji jer bolji put nisu uspjeli da otkriju. Gužva i zbrka je nezaobilazan deo ovog vida komunikacije, prenosa, ¹⁰ neminovno je da lako dolazi do njihove međusobne interferencije. Pre ili kasnije dolazi do sudara iliti kolizije, koja stvara problem. Bežične mreže su deljivi medijumi kod kojih postoje načini prevazilaženja ovih sukoba. Jedan od načina je kontrola pristupnih uređaja (*medium access control layer*), kao važan aspekt prenosa informacija. Kako bi se paket koji želimo da prenesemo pretvorio u signal, dodajemo mu MAC (*Media Access Control*) čiji je zadatak da proceni kako i kada je pravo vreme da senzorski čvor preda podatak kroz bežični komunikacioni kanal. Računar mora biti aktivno vezan za mrežu da bi se podaci pojavili.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA ² U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Po P. Dakiću, a na osnovu njegovog projektnog rada “Osnovi zaštite informacija”[10], primarni MAC atributi koje moraju da se identifikuju su:

1. ² izbegavanje kolizije (*collision avoidance*),
2. energetska efikasnost (*energy efficiency*),
3. skalabilnost i adaptivnost (*scalability & adaptivity*),
4. efikasno korišćenje propusnog opsega (*efficient bandwidth utilization*),
5. latencija (*latency*),
6. propusnost (*throughput*).

Svi ovi aspekti posmatranja su neophodni radi pronalaska onog puta koji će uspevati da zaobide sudar s drugim prenosnim paketima, uspevati da kontroliše i ne rasipa svoju energiju, imati mogućnost da ponese veći broj zahteva i korisnika, te se na taj način prilagodi zahtevima mreže, pazi na brzinu kojom se šalju ili primaju podaci, kao i na vreme koje protekne od početka delovanja do momenta nastanka reakcije. Do sada stvoreni MAC protokoli ne mogu da se koriste u bežičnim senzorskim mrežama zbog lociranosti mobilnih izvora. Naime, njihova razdaljina u odnosu na najbližu baznu stanicu je vrlo mala, rastojanje im se sastoji od samo jednog preskoka. Svaki od protokola služi svojoj svrsi i upotrebljava se u zavisnosti od funkcije koju treba da obavi.

Ukoliko se ne određuje unapred vreme kada će određeni senzorski čvor izvršiti predaju informacije, koordinacija se remeti jer se čvorovi takmiče oko komunikacijskog kanala. Takva vrsta protoka zasnovana je na verovatnoći ³² Ovakve primere nazivamo protokoli bazirani na sudarima, i u tipične primere CB MAC protokola ubrajamo ALOHU i CSMA/CD.

Zahvaljujući mogućnosti da se istovrsni signali poruke pretvore u digitalne, koji zahtevaju mnogo manje vremenskog prostora na ¹⁰ što se kompresuju, povećana je mogućnost upotrebe kanala. Vremenski multipleks TDMA (Time Division Multiple Access) šalje digitalni signal kroz isti kanal u određenom vremenskom intervalu. To omogućava deljenje kanala na N vremenskih slotova, a njihovo trajanje dozvoljava predaju podataka samo od jednog senzorskog čvora. U ovom okviru predaje se ciklično ponavljaju i svaki čvor predaje podatak u toku trajanja jednog slotu. Ovakve protokole baziramo na planiranju jer se svaka ćelija priprema za protokol. Bazna stanica raspodeljuje vremenske slotove i vrši protok sinhronizacije informacije u skladu s vremenom u sve mobilne čvorove. Oni najčešće komuniciraju samo sa baznom stanicom jer međusobno nemaju direktan komunikacioni kanal. Ova činjenica koja ukazuje na nemogućnost peer-to-peer komunikacije, koja podrazumeva razmenu podataka između onih koji su kompatibilni, vodi i ka jednoj od slabosti ovog vida prenosa. Jedini zahtev da se računar poveže na Internet. [14] Dok je glavna prednost TDMA pristupa njena energetska efikasnost, njegove slabosti se ogledaju u zahtevima da se formiraju cluster-i radi komunikacije. Čvorovi formiraju cluster-e, čime se i

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

obavezuju da njihova komunikacija teče u okvirima cluster-a. Bira se jedan od čvorova koji preuzima ulogu vode i naziva se cluster-head. U daljoj komunikaciji on se ponaša kao bazna stanica. Ovo onemogućava peer to peer (P2P) komunikaciju. Kada bi im se pružila mogućnost da kontaktiraju direktno, čvorovi bi morali da prate kanal tokom svih slotova što direktno utiče na smanjenje energetske efikasnosti. Pojava interferencije i problemi koji se pojavljuju usled ovog vida komunikacije često se rešavaju upotrebom tehnika tipa FDMA ili CDMA. Dok uz pomoć FDMA (Frequency Division Multiple Access) dva uređaja koja komuniciraju koriste jedan kanal, pri upotrebi CDMA (Code Division Multiple Access) koriste se svi kanali koji su trenutno raspoloživi.

Protokol koji karakteriše mala potrošnja je samoorganizujući protokol (*self-organized*) koji se često koristi u bežičnim senzorskim mrežama. Pri njemu se interferirajuće veze biraju i koriste se različiti potkanali. On pretpostavlja upotrebu i dostupnost većeg broja kanala. Niska potrošnja posledica je sposobnosti čvora da uštedi energiju, on isključuje svoj radio kada ne treba da predaje ili prima signal. TDMA tehniku pri upotrebi u bežičnim senzorskim mrežama koristi protokol LEACH (*Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy*). Ovo je jedan od prvih protokola koji se smatra energetske efikasnim. Pogledajmo za korišćenje u energetske homogenim WSN, on organizuje klaster hijerarhiju, a u okviru svakog klastera (*cluster-a*) implementira TDMA. U zavisnosti od energije koja je preostala i nije iskorišćena, menja se unutar čvorova uloga glavnog. Nedostatak je primetan samo u činjenici da je slaba iskorišćenost dostupnih kanala. FH (*frequency hopping*) TDMA koristimo kako bismo smanjili pojavu da do iste tačke stignu dva treptajna kretanja u isto vreme i radi *inter-cluster* komunikacije. LEACH direktno širi ćelijski TDMA model na senzorske mreže.

Važna stavka pri radu senzorskih čvorova, ona koja ne sme da se zanemari bez obzira na to koji se tip sheme posrednika za pristup koristi u bežičnoj senzorskoj mreži, svakako je smanjena potrošnja energije. Zbog ove činjenice, ona mora da traga za režimom rada koji kontroliše i smanjuje potrošnju i podržava ovaj način rada. Važna je i analiza koja se sprovodi, a koja nas vodi ka podacima gde se najčešće energija utroši, gubi, koji deo procesa je koristi najviše, kako je stabilizovati. Svi ovi podaci vode ka usavršavanju postojeće opreme, tehnika, formacija, jednom rečju upućuju nas ka savršenijem procesu. Ispitivanja se sprovode vekovima, a rezultati koje nam daju neprocenljivi su u oblasti nauke. Ona pokazuju da se najveći deo potrošnje energije koristi za početnu, start-up energiju. S druge strane najjednostavniji način koji se koristi kako bi se uštedela energija je isključivanje primopredajnika čvora pri onim delovima procesa kada za njim nema potrebe. Ovaj način koristi se pri razmeni među čvorovima kada se transportuju kratki paketi. Preporučuje se zbog uštede energije koju pruža. Ipak, ukoliko je primopredajnik bio isključen za vreme pasivnih slotova, on može da troši nemerljivo veću snagu kada nakon uključenja ponovo uspostavlja radni režim, te se energija vidno troši. Ovaj deo procesa najviše štete donosi baterijskom radu. Ovo upućuje na činjenicu da se rad u režimu smanjene

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

potrošnje može, i ima smisla koristiti ga. Režim rada sa smanjenom potrošnjom se razlikuje u skladu s memorijom koju poseduje, a zavisi i od AD konvertora, primopredajnika, stanja mikroprocesora. Kako bi se energija korisno utrošila i pratila njena potrošnja, koristi se shema DPM- *Dynamic Power Management*, koja upravlja dinamičkim upravljanjem potrošnje energije. U okviru ove sheme javlja se veliki broj različitih stanja senzorskih čvorova čijim radom rukovodi blok *power-manager*. U tim su stanju senzorski čvorovi zavisi od podatka da li su u pripravnosti ili ne tj. da li je njegov blok u stanju ON ili OFF. Potrebna im je posebna energija kako bi iz jednog režima prelazili u drugi čemu odgovara i potrošnja određenog iznosa vremena. Sve ovo upućuje na glavnu karakteristiku režima rada ovih tipova koja se predstavlja kroz potrošnju energije i kašnjenja prilikom predaje ili primanja određenog podatka, latenciju.

2.7.3 Mrežni nivo

Kako se često postavlja pitanje zadovoljavanja korisnika, jer efikasnost upotrebe senzorske mreže jedino kvalitetno mogu da procene oni, na osnovu upitnika koji su korisnici popunjavali, urađena je analiza i razvijen veliki broj protokola za prikupljanje podataka. Senzorske mreže pripadaju data centric tipu mreža. U najvažnije mrežne attribute spadaju efikasna potrošnja, uspešno rutiranje i agregacija podataka. Ovaj tip mreže označava da informacija koja se zahteva treba da odgovori na nekoliko stvari, pri čemu se od nje ne zahteva sprovođenje podataka između senzorskih čvorova već agregacija podataka. Čvorovi koji se nalaze u neposrednoj blizini nose slične podatke i odgovaraju istim parametrima, te oni realizuju agregaciju podataka. Podaci više ne čekaju da budu slati razdeljeni od svakog pojedinačnog čvora ka odredišnoj tački. Čvorovi tipa ponor (sink) ispituju podatke pomoću upita koje šalju u određene regione, a upućuju ih unapred izabranim čvorovima. Nakon prvog dela procesa, čeka se na ispostavu rezultata koji dovode do jačanja mrežnog nivoa i efikasne kontrole energije gde se rute uspostavljaju samo kada su potrebne (*on-demand routing*).

Upravljanje podacima je proces koji informatička abeceda naziva tehnikom rutiranja. Da bi se sprovođenje izvršilo, potrebno je odabrati zadovoljavajuću tehniku koja će na adekvatan način proslediti informaciju. Neke od tehnika nose naziv Plavljenje, Brbljanje, upućujući na činjenicu da poseduju veliki broj podataka koji zahtevaju brzo prenošenje kako ne bi došlo do zastoja, kako bi protok konstantno bio omogućen i prohodan za slobodnu komunikaciju. Pri upotrebi tehnike plavljenja, svaki čvor koji primi informaciju, ujedno je i emituje svima (*broadcast*). Ovaj proces upravljanje vrši se sve do trenutka dok paket ne stigne do krajnjeg odredišnog čvora što se dešava kada se dostigne maksimalan broj preskoka u paketu. U osobine ove tehnike ubrajaju se implozija, prikupljanje i zaslepljenost resursa. Tehnika plavljenja

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

ne zahteva velika materijalna sredstva pri održavanju mrežne topologije, niti složen algoritam za rutiranje.

Kako sam termin implozije upućuje na koncentraciju materije i energije procesom uvlačenja svega unutar sebe, i u ovom slučaju dolazi do situacije kada se istom čvoru šalju dvostruke poruke. Ovim se obezbeđuje i mogućnost gubljenja datog podatka. Čvorovi koji se nalaze u neposrednoj blizini i predstavljaju susedne čvorove primaju veći broj poruka koje su zapravo kopije već poslatih informacija susednom čvoru, te se informacija duplira.

U slučajevima kada dva čvora dele isti opservacioni region, možemo govoriti o prikupljanju jer oba senzora mogu vršiti procenu istog stimulusa. Ovaj deo procesa rezultira činjenicom da se primaju duple poruke. I naposljetku, bez protokola koji će voditi računa o energetske resursima čitav proces bio bi onemogućen. Protokol plavljenja ne vodi računa o energiji koja je dostupna za date procese, te je obezbeđen protokol čiji je zadatak isključivo da brine o njemu, kontinuirano vodi računa o iznosu dostupne energije.

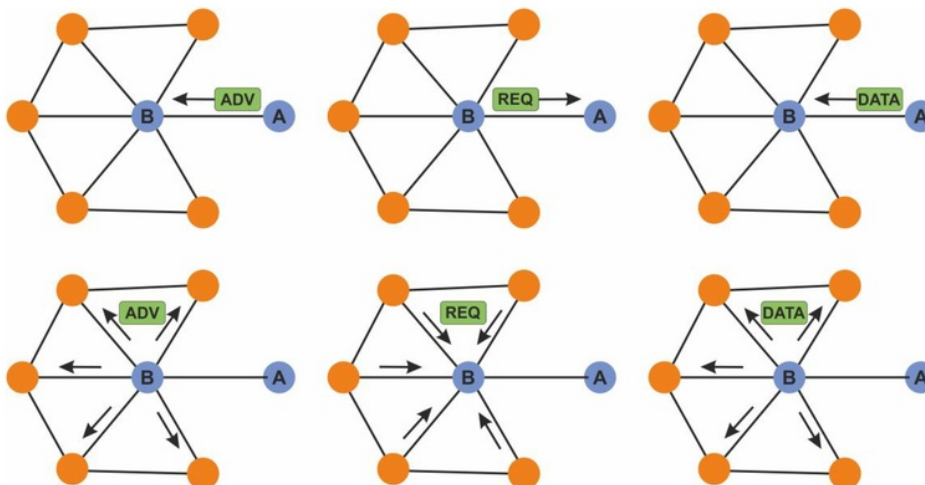
Izmenama u tehnici plavljenja kada emisiju ne sprovode svima, već čvorovi proizvoljno usmeravaju poruku ka drugom senzorskom čvoru, dobijamo Brbljanje (*gossiping*). Na ovaj način se izbegava im³¹izija, te ostaje samo jedna kopija poruka i ona se sada nalazi u bilo kom čvoru, ali je vreme koje je potrebno da bi se poruka prenela senzorskim čvorovima produženo.

2.7.3.1 Data-centric protokoli

SPIN 1

Na slici 8 vidi se rasejavanje informacije ² od svakog čvora ka svakom čvoru u mreži. Ovaj vid protoka se naziva SPIN (*Sensor Protocol for Information via Negotiation*) i pripada familiji adaptivnih protokola. Ovaj protokol funkcioniše na osnovi da bliski čvorovi imaju i srodne podatke. On širi informaciju po celokupnoj mreži, bez obzira da li korisnik zahteva ili ne određeni podatak. Ukoliko korisniku treba određeni podatak on ima mogućnost da uputi zahtev i upita svaki čvor za datu informaciju, a samim tim i odmah dobije željeni podatak. Distribuiraju se podaci koje ostali čvorovi nemaju. Ovaj protokol radi proaktivno, traži adekvatnu analizu postojećeg stanja, kao i kvalitetnu prognozu ishoda koji bi mogli uspešno rešiti probleme koje nosi bliska budućnost.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA



Slika 8. SPIN protokol

¹⁰ Da bi se efikasno vršila razmena podataka između čvorova, SPIN koristi 3 tipa poruka: ADV poruka, REQ poruke i DATA poruke. Svaki od ovih tipova radi na jednom delu ² procesa upravljanja. ADV poruke upešno dozvoljavaju sensorima da oglašavaju meta podatke. REQ poruke vrše upisanje specijalnih podataka i DATA poruke koje skladište i čuvaju aktuelne podatke.

² U svakom senzorskom čvoru ima ugrađen menadžer-resursa koji čuva tragove o:

- izračunavanjima koja obavlja resurs i
- prekidu aktivnosti radi uštede energije. [13]

SPIN 2

Mnogo konzervativniji energetske pristup koristi se u protokolu SPIN2. U njega je sproveden heuristički pristup koji menja optimalnost, brzinu, kompletnost i utiče na tačnost. Čvor pokreće protokol samo ukoliko je siguran da će imati dovoljno energije da započeti proces prenosa i dovrši. Kada kreće s niskim nivoom raspoložive energije, čvor ne može da predaje, niti prima poruke DATA tipa. Senzorski čvor će proslediti ADV poruku pre nego što prosledi DATA poruku. Ukoliko je neki od bliskih senzorskih čvorova zainteresovan za ponudu podatka, upućuje zahtev iliti request poruku REQ za DATA i tek tada se ona usmerava ka istom.

Prednosti ovih protokola su višestruke, a ogledaju se u lokalizovanim topološkim promenama. Njegovi nedostaci su takođe primetni i javljaju se kada je za određeni podatak zainteresovan čvor koji nije blizak onome koji ga upućuje. Tada se zaustavlja proces prosleđivanja podatka već pri kontaktu s bliskim, susednim čvorovima koje data informacija ne interesuje, te je ne primaju, niti prosleđuju.

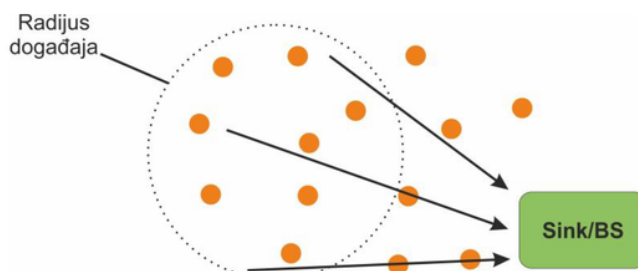
PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Podaci koji su nekom čvoru bili potrebni se zaustavljaju i ne stižu na određenu adresu.

2.7.4 Transportni nivo

U bežičnim senzorskim mrežama ne postoji pouzdani prenos informacije s jednog kraja na drugi do krajnjeg korisnika s obzirom na činjenicu da ne postoji samo jedan kanal koji prenos omogućuje. Ove mreže se sastoje od velikog broja predajnika i senzora, te su mnogo kompleksnije i transportni nivo u njima sagledava se sa sasvim drugog aspekta. Odredište (sink) pokreće multicast tip protoka podataka. Često se zbog ovoga događa da se, usled zahteva za istim informacijama koje su potrebne za određeni događaj, javlja veliki broj prekomernih, suvišnih podataka koji stižu s različitih tačaka, od strane većeg broja senzora. ¹⁰ Postoji i suodnosnost između prikupljenih podataka koji se očekuju. Zbog svega ne postoji potreba za *end-to-end* pouzdanim prenosom među individualnim senzorima i *sink*-om, kao ni između pojedinačnih čvorova i *sink*-a u slučajevima reprogramiranja. ² Prenos je potreban između događaja i *sink*-a. Protokol koji se razvija mora da bude jednostavan kako bi mogao da se utka u hardver i softver što većeg broja bežičnih senzorskih aplikacija, a s druge strane i da zadovolji energy-aware, svesnost o upotrebi energije.

Pri transportu tipa događaj-sink, *sink* istražuje podatke o kolektivnoj informaciji koju imaju senzorski čvorovi unutar oblasti čiji je radijus uokolo događaja. Ovaj proces prikazan je na slici 9.



² Slika 9. Transport tipa događaj-sink

Suprotan put *sink*-senzor se koristi za slanje operativnih ili aplikaciono specifičnih podataka od *sink*-a ka senzorima. Ovo je *multihop* jedan prema-više (*multicast*) komunikacija. [10]

2.7.4.1 Protokoli na transportnom nivou – uporedne karakteristike

Transportni nivo obezbeđuje pouzdan prenos podataka s jednog na drugo odredište. Pri distribuciji istih, on ujedno vodi računa i o kontroli kako se sistem ne bi

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

prebukirao, a štiti i pakete od gubitka. Transportni nivo upotrebljava različite tokole od kojih u najpoznatije spadaju RMST (*Reliable Multi-Segment Transport*), CODA (*Congestion Detection and Avoidance*), ESRT (*Event to Sink Reliable Transport*) i PFSQ (*Pump Flow Fetch Quickly*).

Osnovni cilj RMST (*Reliable Multi-Segment Transport*) je da proveri nivo na kom je potrebno izvršiti prenos podataka. On pokriva prenos podataka između događaja i sinka na transportnom i na MAC nivou. Da bi pouzdanost prenosa na MAC nivou bila obezbeđena, koristi se ARQ, *Automatic Repeat-reQuest* ili automatski zahtev za ponavljanjem, koji kontroliše greške i osigurava prenos time što pakete šalje više puta. Nekada se pri prenosu ne koristi, nekada se upotrebljava selektivno, a ponekada je redovno u upotrebi. Na transportnom nivou prenos se osigurava upotrebljavanjem NACK-ova, *Negative-Acknowledgment*, s ciljem da negiraju ili anuliraju prethodno primljenu poruku kako bi ukazali na neku vrstu greške. Koristi se tip *end-to-end* ili *hop-to-hop*.

CODA (*Congestion Detection and Avoidance*) može da obezbedi pouzdani prenos kolektivnog paketa na relaciji događaja i sinka. Ukoliko se dogodi da neki neočekivani događaj prouzrokuje probleme i čini da čvorovi šalju neke nepredviđene impulse podataka, on stvara sudar koji ih uništava, a može i da signalizira sudare. Otkrivanje sudara se vrši putem nadgledanja kanala.

Vrlo sličan ovom tipu protokola je ESRT (*Event to Sink Reliable Transport*), koji takode vrši kolektivni prenos paketa na nivou događaj, sink. Sink meri pouzdanost događaja na koji se motri i u zavisnosti od događaja primenjuje odluku o pouzdanosti. Sink svima šalje novu frekvenciju izveštavanja. Podešavanje frekvencije izveštavanja stvara mogućnost za kontrole sudara i pouzdanost prenosa. U ovom protokolu se nadgledanje vrši u svakom čvoru i koristi se bit koji može da ukaže na koliziju²

PFSQ (*Pump Flow Fetch Quickly*) protokolom se osigurava pouzdan prenos od sinka ka senzorskim čvorovima. Prenos je pouzdan na nivou jednog preskoka. Senzorski čvorovi čuvaju podatke u memoriji. Sink emituje pakete na sve strane brzinom koja je nepromenljiva, a susedi ih upućuju dalje. U tabeli 1 prikazane su uporedne karakteristike različitih protokola na transportnom nivou.

¹
PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

² Protokol	Otkrivanje grešaka	Smer pouzdanog transporta	Kontrola sudara	MAC-ov zahtev
PFSQ	<i>hop-by-hop</i>	<i>sink</i> → senzor	ne postoji	Broadcast
RMST	<i>hop-by-hop</i> ili <i>end-to-end</i>	dogadjaj → <i>sink</i>	ne postoji	usmerena difuzija
ESRT	ne postoji	kolektivni dogadjaj → <i>sink</i>	učestali izveštaj o događaju	CSMA
CODA	ne postoji	kolektivni dogadjaj → <i>sink</i>	učestali izveštaj o događaju	CSMA/CA

Tabela 1. Karakteristike transportnih protokola

2.7.5 Aplikacioni nivo

Poslednjih godina gotovo svi naponi istraživača okrenuti su ka razvoju aplikacionog nivoa koji karakterišu načini pomoću ¹⁶ih aplikacije mogu da traže određene usluge. Poznati aplikacioni protokoli su *Sensor Management Protocol* (SMP), *Task Assignment and Data Advertisement Protocol* (TADAP) i *Sensor Query and Data Dissemination Protocol* (SQDDP). Svaki od njih odgovara određenim potrebama.

Sensor Management Protocol (SMP) odgovara da se hardveri i softveri s nižeg nivoa budu vidljivi za programe koje se bave upravljanjem i radom senzorske mreže. Sistem administratori su u kontaktu sa bežičnom senzorskom mrežom uz pomoć SMP-a.

¹⁷
Task Assignment and Data Advertisement Protocol (TADAP) ostvaruje efikasan interfejs i omogućava korisničkom softveru da ga koristi kako bi informacija mogla da se širi.

²
Sensor Query and Data Dissemination Protocol (SQDDP) dozvoljava korisničkim programima da koriste interfejs na upite, odgovara na upite i analizira ih prikupljanjem.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

2.7.6 ² Kolaboracija enkodera

Kod WSN-a događaj obično uzrokuje da nekoliko senzora generišu jako korelisane (skoro identične) merne rezultate. Od interesa je sada kako se uz pomoć korelacije može ostvariti kompresija informacije koja se predaje kontroleru ili *sink* čvoru. Na slici 10 prikazan je jedan od načina organizacije većeg broja enkodera koji rade u kolaborativnom okruženju. Enkoderi kolaborišu brzinom određenom od strane entropije, $H(X,Y)$, koja je zadovoljavajuća za datu aplikaciju. [10]



Slika 10. Kolaboracija enkodera

2.8 Sigurnost bežičnih senzorskih mreža

Bežične senzorske mreže iziskuju da se poseban akcenat stavi na sigurnost, te se posebna pažnja pridaje još pri arhitekturi istih. Vodi se računa čim se počne s projektovanjem čvorova. Zaštita mora da se ugradi u sve nivoe mreže, protokole koje koristimo jer aplikacija ne može da obezbedi potpunu sigurnosti. Postoji velika potreba da se osiguraju zbog zaštite podataka u mreži iz različitih razloga, te senzora i protokola koji služe razmeni istih unutar mreže. [15]

Sigurnost WSN-a još uvek predstavlja širom otvoreno polje. Dok postoji veliki broj poslova i iskustava prenetih iz ad hoc slučaja, nedostaju iskustva i analize koje govore o osnovnim pretnjama i svim vrstama napada koje prete ispravnom načinu rada bežične mreže.

2.8.1 Načini rada i pretnje

WSN možemo podeliti prema njenoj funkcionalnosti. Neki modeli krajnje su jednostavni: senzor vrši merenje i šalje podatke. Složeniji modeli uključuju algoritme za prikupljanje i obradu podataka. Za diskusiju o WSN sigurnosti, potrebno je prvo proučiti od kojih se pretnji treba zaštititi, ali jednako tako i od kojih se ne treba zaštititi. Uobičajeno se pretpostavlja ispravnost i potpunost skupljenih ili prosleđujućih podataka. Može se, ili ne mora voditi računa o tome da neko vidi da postoji promet ili da ga može čitati. [16]

2.8.1.1 Jednostavno prikupljanje i slanje (Simple Collection and Transmittal)

Senzor vrši periodična merenja i upućuje podatke direktno do *collection point*-a, odmah nakon prikupljanja podataka ili u planiranom periodu. Senzorski čvor vodi računa isključivo o merenju i slanju podataka, pretpostavljajući da je *collection point* dostupan i u dometu. Pretpostavke se izvlače jer ne postoji saradnja među čvorovima, te nemaju unapred datu informaciju.

Opisana vrsta bežične senzorske mreže ugrožena je od strane napada koji su upućeni ka mrežnom sloju. Potencijalne pretnje su Denial-of-Service, Broadcasting Spurious Information, Physical Attack i Replay Attacks.

Denial-of-service (DoS) je specijalni napad koji pokušava sprečiti pristup mrežnoj usluzi legitimnim korisnicima. Uobičajeni metod napada uključuje preopterećenje ciljnog sistema sa zahtevima, što onemogućava njegovo normalno funkcionisanje. Osnovni tipovi napada su: potrošnja propusnog opsega ili potrošnja procesorskog vremena, ometanje komunikacije, ometanje rutiranja informacija, ometanje radio-frekvencije, stvaranje kolizije itd. DoS napad postepeno smanjuje funkcionalnost, kao i ukupne performanse WSN-a.[17]

U ovim situacijama koriste se radi zavaravanja i izmišljene informacije, *Broadcasting Spurious Information*, koje emituje sam izvor podataka napadača. Slabe i ugrožavaju ga i fizički napadi, provaljivanje, nagomilavanje poruka slanjem nekoliko puta poruka koje su već ažurirane i spremljene, rušenje, provaljivanje u čvorove, kao i zarobljavanje istih.

2.8.1.2 Prosledivanje (Forwarding)

Prosledivanje se vrši tako što senzor sakuplja podatke, da bi ih zatim prosledio nekom od bliskih čvorova koji se nalaze na putu do upravljačkog sklopa (*controller*). Posrednički senzori služe upućivanju podataka do *collection point*-a. To rade svojom sposobnošću da čvor primi informaciju koju ne odbacuje već je prosleđuje. Putem najbližih čvorova, informacije naposljetku stižu i do *collection point*-a. Postoji veliki broj pretnji koje ugrožavaju i ovu metodu, a neke od njih su Black Hole, izmene podataka, iscrpljivanje izvora napajanja, selektivno prosledivanje.

Black Hole ili crna rupa napada senzorski čvor, te on poruku odbacuje, stvara se crna rupa na mestu iste i ona se ne šalje dalje. Drugi tip napada predstavlja agresiju u vidu izmene informacija, *Data Corruption*, gde se menja sadržaj informacije pre nego što stigne na konačno odredište. Da bi se izvršili ovi tipovi napada, mora da se ubaci novi čvor u mrežu kontrolisan od strane napadača ili da se izvrši preuzimanje kontrole nad senzorskim čvorovima.

U slučajevima kada agresor vrši atak zlonamernim slanjem ogromnih količina podataka koji ga zaglušuju, govorimo o iscrpljivanju izvora napajanja. Potrebna je velika energija da bi se sve poruke prosledile, te se troši izvor napajanja, *Resource*

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Exhaustion. Napadač može i da se uključi u put koji transportuje dati paket. Tada kao deo kanala ima priliku da, nakon dobijanja određene informacije, odluči da li želi dalje da je prosledi ili ne. Svoj odabir zasniva na selekciji koja mu odgovara, te ove vrste upada nazivamo i selektivno prosleđivanje, *Selective Forwarding*.

2.8.1.3 Primanje i obrada naredbi (Receive and Process Commands)

Da bi se umanjila količina podataka koja se nalazi unutar bežične senzorske mreže od izuzetnog je značaja njena sposobnost prijema i analiziranja naredbi. One mogu biti poslate jednom ili svim čvorovima i u skladu s tom činjenicom određuje se vid delanja. Senzor naredbe dobija ili prosleđivanjem ili direktno od upravljačkog sklopa. Ovo obeležava stanje i ponašanje naredbe. Agresor ume da se pretvori u upravljački sklop i kao takav šalje lažne naredbe. Od velike važnosti je osiguravanje adresiranja čvorova mreže.

2.8.1.4 Samoorganizacija (Self-Organisation)

Samoorganizacija samog sistema omogućava bežičnim senzorskim mrežama da uče sopstvenu topologiju i vrše organizaciju. Postoje podaci o topologiji koji nisu poznati nikom osim upravljačkom sklopu, kao i oni koji se dele s pojedinim ili svim senzorskim čvorovima. Kako bi rešili sukobe unutar mreže, senzori preuzimaju ulogu klastera.

Protokoli usmeravanja ili rutiranja su posebno osetljivi na neprijateljske atake. Razlikujemo veliki broj različitih ometanja koji se identifikuju i označavaju engleskim rečima *spoofed*, *altered* ili *replayed routing information*, *sinkhole attacks*, *Sybil attacks*, *wormholes*, *HELLO flood attacks*, *acknowledgement spoofing* i drugi. Dok jedni upućuju na zamene informacija, drugi ponavljaju lažne, dupliraju ih i koriste sve prilike ometanja tokom usmeravanja informacije o strukturi same mreže. Kada slika mreže stigne u baznu stanicu, ona tada izgleda potpuno drugačije, što ugrožava proces rada.

Sinkhole attack predstavlja napad koji se bazira na određenom putu od podrnuklog čvora ka baznoj stanici. Kako maliciozan čvor često liči na kvalitetan deo puta pri prosleđivanju podatka, to ga čini odličnim kandidatom da sa njim sarađuju svi okolni čvorovi. Oni preko njega žele da komuniciraju sa baznom stanicom, te su njegova uloga i značaj, a posebno uticaj u mreži, veliki. Ovo spada u kompleksnije vrste ataka, naspram kog su drugi trivijalni.

Ukoliko neki čvor napadača stvori veći broj identiteta unutar mreže i predstavlja veći broj čvorova govorimo o *Sybil attack-u*. Tada je u velikoj meri istinski onemogućen rad pojedinih algoritama kojima se mreža na početku služi.

Wormhole je napad koji u bukvalnom prevodu označava crvlju rupu. Podseća na crva jer se ostvaruje između dva čvora među kojima se stvara kanal. Direktna veza

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

se ostvaruje uz pomoć dela komunikacijskog spektra ili uz pomoć nekog drugog sredstva komunikacije koji ne upotrebljava originalna mreža. Sinkhole ili vulkansko grotlo se stvara uveravanjem tih čvorova da među njima nema znatne udaljenosti iako je ona eminentna kada je reč o dva laptopa koji imaju veće kapacitete od čvorova.

Mnogi protokoli za određivanje stanja mreže na početku rada zahtevaju da se svi čvorovi oglase susedima, takozvanim HELLO paketima. Naime, za dobijanje predstave o mreži koja ih okružuje čvorovi moraju biti svesni svojih prvih suseda. Zato na zahtev bazne stanice, oni odašilju i primaju HELLO pakete. Tada, pretpostavljajući da su dobijeni paketi od čvorova u blizini (tj. u doseg radio veze), oni ih pamte kao svoje susede. Napadač u ovome ima dobru priliku za napad. Na primer, odašiljanjem HELLO paketa dosta jakog signala (jer ima veću antenu i jači emiter od čvora) uverava celu mrežu da im je on sused. Time stavlja mrežu u konfuziju i onemogućuje efikasno prosleđivanje.[16]

2.8.1.5 Sakupljanje podataka (Data Aggregation)

Kada prikupe podatke od svih nizvodnih senzora, čvorovi ih povežu sa svojim podacima. Ovako dobijeni podaci usmeravaju se prema collection point-u. Usled problema autentifikacije nizvodnog nivoa javlja se replay attack tj. ponovno slanje poruke i nagomilavanje koje prati iscrpljivanje. Svaki čvor koji ima potrebu da očita informaciju mora da izvrši autentifikaciju da bi bio uveren odakle pristižu. Upravljački sklop vrši autentifikaciju što zahteva znatnu energiju, ali je on u većem broju slučajeva privezan za trajni izvor energije. S druge strane, kod čvorova ovo predstavlja problem i izaziva iscrpljenost.

2.8.1.6 Optimizacija: fleksibilnost i prilagodavanje (Optimization: Flexibility and Adaptation)

Neke od odluka mora da donosi sam senzor. Uvid u podatke koje poseduje i koji pristižu ima samo on, te se od njega očekuje i reakcija na iste. Ova činjenica širi funkciju čvorova. Postojao je upit da li će ovaj podatak proizvesti još veću ugroženost mreže, ali je ustanovljeno da se njena bezbednost nije umanjila ovom spoznajom. Od bežičnih senzorskih mreža korisnik očekuje znatno više od nekadašnjih, pa su one i formirane u skladu s većim zahtevima. Konvencionalne mreže i dalje samo prosleđuju poruku.

2.8.2 Načini rada i odgovori na pretnje

³⁰ Kako bi se na najadekvatniji način odgovorilo na pretnje koje sa svih strana žele da destabilizuju rad WSN-a, potrebno je razmotriti probleme, sigurnosne zahteve, dodatke, a naposljetku i moguća rešenja WSN funkcionalnih modela o kojima je bilo govora.

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Rečeno je da pri jednostavnom prikupljanju i slanju senzori izmerene podatke prosleđuju ka baznoj stanici. Upotrebljava se komunikacija bez skokova, koja je centralizovana i ide od tačke do tačke.

Osnovni sigurnosni zahtevi su joj:

- pristupanje podacima
- autentifikacija
- poverljivost podataka (*confidentiality*).

Poseban nivo poverljivosti podataka stvara se šifrovanjem istih. Kako bi se ovo izvršilo potreban je šifrovan simetričan ključ poput DES-a *Data Encryption Standard*, koji predstavlja najčešće korišćen algoritam na svetu. Korišćenjem unapred dogovorenih ključeva stiže se do autentifikacije. Svaki čvor koji ostvaruje vezu i komunicira s baznom stanicom ima svoj jedinstven ključ koji poznaju samo oni. Pre nego što se upute u transportni nivo, šifriraju se ključem, tako da ni otvorena poruka ne može biti jasna pre negoli se na odredišnoj stanici ne dešifruje istim ključem koji tom čvoru odgovara. Kada je reč o ometanju radio-veze, pomaže široki spektar radio frekvencije. Tu se napadi prouzrokovani sudarima uspešno olakšavaju uz pomoć kodova koji služe oporavku od greške.

Uspešno rešenje za probleme koji se javljaju u dometu radio-veze je da se senzorima obezbedi slanje podataka do susednih čvorova. Senzori, koji su u neposrednoj blizini sabirnog centra, usmeravaju nadalje podatke ka krajnjem odredištu. Ono što posebno otežava sigurnosna rešenja pri ovoj komunikaciji je postojeća potreba da se umanju utrošak energije. Sad više ni poseban ključ ne rešava novonastalu situaciju, niti pruža potrebnu bezbednost pri protoku. Kako ključ poseduju samo početni čvor i bazna stanica, svi stanični čvorovi ne umeju da utvrde valjanost podatka koji usmeravaju, te se tu pruža mogućnost za atak. S druge strane, prvobitni čvor od kog pristižu autentični podaci ne zna da li je čvor koji ih prosleđuje iskonski i dobronameran. Jedno od mogućih rešenja bila bi upotreba prethodno spremljenih zaglavlja (*pre-built header*) šifriranih ključem. Na samom startu bi se podaci šifrovali i stavili u okvir koji bi odgovarao svim čvorovima kojima se prosleđuje. Zaglavlja bi se i kopirala u onolikom broju koliki je zahtevan u zavisnosti od broja čvorova kroz koje treba da prođe što označava da se veličina izvorne poruke povećava. Kopiranje se vrši u istom momentu kada i šifriranje ključa. Svaki prosleđujući čvor pri prijemu poruke istu mora da umetne i skine svoje zaglavlje. Kada poruka bez zaglavlja stigne do sabirnog centra, tek tada se otvara i dekodira. U sabirnom centru se broje svi podaci koji se primaju iz čvorova. Ovaj deo procesa omogućava da se čvor izbaci iz mreže ukoliko odstupa od statističkih podataka pomoću algoritma koji u sebi sadrže brojače i tajmere.

2.8.2.1 Primanje i obrada naredbi (Receive and Process Commands)

Prenose podataka koji nisu zaključeni određujemo kao senzorske podatke koji se upućuju ka upravljačkom sklopu bez slanja bilo kakve naredbe koja bi dati proces pokrenula. Ovu vrstu prenosa označavamo kao neindukovane prenose podataka (*unsolicited data transmissions*). Veliku slabost ove vrste prenosa podataka predstavlja potrošnja energije koja je znatno veća i može trajno da smanji životni vek čvora. Potrošnja energije je besmislena i u slučajevima kada veliki broj senzora prenosi istu informaciju koja se zatim samo ponavlja. Slanje tj. emitovanje poruka je najskuplji proces u bežičnim senzorskim mrežama baš zbog potrošnje energije. Sve analize do sada radene su u odnosu na neindukovane prenose. Kako bi se umanjili troškovi održavanja WSN-a, uveden je komunikacijski model. U njemu poruka se kreće od upravljačkog sklopa ka čvorovima. Pri ovom vidu rada čvorovi su pasivni, u stanju mirovanja, te je potrošnja energije izuzetno mala. Čvorovi se bude i postaju aktivni tek nakon što upravljački sklop pošalje naredbu koja iziskuje od senzora da ih probudi. Oni menjaju svoje stanje na osnovu naredbe za buđenje, *wakeup command*. Da bi senzori mogli da mere i šalju podatke koriste se naredbe za slanje podataka, *getdata command*, koje predstavljaju okidač za pokretanje ovog procesa. Ovaj model pridonosi uštedi energije, ali otvara nove mogućnosti za atake na sigurnost mreže, a i uvodi nove sigurnosne zamke. Veća pažnja mora biti usmerena na analizu upravljačkih sklopova. Moguće je upotrebljavati pri slanju istu autentifikaciju kako bi se emitovale sve naredbe i razdelili svi ključevi.

Dok je jedan primer ukazivao na dvosmerni protok koji je bezbedan i struji među čvorom i upravljačkim sklopom, drugi model širi dvosmernu komunikaciju tako što uvodi i princip samoorganizacije. Ova činjenica automatski izbacuje faktor učešća čoveka pri održavanju veza, a struktura se organizuje samostalno unutar bežične senzorske mreže.

Samoorganizaciju (Self-Organisation) moguće je podeliti na tri osnovna zadatka:

- pronalaženje čvora (*node discovery*),
- postavljanje rute (*route*)
- održavanje topologije (*topology maintance*).

Za razliku od prethodnih primera, koji su predstavljali centralizovane mreže, ovaj model čini kombinaciju centralizovanog i distributivnog komunikacijskog modela. Upravljački sistem ili senzorski čvor odašilju poruku kako bi pronašli čvor koji im je potreban. Ova vrsta poruke naziva se HELLO iliti pozdravna poruka. Da bi se javili i signalizirali na poslati signal, čvorovi odgovaraju otpozdravnom ili HELLO-REPLAY porukom. Ovaj vid kontakta stvara vezu koja dozvoljava razmene. Formira se bežična senzorska mreža bez skokova. Ukoliko WSN ima skokove, poruke

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

se moraju štititi raznim tipovima šifriranja. Skriva se identitet čvora, zaustavljaju se ponovna slanja već ažuriranih podataka... vrši se sve što je u funkciji osiguravanja bezbednosti. Kada se pronade senzorski čvor koji je potreban, sprovodi se formiranje rute među čvorovima. Da bi se neki čvorni par obezbedio i trajno povezao tj. da bi ruta među njima bila sigurna i stabilna, ponekada se postavlja veći broj ruta između istog para. Ipak, ovi protokoli su i dalje nezaštićeni od Induced Routing Loops-a, Sinkholes-a, Wormholes-a, HELLO Flooding-a.

Zbog velikog broja mogućnosti napada sa svih strana i ataka koji prete svim delovima jednog procesa, maskiraju se svi podaci o usmeravanju koji se šalju unutar jedne bežične senzorske mreže. Izvor im je autentificiran. Do sada najbolja solucija za štićenje ovih informacija je simetrični ključ koji se distribuira kroz mrežu. Distribuira se zbog toga što je izvor napajanja ograničen, a slaba spremnost kapaciteta informacija, te senzor poseduje sposobnost da čuva tablice ključeva koji otvaraju sve susedne čvorove. Ne upotrebljava se ni nesrazmeran algoritam. Van senzora mora se osigurati zaštićenost podataka, a zatim i anuliranje sadržaja koji nose u sličaju napada što se ostvaruje već pri fabričkoj izradi.

Topologija bežičnih senzorskih mreža je znatno drugačija o preostalim. Topologija se retko menja nakon što se uspostavi zahvaljujući onim čvorovima koji su stalni. Ukoliko ostanu bez energije, prestaje njihovo delanje, pa se topologija postavlja ponovo.

2.8.2.2 Sakupljanje podataka (Data Aggregation)

Dok paketi putuju unutar mreže šteti se energija ukoliko čvorovi sakupljaju i objedinjuju podatke. Da bi se ova mogućnost ostvarila od posebnog je značaja zaštiti poverljivost jednog čvora sa svojim bliskim čvorovima. Do sada prenosi podataka bez provere i očitavanja nisu zahtevali autentifikaciju izvora podataka. Sada je potrebno primeniti drugu vrstu sigurnosnog modela jer nisu dozvoljene razmene i sakupljanje podataka. Tokom samoorganizacije su formirane bezbedne rute, ali nije ostvarivo upotrebljavanje različitog ključa za sve parove senzora. Kada bi problem rešavao jedan poseban ključ za čitavu bežičnu senzorsku mrežu, prodor i spoznaja ključa dovela bi u opasnost čitavu mrežu, te je od posebnog značaja stvaranje ključa koji bi izvršavao komunikaciju između svakog čvora i bazne stanice.

Jedno od rešenja koje bi moglo da zaustavi prodor napada ponavljanjem poruka predstavlja uvođenje inkrementalnog brojača poslate poruke. Tokom prikupljanja i slanja podataka, čvor sprema najveće vrednosti brojača poruka od svakog čvora ponaosob. Tako se onemogućava transport starih poruka koje imaju manje brojeve od onih koje su trenutno aktivne. Ipak, i ovo se ima svoje slabosti jer se može dogoditi da čvor spremi samo brojače najbližih čvorova zbog ograničene memorije koju ima. Ovaj podataka otvara vrata iznalaženjima novih metoda.

2.8.3 Ostale pretnje

2.8.3.1 Intrusion Detection System (IDS)

Korisnici u najvećem broju slučajeva u sistemu bežičnih senzorskih mreža mogu da pridu samo baznoj stanici. Ukoliko se sam čvor ne pobrine da obavesti glavnu stanicu o bilo kom problemu, hardverskoj grešci ili disfunkcionalnosti, niko je neće opaziti. Ovi podaci podstiču misli o potrebi da se podsistem obezbedi. Takav sistem predstavlja se ¹⁵ od nazivom *Intrusion Detection System* (IDS). „Sistemi za otkrivanje napada“ (eng. *Intrusion Detection System*) su deo skupa tehnologija za podizanje ukupnog nivoa sigurnosti informacionih sistema. Njihov rad se zasniva na prikupljanju informacija s čitavog niza mrežnih i računarskih izvora, te analiziranje tih informacija s ciljem otkrivanja eventualnih nedozvoljenih aktivnosti i zloupotrebe sistema na kojem se nalaze. [18]

Zapravo se korisnik uz pomoć IDS-a obaveštava o tome da je izvršen atak na bežičnu senzorsku mrežu, odmah nakon što primeti neke nepravilnosti ili aktivnosti na koje je nenaviknut. On čini „drugi nivo zaštite“. IDS prepoznaje agresiju i odmah pokreće svoje zaštitne barijere. Ipak, nije svaki čvor u prilici da ima sopstveni IDS agent što znatno otežava sistem odbrane. Neki od IDS sistema koji se još uvek razvijaju su ¹⁹ *health monitoring*, *sensor readings analysis* i *code attestation techniques*.

Ovi sistemi koji služe za otkrivanje napada (IDS) mogu se klasifikovati u dve kategorije:

- na nivou domaćina
- na nivou mreže (*host-based i network-based*).

Kako klasifikacijskih modula imamo nebrojeno mnogo, sheme za otkrivanje napada delimo i na osnovu anomalija, karakteristika, specifikacija.

Na nivou domaćina IDS pregleda sve tragove poziva sistemu, logova, operativnog sistema. Na nivou mreže on radi u potpunoj suprotnosti s ovim nivoom i bavi se paketima koji se hvataju s mreže.

IDS baziran na odlikama agresije, jednostavno nadgleda mrežu u potrazi za određenim obeležjima koja mogu ukazati na upad u sistem. Shema koja je zasnovana na osnovu odstupanja, ograničava svoje normalno ponašanje unutar sistema i svako odstupanje od ovog vida delanja alarmira sistem kako bi se spremio za odbranu. Sve se završava shemom koja se zasniva na specifikaciji i koja jasno definiše skup ograničenja koja upućuju na ispravan rad programa ili protokola.

Prema *Brutchu* i *Kou* postoje tri tipa arhitekture za otkrivanje ataka u WSN-u. Prvi se naziva *samostalna arhitektura*, *stand-alone architecture*. U slučaju nje, funkcije svih čvorova su nezavisan sistem spreman da otkrije napad i traganje za

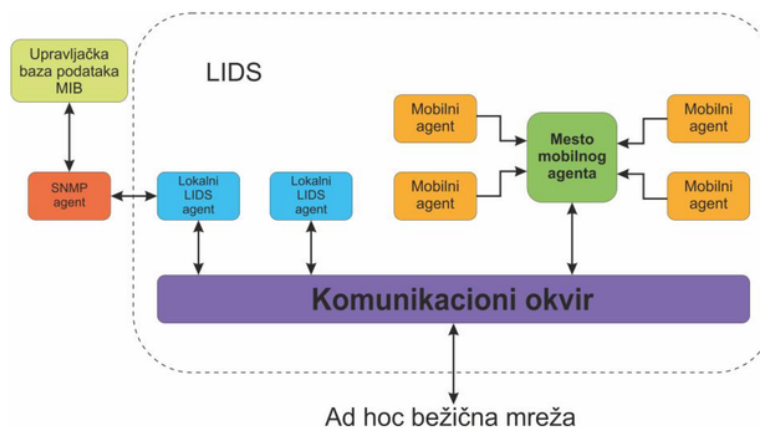
PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

njima se smatra njihovom dužnošću. Čvorovi međusobno ne koreliraju u bilo kom obliku.

Distribuirana i kooperativna arhitektura se sastoji od čvorova koji su zaduženi za traganjem za lokalnim napadima koji su se ustremili na njih. Oni održavaju saradnju s ciljem da prepoznaju i obelodane globalne pokušaje ataka putem deljenja informacija. Kao i u slučaju samostalne arhitekture, na svakom čvoru nalazi se po agent koji detektuje neprijateljsku poruku.

Hijerarhijska arhitektura je posebno pogodna za višeslojne bežične senzorske mreže. Opisane su poput višeslojnih mreža koje su unutar sebe razdeljene na grupe. Svaka grupa poseduje glavni čvor koji je zadužen za prosleđivanje informacija unutar grupe. Ove vrste mreža najviše se koriste za korelacije događaja.

Po Albersu, koji govori o arhitekturi otkrivanja napada, učešće lokalnog sistema za traganjem nalazi se u svakom čvoru, *local intrusion detection system* – LIDS). Njegov predlog sastoji se od preporuke da LIDS-ovi koji su utkani u mrežu moraju da kontaktiraju i sa ostalima kako bi se vršila razmena podataka, bilo oni govorili o opasnostima od napada ili predstavljali sigurnosne podatke. Svi oni se koriste radi komunikacije s drugim mrežnim sistemima ili radi upozorenja kakvi sve napadi mogu da izvrše udar na druge sisteme. Sve ovo čini širenje „vizije“ kako mreža svakog čvora treba da izgleda.



Slika 11. LIDS arhitektura

Na slici 11 grafički je prikazana prezentacija LIDS arhitekture. Upravljačka baza podataka, *management information base* – MIB, varijablama pristupa kroz SNMP koji se pokreće na mobilnim domaćinima. Tu se LIDS komponente prikazuju u bloku označenom sa LIDS. Kako bi komunicirao sa SNMP agentom, lokalni MIB je oblikovan da bi ponudio gomilu promenljivih vrednosti MIB-u koje pristižu od lokalnih LIDS agenata ili od mobilnih agenata. Mobilni i izvršavaju i prikupljaju dobijene podatke od onih koji su udaljeniji, što odgovara zahtevima SNMP-a. LIDS je

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

spreman za prepoznavanje i reagovanje koje proizilazi iz napada, bez obzira da li su čvorovi udaljeni ili ne. Agenti mogu da se sele iz sistema u sistem, kao i prilikom vraćanja podataka na svoj domaći LIDS. Po Albersovom stavu, SNMP praćenje treba koristiti kao izvor praćenja za svaki LIDS. Pošto se UDB smatra nepouzdanom vezom, efikasnija solucija od SNMP poruka bi bila da se upotrebljavaju mobilni agenti, koji postaju odgovorni za prenošenje poruka. Albers praktičnim smatra i upotrebljavanje istraživanja i otkrivanja anomalija i zloupotreba da bi se napad predupredio.

Kada LIDS otkrije uljeza, trebao bi komunicirati sa drugim LIDS-ovima na mreži o ovom uljezu. Mogući odgovori na napad uključuju prisiljavanje potencijalnog uljeza na ponovnu autentifikaciju, ili jednostavno ignorisanje sumnjivog čvora prilikom izvođenja kooperativnih akcija.[19]

Ovaj pristup otvara neke nove ideje koje otkrivaju samo lokalne informacije, ne može direktno da se primeni u bežičnoj senzorskoj mreži, ali nam otkriva vrste i tehnike otkrivanja napada koje mogu znatno da utiču na kvalitet novonastalih.

2.8.3.2 Denial of Service (DoS)

Mrežni čvorovi predstavljaju laku metu za zlonamerne korisnike koji pokušavaju da iskoriste svoje resurse, veštine i motivaciju da pokrenu napad odbijanja servisa - *DoS (Denial-of-service)* protiv njih. *DoS* napad je zlonamerni pokušaj jedne osobe ili grupe ljudi da prekinu napad na žrtvu, sajt ili mrežni čvor i na taj način uskrati uslugu klijentima. Kada ovakav pokušaj potiče od jednog hosta na mreži, on predstavlja *DoS* napad. S druge strane, takođe je moguće da veliki broj zlonamernih hostova koordiniraju napad poplavlivanjem žrtve obiljem paketa, tako da se napad odvija istovremeno sa više distribuiranih tačaka. Ovaj tip napada zove se distribuirani *DoS* ili *DDoS* napad.[20]

Kao pomoćna sredstva ili izvore pomoći možemo koristiti propusni opseg mreže, moć računara i strukturu podataka operativnog sistema. Cilj *DoS* napada je da iscrpi resurse žrtve. Žrtva može biti host, server, ruter ili bilo koji kompjuter konektovan na mrežu.[21]

Kompjuterski kriminalci, čija visina ulovljenih finansijskih sredstava zavisi od količine napravljenog nereda, najradije koriste distribuirane *DoS* napade, *DDoS*. Što se veća kompanija osujeti, to je veća materijalna dobit napadača. Kako danas i obični korisnici zavise od internet usluga, svako kašnjenje signala, podataka, ometanje, uskraćuje uslugu korisnika, koji postaje nezadovoljan, a servera dovodi do velikih gubitaka.

Priprema za kreiranje *DDoS* kreće od momenta pripreme samog terena koji treba da bude napadnut. Analiziraju se i traže slabe tačke kako bi se kreirala mreža napada što podrazumeva istraživanje ranjivih lokacija i hostova. U ranjive se ubrajaju svi oni koji nemaju adekvatan antivirusni program ili ga nisu redovno osvežavali i

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

ažurirali. Oni tako postaju laka meta za eksploataciju. Napadač najpre gradi mrežu robotizovanih računara, botnet, čime pokreće DDos napad. U sistemu se stvara haos zatrpavanjem i velikim obimom saobraćaja koji će uskratiti poznate usluge koje su do tada ostvarivali korisnici mreže. Kada napadač dobije pristup i kontrolu nad hostom, na njemu instalira nove alate, attack tools, koji imaju za cilj da postanu deo robotizovanih računara i da neometano vrše atake pod kontrolom agresora. Hostove na kojima su instalirani ovi alati nazivamo zombiji. Brojnost zombija stvara robotizovanu armiju istih koja zajedno čini botnet.

Faza pripreme za napad ne sme da se zaobide i od izuzetnog je značaja za otkrivanje oslabljenih hostova i instaliranje alatki za napad. Ipak, ovo sada predstavlja veoma jednostavan proces.

U bežičnoj senzorskoj mreži napadi koji streme ka Denial of Service, DoS-u, bazirani su na tome da zaustavljaju čvorove u slanju poruka. Jedan od najjednostavnijih napada podrazumeva napad slanjem radio-signala koji su jačeg intenziteta, a na frekvenciji na kojoj radi i mreža. Ovaj napad naziva se jamming i ostvaruje nemogućnost rada radio-komunikacija čvorova unutar mreže.

Postoje i suptilniji napadi koji se temelje na protokolima 802.11 *medium access control* (MAC), konstantnim upućivanjem zahteva za slanje, *request-to-send signal*, ili odašiljanjem podataka u isto vreme kad i komšija. Prva standardna zaštita jeste *spread spectrum* komunikacija. Ovo je vrsta komunikacije u širokom spektru radio-signala. Spread spectrum uređaji koji su šifrirani nisu lako dostupni, te ovo nije odgovarajuće rešenje za pretnje na duže vreme, ne pruža dovoljnu količinu bezbednosti. Kada se sprečava komuniciranje samo unutar jednog dela mreže, morao bi se izolovati dati deo kako ne bi ometao rad celokupne, kao i omogućiti putevi van njega.

2.8.3.3 Zarobljavanje čvorova

U bežičnim senzorskim mrežama pojavljuje se i Node Capturing koji zapravo predstavlja specifičan vid problema zarobljavanja čvorova. Za razliku od tradicionalnog računarstva, u bežičnim senzorskim mrežama su čvorovi sa senzorima često postavljeni na velikim i javno dostupnim mestima, te su moguće fizičke krađe uređaja. Tako napadač lako može da zarobi čvor, a zatim i jednostavno iščita kriptografske podatke, zameni programski kod... Jedno od prvih predloženih rešenja za dati problem bio je *Tamper resistant packaging*. Zbog svoje visoke cene tj. materijalnih sredstava koje iziskuje, više se stremi ka upotrebi algoritamskih rešenja. Postoji potreba samo da se zadovolji zahtev da mreža sve vreme funkcioniše, bez obzira da li postoje čvorovi čiji je rad onemogućen ili koji ne funkcionišu. Često se koristi metoda posmatranja stanja sistema tako što većina glasa o nekom stanju, objedinjuju se rezultati koji pružaju realan pregled o tome na koje kapacitete mreža može da se osloni. Tako je olakšano pitanje kako pronaći nestalne i neodržive čvorove. Prikupljaju se i redundantni podaci, te mreža reaguje na određeni tek nakon

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA ^U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

što se primi po treći put s istim vrednostima. Ekstremni skokovi se posmatraju i nad njima se vrši provera kao da su pretnje nad sigurnošću.

Mnogi smatraju da je za održanje mreže važno formirati veću količinu jednostavnijih i jeftinijih čvorova koji se lakše održavaju zbog svoje nezahtevnosti, te se pribegava njima unasuprot sofisticiranim, koji se koriste rede.

2.9 Zaštita bežičnih senzorskih mreža

²⁹ Pod kompjuterskim kriminalom u najširem smislu podrazumevaju se ¹¹ krivična dela prema krivičnom zakonu nacionalne države, u koja su na bilo koji način uključeni računarski sistemi i mreže. U kompjuterskom i kibernetičkom kriminalu (cybercrime) računari se koriste kao predmet napada i krađe, izmene ili uništavanja podataka, kao alat za izvršavanje tradicionalnih oblika kriminala i za skladištenje kompromitujućeg materijala. [22]

2.9.1 Link layer security

Link layer security je dovoljna za spoljnu zaštitu mreže, *outsider adversaries*. Ona se formira od nekog simetričnog algoritma sa globalno raspodeljenim ključem. Ključ obezbeđuje odobrenje pristupa, *authentication*, kao i metode konstruisanja inicijalizacijskog vektora.

U ovom sloju mreže najčešće se koriste algoritmi poput *Elliptic curve cryptography* (ECC), *Message authentication codes* (MACs), *Initialization vectors* (IVs).

2.9.1.1 Elliptic curve cryptography (ECC)

U današnjem svetu kriptografija posebno se ističe ECC i uzima važnu ulogu pri zaštiti podataka. Jedna od trenutno najaktuelnijih je RSA, ali se zbog svoje manje veličine ključa kojom je obezbeđeno brzo procesiranje kao konkurent pojavljuje ECC kriptografija. Po analizama, RSA još uvek nudi veću sigurnost, pa je znatno više upotrebljavaju. Digitalni algoritam potpisa eliptične krive (ECDSA) temelji se na osnovi diskretnog logaritamskog problema za eliptične krive (ECDPL). Pojavio se kao alternativa RSA algoritmu zbog svojih kraćih ključeva. On pruža isti nivo zaštite kao RSA.

2.9.1.2 Message Authentication Code (MAC)

Sistem *Message Authentication Code*, *MAC*, upotrebljava se poprilično često za postizanje integriteta i autentifikacije.

MAC posmatramo kao kriptografski *hash*, odnosno *checksum* poruke. Ključ za ulaz u račun MAC-a je tajni ključ koji dozvoljava pristup kako pošiljaocu, tako i

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

primaocu. Pošiljalac računa MAC uz pomoć poruke i tajnog ključa, a zatim MAC uključuje u poruku. Primalac ima istovetan tajni ključ računa MAC koji proverava sa ključem dobijenim u poruci. Ukoliko i upoređivanje potvrdi istovetan identitet oba, on prima poruku kojoj je zagantovana bezbednost jer je siguran ko je pošiljalac.

Tajni ključ je jedinstveno rešenje kojim se vrši zaštita poruka od izmena, a MAC je teško odrediti bez poznavanja tajnog ključa.

2.9.1.3 Initialization vectors (IVs)

Kada se primenjuje neka od zamki koje narušavaju sigurnost kao što je zatrpavanje porukama (YES/NO poruke), mora da se obezbedi drugi tip bezbednosti. Naime, u ovim slučajevima bi trebalo obezbediti da šifriranje iste poruke svaki put kada se otvara da različite rezultate. Ovo se postiže upotrebom *inicijalizacijskih vektora (IV)* koji se koriste za svaku upotrebu kriptografskog algoritma. Spada u jednostavnije načine odbrane. Inicijalizacijski vektori se često šalju otvoreni, nekodirani, a uz njih ide i paket sa šifrovanim tekstom. Primalac mora izračunati IV da bi odgonetnuo poruku. Postavlja se pitanje da li je upotreba ove vrste odbrane moguća i primenljiva u bežičnim senzorskim mrežama u kojima postoje izričiti zahtevi da se snaga očuva. Većina istraživača, ipak, smatra da je njihova upotreba značajna i ovim vidovima mreža zbog čestog emitovanja identičnih i kratkih poruka. Bez njihove uloge napadač bi mogao da vrši atak na sve poruke iste sadržine i da ih ponavlja. Gubljenje poverljivosti podataka je u isto vreme i oznaka za narušavanje zaštite i odbrane sistema.

2.9.1.4 TinySec

TinySec sigurnosna arhitektura predstavljena je 2004. godine i predstavlja prvu u potpunosti implementiranu sigurnosnu arhitekturu sloja podatkovnog linka namijenjenu klasičnim BSM.[25] Nastala je na univerzitetu Berkley. Dizajnirana je i implementirana za TinyOS, a pisana jezikom nesC. Njena osnovna funkcija je da omogućiti jednostavan i efikasan *link layer security* u WSN-u.

Ciljevi

Brojni problemi koji već godinama zabrinjavaju naučnike koji se bave zaštitom su kontrola pristupa, koja zahteva prisustvo samo legalnih čvorova unutar mreže, dok se ostali podaci odbacuju, integritet podataka, koji zahteva da su podaci stalni i sigurni bez mogućnosti da ih menja strano lice a da se to ne prepozna, kao i poverljivost podataka. Od izuzetnog značaja je da se obezbedi da neko strano lice ne može da dođe u kontakt s originalnim podacima i ako ima uvid u šifrirane. TinySec obezbeđuje i zaštitu od uzvraćenih napada, replay-napada. Sve ovo zahteva se od link layer security protokola. Od velikog značaja je i da se ne optereće značajni resursi čvorova unutar mreže. Sistem se pažljivo sklapa i pritom se vodi računa o potrošnji energije koja bi trebala da bude što manja. Vršiti se minimizacija količine dodatnih

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

podataka za čije se odašiljanje koristi radio-kanal. Pazi se i na upotrebu memorijskih zahteva.

Vrlo je važno da TinySec bude jednostavan za korišćenje kako se ne bi dogodilo da više od 70% korisnika uopšte ne koristi zaštitu, kao kod 802.11 standarda. On je stvoren i funkcioniše na više različitih arhitektura. Kod njega nisu potrebne prepravke u postojećim aplikacijama kako bi se uključio. Pri aktiviranju flag-a, kod prevođenja aplikacije, vrši se autorizacija čvora i on se uključuje. Korisnik ima slobodu da bira razne parametre.

Dizajn

TinySec podržava načine rada:

1. Tinysec-AE (authenticated encryption) i
2. TinySec-Auth.

MAC mu je potreban za potvrdu kako bi znao da podatak potiče od pouzdanog čvora, da se paket nije menjao tokom transporta, što obezbeđuje MAC-ov tajni zajednički ključ. Sadržaj poruke se štiti enkripcijom kada je TinySec-AE aktivan da bi se zatim čitav paket zaštitio pomoću MAC-a.

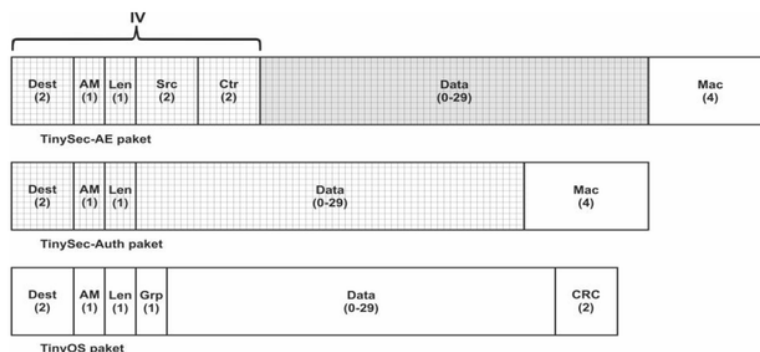
Enkripcija

Pri enkripciji upotrebljava se posebno konstruisani IV, *initialization vector*, veličine 8 okteta i CBC, *cypher block chainig*. IV ima format *dst||AM||l||src||ctr*. Adresa primaoca je *dst*. *AM* predstavlja tip poruke i ima ulogu kao port u TCP/IP, istu dužinu, *src* adresu pošiljaoca, a *ctr* brojač koji kreće od 0. Brojač se povećava za 1 pri svakom poslatom paketu. Na ovaj način obezbeđena je zaštita od *replay* napada. CBC se bira zbog toga što sigurnost manje ugrožena kod ponavljanja istog IV, te se vrši slanje manje količine podataka putem radio-veze. On se razlikuje od *stream cipher-a*. Kao posledica se javlja brži rad i manja potrošnja energije. CBC se koristi za računanje MAC-a, čime se vrši ušteda na memorijskom prostoru.

Block cypher koristimo za enkripciju. Trenutno se koristi *Skipjack*. *RC5* je takode odgovarajući, smatra se da je i brži, ali je patentiran. Međutim, oba su ugrađena i jednostavno ih je promeniti po potrebi. Najnoviji podacima pokazuju da bi se u istu svrhu mogao koristiti i bio bi efikasan *AES*, ali on nije implementiran. Pri ovom procesu štiti se samo poruka. Razlog ovome je korisnost spoznaje osnovnih podataka o paketu pre nego što se izvrši proces dekripcije. Nepotrebne dekripcije su izuzetno skupe kada se posmatraju s aspekta energetske uštede, ujedno i troše mnogo veću količinu vremena pri prosleđivanju.

1 PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP

Format poruka



Slika 12. Formati poruka

Na slici 12 jasno je prikazana i uočljiva dužina paketa. Oni su nejednaki usled tipa zaštite koji koriste ili apsolutno ne koriste zaštitu. Od toga zavise sve razlike koje se pojavljuju pri brzini slanja podataka, a i potrošnja energije snosi povećanje troškova. Na slici se kvadratićima prikazuju polja koja su obezbedena uz pomoć MAC-a, dok zatamnjena polja obeležavaju šifrovana polja, polje Data zatamnjeno je na slici a).

Ukoliko je aktiviran TinySec, CRC se ne upotrebljava jer MAC i Grp polje vrše zaštitu od grešaka. Grp služi i za deobu čvorova u različite mreže. Polje CRC nije potrebno kada različite mreže ne dele ključeve. Polje Ctr je na slici (a) dodato zbog generisanja IV-a koji služi dekripciji.

Implementacija

TinySec sproveden je u Mica, Mica2, Mica2Dot platforme koje se služe Atmelovim procesorima i RFM TR1000 ili CC1000 radiom. Implementaciju je izvršio tim s Berklija. Integrisan je i u TOSSIM simulator, intel x86 platforma. Poznato je da su izvršene i ugradnje za procesore Texas Instrumentsa, ali ih nema u službenim verzijama.

TinySec je implementiran u 3000 linija nesC koda. Da bi funkcionisao podrazumeva 728 okteta radne memorije i 7146 okteta za smeštaj koda. Nova implementacija koristi 256 okteta radne memorije i 8152 okteta za smeštaj programa. Ušteda od 472 okteta radne memorije donosi 6% sporije šifriranje.

Kako bi se aktivirao TinySec-Auth, potrebno je pri naredbi *make* dodati „*TINYSEC=true*“. Kada postoji potreba da se u programu prebaci na TinySec-AE, tada se poziva na funkciju koja menja mod rada TinySec-a. Ovaj princip se koristi radi minimalnih promena u kodu kod aplikacija koje su već postavljene radi aktiviranja bezbednosti.

2.9.2 Secure routing

Kada je globalno raspodeljen ključ, Link layer security ne uspeva da obezbedi stopostotnu zaštitu od pretnji unutar njih, kao ni od onih koje stižu od kompromitovanih čvorova. Unutrašnju zaštitu mreže, *insider adversaries*, obezbeđuju routing protokoli.

Routing protokoli zavise i upotrebljavaju se u zavisnosti od ataka koji se na njih vrši. Kod *Sybil napada* cilj je da se spreči zlonamerni čvor da ima više identiteta. Ukoliko agresor uspešno zarobi neki čvor, on uspeva da koristi i njegov identitet. Postoji samo jedan identitet kada se upotrebljava jedinstveni simetrični ključ za razgovor s glavnom stanicom. Jedna od preporuka koja se nudi za šifriranu komunikaciju je Needham-Schroeder algoritam, on potvrđuje međusobni identitet i stvaranje zajedničkog ključa. Glavna stanica uspeva da zaustavi čvor koji je zarobljen da utiče na mrežu ukoliko ograniči broj suseda na fiksni broj.

Uvođenje dvosmerne komunikacije, koja je obavezna pri uspostavljanju veze, najjednostavniji je način odbrane od *HELLO Flood napada*. Ovo, ipak, ne predstavlja problem za agresora koji ima jednako osetljiv predajnik i prijemnik. Pritom se vraća na navedeni protokol potvrde čvora uz pomoć sigurne bazne stanice pre definisanja suseda. Da bi brižna bazna stanica prosto prepoznala HELLO Flood napad, čvor bi morao da postane sused izuzetno velikom broju čvorova.

Napade *Wormhole* i *Sinkhole* je teško preduhitriti, posebno kada se kombinuju. *Wormhole* napad je teško identifikovati zbog upotrebe privatne komunikacije koja je van frekvencije mreže.

Pri odabiru metoda koje će se koristiti za odbranu od napada potrebno je obratiti pažnju i na mogućnost sinhronizacije vremena koji je teško ostvariv, a neke metode ga iziskuju. Ukoliko se protokol za prosleđivanje konstruiše pažljivo, uspeva se u nameri da se smanji uticaj napada. Ovi uslovi najmanje utiču na geografski određene protokole za prosleđivanje, *geographic routing protocols*, pa zato napad *Wormhole* ne nanosi veliku štetu. On je najštetniji kada se koristi za stvaranje *Sinkhole* ili neke nepostojeće veze koje privlače promet.

Kada je čvor na strateški dobroj lokaciji, napad na njega vrši se pomoću više načina. Ukoliko je njegova lokacija negde na putu ka baznoj stanici ili u njenoj neposrednoj blizini, čvor ima puno prometa za prosleđivanje. Selektivno prosleđivanje je efikasno i ima snažan uticaj kada onesposobi jedan takav čvor. U tim slučajevima koristi se *multipath routing* kao sistem za sprečavanje ove vrste ataka. Ovo višenačinsko prosleđivanje označava da čvor od nekoliko postojećih bira jedno odredište paketa. Na svom putu ka krajnjem odredištu smanjen je uticaj čvora koji je napadnut.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Ataci koji se vrše i remete rad mreže često nisu teški za prepoznavanje jer se primećuju pomaci ili ispadi čvorova. Mogući napadi stvaraju nagle i velike promene u topologiji mreže. To su signali da se mogu uključiti sve radnje koje će biti u mogućnosti da pronađu i otklone agresora.

2.9.3 Forenzika bežičnih mreža

Bežične mreže koje se temelje na 802.11 standardu često su na meti napada zbog ogromne popularnosti bežičnih tehnologija. Njihova kompleksnost znatno utiče na činjenicu da je bezbednost ovih mreža izuzetno teško očuvati. Na velike probleme nailaze i ³ policijski službenici pri upotrebi istih radi istrage ukoliko se javi osnovana sumnja na kriminalne aktivnosti. Osnovni tehnološki izazovi se odnose na kompleksnost fizičkog medija, karakteristike radiofrekvencijske komunikacije i 802.11 specifikacija.

³ 2.9.3.1 Komunikacijski medij

u toku odabiranja forenzičkog alata potrebno je uveriti da on podržava isti komunikacijski standard kao i onaj koji koristi mreža koju je potrebno nadzirati. Zbog toga se preporučuje korišćenje 802.11 a/b/g višepojasnih mrežnih kartica koje podržavaju tri najpopularnija standarda, npr. kartica sa sklopovljem (eng. *chipset*) kompanije Atheros. Glavni nedostatak takvih kartica je to što, zbog zakonskih ograničenja u Sjedinjenim Državama, ne podržavaju zamenljive antene. Spomenuti zakon naime zabranjuje korišćenje zamenljive antene na 802.11a opremi koja radi na najčešće korištenom UNII-1 (eng. *Unlicensed National Information Infrastructure*) frekvencijskom pojasu.[26]

Bežičnu opremu, koju koristimo najčešće, sadrži jednu radijsku komponentu.

Zbog ove činjenice dozvoljena je komunikacija na samo jednom kanalu. Usled potreba da se u datom trenutku obezbedi više kanala komunikacije, forenzički programski paketi upotrebljavaju posebnu tehniku pretraživanja celog frekvencijskog spektra od interesa i provere raspoloživih kanala, *channel hopping*. Glavni nedostatak ove metode je što se podaci koji pristižu s kanala primaju u samo nekoliko milisekundi. Kako svaka pristupna tačka funkcioniše na jedino jednom kanalu, ne događaju se problemi ukoliko se vrši nadzor nad pristupnom tačkom. Mrežna kartica računara gde se vrši forenzička analiza podešava se na korišćenje tog kanala. Kada bežična mreža ima više pristupnih tačaka, javljaju se problemi. One su ujedno i izazov za razvijanje sigurnosnih sistema koji bi im omogućili siguran nadzor prometa. U ovim slučajevima nadzor mora da se vrši istovremeno nad ³ svim kanalima kako bi alatke za bežičnu forenziku mogle da sakupe celokupan promet sa svih bežičnih mreža, koje su dostupne na određenom području. Za to je neophodan veći broj raspoloživih radio-uređaja od broja upotrebljenih kanala.

2.9.3.2 Pokretljivost klijenata

Pokretljivost klijenata je jedna od osnovnih prednosti koju poseduju bežične mreže. Klijenti mogu da se pokreću unutar nje, a kretanje ne ometa, niti dovodi do prekidanja veze. Veće bežične mreže ovaj proces postižu posebnim postupkom koji nazivamo roming, *roaming*. On dozvoljava da prelazimo s jedne pristupne tačke na drugu, blisku, dok odašiljamo ili primamo podatke. Ova osobina ometa postupak i zadatke provođenja forenzičke analize mrežnog prometa.

Čim mrežna kartica ustanovi da je trenutni signal pristupne tačke jedva uočljiv, te bi se onemogućila pouzdana komunikacija, prespaja klijenta u bežičnoj mreži na narednu jaču pristupnu tačku. Često se tokom prelaza vrši i promena radio-kanala na kom se provodi komunikacija. Da ne bi tokom ovog procesa bio ugrožen integritet sakupljenih dokaza, forenzički alat koji se upotrebljava mora u trenu promene da nadgleda sve raspoložive kanale. Poseban osvrt stavlja se na kanale između kojih se događa prelaz. Konfiguracija bežične mreže, kao i položaj pojedinih klijenata unutar nje, imaju veliki uticaj pri dobavljanju dokaza s određenog mesta. Recimo da klijent, kada promeni svoj položaj, izađe iz polja unutar kog forenzičari mogu da sakupljaju prenos podataka, tada je jedina mogućnost da se promet sakupi ta da se to vrši samo s jedne strane veze komunikacije.

Okolina pristupne tačke je jedina pouzdana lokacija s koje se na adekvatan način mogu prikupiti podaci iz bežične mreže. Odavde su vidljiva oba učesnika koja ³ menjaju pakete. Kako rešiti ovaj problem, kada se u vidu ima činjenica da forenzički alat često nije moguće staviti na takvu poziciju, postavlja se kao problematika na koju treba odgovoriti. Ovo se događa kod mreže koja ima veliki broj pristupnih tačaka. Forenzičar nije u blizini svake. S forenzičkog gledišta ovaj problem je rešiv uz pomoć postavljanja višestrukih uređaja za snimanje prometa na drugim delovima lokacije koja se nadgleda. S upotrebom tri ili više takva uređaja uspešno se određuje približan položaj nekih klijenata postupkom triangulacije.

2.9.3.3 Karakteristike prometa

Neophodno je tokom sakupljanja paketa podataka iz bežične ³ mreže u obzir uzeti obeležja prometa poput veličine paketa podataka, kao i zahteva na propusnost veze.

MTU, *Maximum Transmission Unit*, po veličini polja paketa podataka 2304 okteta prema 802.11 specifikacijama. To je veličina podataka pre enkripcije. Konačna dužina paketa uslovljena je enkripcijskim protokolom koji se upotrebljava.

- WEP, *Wireless Encryption Protocol*, protokol paketu dodaje zaglavlje veličine 8 okteta
- WPA, *Wi-Fi Protected Access*, protokol paketu dodaje zaglavlje veličine 20 okteta

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- zaglavlje WPA2 protokola je dugo 16 okteta.

Kada se upotrebljava WEP enkripcija, maksimalna ukupna veličina paketa je: dužina polja podataka + 802.11 zaglavlje + završni slog (eng. *trailer*) = 2312 + 30 + 4 = 2346 okteta.

802.11 specifikacija definiše tri tipa mrežnih paketa: kontrolne, upravljačke i pakete podataka. Ukoliko pristupne tačke upućuju upravljačke pakete koji su pripremljeni za sinhronizaciju, *beacon*, što se radi najčešće na svakih šest sekundi, forenzičar će u roku od jednog sata uspeti da prikupi šeststo ovakvih paketa unutar bežične mreže, koja se sastoji od samo jedne pristupne tačke. Da bi se forenzički postupak na adekvatan način obavio, mora se uzeti u obzir i ova specifičnost bežičnih mreža. Samo to može da omogući pohranjivanje podataka i da osigura zadovoljavajuće preformance.

2.9.3.4 Performanse uređaja za prikupljanje podataka

Da bi na efikasan način vršilo svoju ulogu, sklopovlje, koje se koristi za prikupljanje prometa unutar bežične mreže koja se ³adgleda, mora da prihvati maksimalnu količinu prometa koja je moguća teoretski. Maksimalna količina prometa u jedinici vremena za četrnaest kanala je 756 Mbps, pošto je na jednom kanalu moguća brzina prenosa 54 Mbps prema 802.11 specifikacijama.

Kada se uređaji za prikupljanje prometa biraju, uzima se u obzir kolika je propusnost sabirnica koje se povezuju unutar bežičnih mrežnih kartica. Od velikog značaja je i propusnost ³memorijskih sabirnica i interfejsa tvrdih diskova. Ova karakteristika ¹³e prati da ne bi došlo do zagušenja, niti do gubitka mogućih dokaznih materijala. Bežičnu forenziku je moguće sprovesti upotrebom standardnog PC sklopovlja i programskih paketa otvorenog programskog koda. Da bi se sistem ³gradio, mora da zadovolji sve navedene zahteve. Zbog svega gore navedenog, potreban je pažljiv dizajn i skupa implementacija. Na tržištu primećujemo par komercijalnih uređaja, koji su oblikovani sa strogim zahtevima forenzičke analize bežičnih mreža poput *JanusProject* i *WLAN-14*.

³ 2.9.4 Forenzički alati i postupci

Nakon prikupljanja podataka iz bežične mreže potrebno ih je analizirati kako bi se potencijalni dokazi odvojili od uobičajenog prometa. Pored ovih podataka u forenzičkoj analizi mogu se koristiti dnevnički zapisi (eng. *log*) pristupnih tačaka i drugih mrežnih uređaja, ARP (eng. *Address Resolution Protocol*) i CAM (eng. *ContentAddressable Memory*) tablice, te podaci koje skuplja bežični IDS (eng. *Intrusion Detection System*) sistem za otkrivanje neovlašćenih pristupa.[26]

2.9.4.1 Zahtevi i preporuke

Preporučuje se da se tokom procesa sprovođenja forenzičke analize prometa u bežičnoj mreži poštuju određene procedure i da se upotrebljavaju alati koji poseduju određene sposobnosti. Neke od mera koje bi trebalo poštovati i raditi u skladu s njima su:

- Savetuje se korišćenje uređaja s 15 radio-komponenti da bi se u isto vreme mogao pretraživati radio-spektar kako bi otkrivao nove mreže i nadgledati 14 802.11b/g kanala.
- Određivanje preciznih vremenskih oznaka i utvrđivanje položaja na otvorenom prostoru uspostavlja se uz pomoć upotrebe GPS, eng. *Global Positioning System*, navigacionog sistema. On se pokreće ako forenzički postupak zahteva vreme prikupljanja dokaza ili potvrdu lokacije. Tada se pomoću GPS satelita u dnevničke zapise beleže intervali sinhronizacije uređaja, čime se dokazuje da su tačna njegova očitavanja.
- Da bi se prikupio celokupan promet, potreban je forenzički alat. Tada, ukoliko je prikupljen promet bez filtriranja, analizi ne promiču bežični uređaji koji su zabeleženi na mreži. Filteri se mogu upotrebljavati i kasnije za vreme analize i time se ubrzava postupak.
- Forenzički alat bi trebao da bude pasivan, ne bi smeo da šalje pakete. Ovo se ne uspeva na nivou sklopa samo upotrebljavanjem prigušnika ili jednosmernih pojačala. Na programskom nivou to se vrši tako što se u nadzorni način rada, monitor mod, postavljanja mrežna kartica.
- Postoji preporuka da se upotrebljavaju uređaji na koje je ostvarivo priključenje spoljnje antene, kako bi se povećala osetljivost prijemnika.
- Specifičnost nekih od forenzičkih zadataka ponekada zahteva da uređaj koji prikuplja promet bude na takvom mestu gde mu je pristup potpuno nepristupačan ili samo otežan. U ovim slučajevima je potrebno omogućiti udaljeni pristup uređaju pomoću zasebnog 802.11b/g interfejsa. Tada se dati interfejs mora dobro zaštititi zadovoljavajućim autentifikacijskim i enkripcijskim mehanizmima.
- Beleženjem podataka o snazi signala uspostavlja se procena udaljenosti osumnjičenog od forenzičkog uređaja. Ove informacije nisu jednoznačne zbog osobina radio-signala poput refleksije, loma i rasipanja signala.
- Da se prikupljanje paketa ne bi prekinulo ukoliko se pogoršaju uslovi rada, savetuje se upotreba sklopovlja, mrežnih kartica i radio-komponenti koje imaju veliku osetljivost prijemnika.
- Sudski proces ponekada iziskuje rekonstrukciju postupaka vršenih forenzičkim alatima. U ovim slučajevima preporučuje se upotreba

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA ^U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

naprednih mogućnosti stvaranja dnevnčkih zapisa. Tačnost tih zapisa štiti se uz pomoć jednosmernih, *hash*, algoritama poput MD5

2.9.4.2 Komercijalni alati

NFAT, *Network Forensic Analysis Tool*, skup je alati koje se koriste za forenzičku analizu mrežnog prometa. Najpoznatije od ovih alati spadaju u komercijalne alate, a namenjeni su forenzičkoj analizi žičanih mreža. Poznati su pod nazivima: „Sands³m NetIntercept“, „Niksun NetVCR“ i „eTrust Network Forensics“ alati. Potrebne su napredne analitičke funkcije specifičnih 802.11 zaglavljaja i sekvenci poruka specifičnih za bežične protokole da bi se mogle primeniti kod bežičnih mreža.

Iako su danas na raspolaganju mnogobrojni alati koji pomažu u analizi mrežnog prometa i pomažu forenzičarima pri pretraživanju sakupljenih podataka. U alatke koje pomažu u analizi spadaju i:

- **Wireshark** je program sa grafičkom korisničkom interfejsom sa kojim je dostupna detaljna analiza polja sakupljenih paketa podataka,
- **Ngrep** (*Network Global Regular Expression Parser*), nudi otkrivanje znakovnih nizova u kontekstu paketa podataka,
- **tcdump** i **tshark** su alatke za formiranje skripti s tekstualnim grafičkim interfejsom. Njihovom upotrebom se vrši automatizacija određenih analitičkih zadataka poput filtriranja prikupljenog prometa uz prethodno postavljene kriterijume.

2.9.4.3 Analiza bežičnog prometa

Da bi se izvršila analiza mrežnog prometa, mora da se prati nekoliko postupaka koji vode ka unapređenju kvaliteta bežičnih mreža. Delovi procesa tj. postupci koji se uključuju u njega su:

- normalizacija podataka,
- ¹³ R¹³arenje podatak, *data mining*, kojim se obezbeđuje jednostavna upotreba i pretraživanje prikupljenog podataka,
- prepoznavanje uzoraka da bi se otkrile anomalije i sumnjivi uzorci,
- analiza protokola, koja nam pomaže da razumemo različita zaglavljaja pojedinih protokola.

Navedeni postupci koriste se i pri radu na žičanim i bežičnim mrežama, a ³ specifičnosti bežične forenzike su:

- spajanje prometa više kanala,
- rukovanje prometom preklapajućih kanala,

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- filtriranje i ubrzavanje analize.

Enkripcijske mogućnosti ugrađene u 2. sloj 802.11 specifikacije čine znatnu razliku koja odvaja analizu prometa bežičnih od žičanih mreža.

2.9.4.4 Wireshark [27]

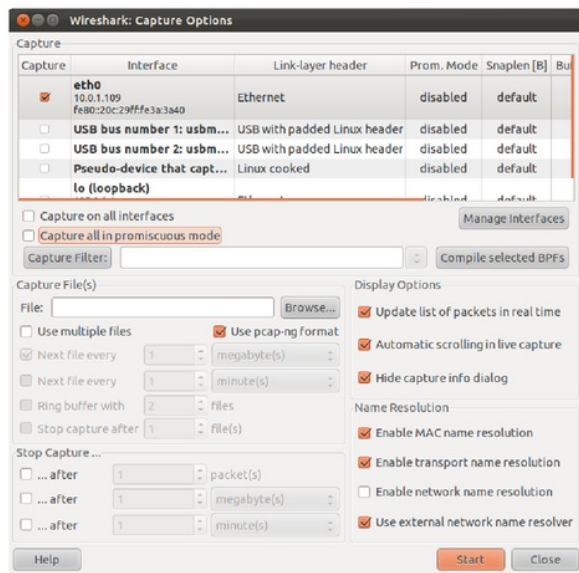
U situacijama kada je potreban softver koji dozvoljava korisniku da mrežni interfejs postavi unutar promiskuitetnog moda, koristimo Wireshark. *Wireshark* softver je besplatan analizator mrežnog saobraćaja. Uz njegovu pomoć rešavamo probleme u mreži, projektovanje softverskih rešenja koji se temelje na mrežnim protokolima, učestvuje u radu na analizi bezbednosti mreže i protokola, a naposljetku upotrebljava se i u edukativne svrhe. Originalni naziv ovog softvera je bio Ethereal, ali je ime preinačeno u Wireshark maja 2006. godine.

Kada se postavi u mod, on omogućava da se celokupan saobraćaj, ne samo onaj koji je namenjen toj mrežnoj kartici već i broadcast/multicast saobraćaj, jasno očitava i dostupan je na datom interfejsu. Dok se saobraćaj sakuplja u modu na portu, na mrežnom komutatoru tj. sviču, samo njegov deo, onaj koji prolazi kroz svič, propušta se kroz ciljani port. Kada se bavi preusmerenjem saobraćaja na portove, port mirroring, upotrebljavaju se druge tehnike kako bi se željeni saobraćaj uputio ka portu u cilju analize paketa.

Praktična primena

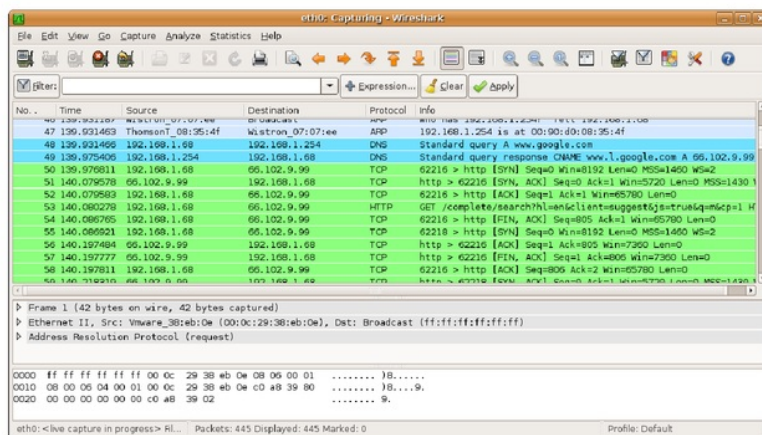
Da bi se započeo proces prikupljanja prometa, bira se mrežni interfejs čiji promet je cilj snimanja. Alati ih prepoznaju automatski i nude one koji su dostupni. Nakon što se mrežni interfejs odabere, počinje sačuvanje.

1 PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA



Slika 13. Prikaz mogućnosti uočenja [27]

Pre uočenja postoji mogućnost za odabiranje razne opcije snimanja, koje se prikazuju na slici 27. Odmah nakon podešavanja, alat započinje snimanje prometa po prethodno odabranim postavkama. Preporučuje se da se alat pokrene i drži pokrenut u pozadini sve dok ne sakupi veći broj informacija za analizu, s obzirom da mala količina prometa ne nudi dovoljno materijala za izdvajanje korisnih informacija. U zavisnosti od namene, količina prometa može biti od nekoliko kilobajti do nekoliko gigabajti podataka.

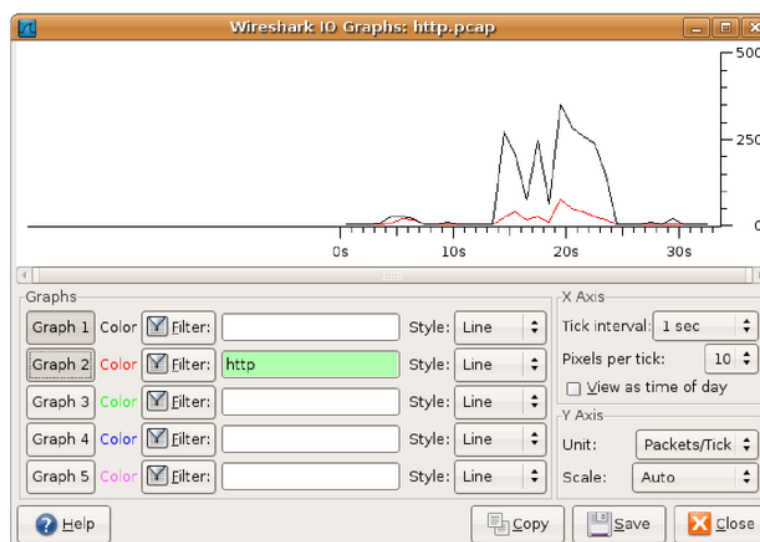


Slika 14. Prikaz uočenih paketa [27]

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Prikaz uočenih paketa i detalja o njima ne daje kompletan uvid u široku sliku mrežnog prometa. Ovakav prikaz služi svrsi jedino u slučajevima kada korisnik sumnja u određeni problem i ima za nameru da ga detaljno proveri. U situacijama kada korisnik nema ideju o problemu, on kreće od sumarnog pregleda. U ovu svrhu se koristi jedna od najkorisnijih mogućnosti alata – sumiranje mrežnog prometa. Alat nudi mogućnost da pruži sumarni pregled prema velikom broju parametara.

Uz date mogućnosti, alat može da prikaže statističke podatke koji su specifični za određeni protokol. HTTP protokol alat ume da izračuna opterećenje po pojedinačnoj IP adresi, a TCP protokol nudi prikaz grafike vremena obilaska, *round trip time graph*.

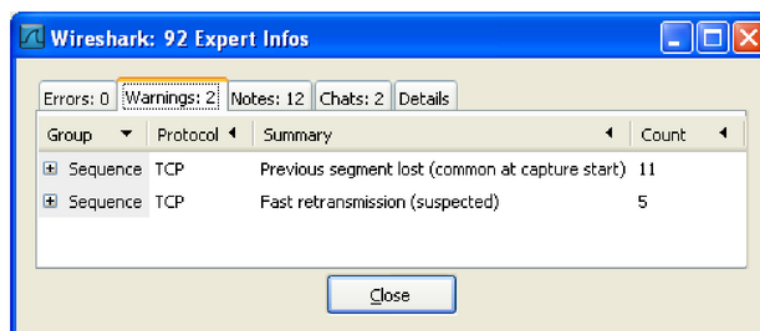


Slika 15. Grafički prikaz sumiranog prometa [27]

Uz gore navedene, Wireshark nudi i opcije analize sumiranog prometa. Mogućnosti analize alata su:

- Da se prati tok prometa jednog protokola između dve tačke, koji predstavljaju čitav tok od stizanja upita do davanja odgovora između dva čvora,
- dešifriranje određenog mrežnog paketa u obliku koji traži određeni protokol u slučajevima kada korisnik sumnja da je protokol paketa lažno predstavljen,
- prikaz samo određenog protokola sa svim specifičnostima koje idu uz njega
- prikazivanje ³ stručnih podataka, tj. podataka o konkretnim greškama i upozorenjima po protokolima (slika 16).

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 16. Prikaz „stručnih podataka“ [27]

3. PRIMENA U ZDRAVSTVENOJ ZAŠTITI

3.1 Teorijska pozadina istraživanja

3.1.1 Tehnike udaraca u tenisu

U savremenom teniskom sportu najvažniji i najčešće upotrebljeni udarci su:

- Serva
- Forhend
- Bekhend

Sažeto to su osnovni udarci [28]. Ukoliko igrač vlada ovim udarcima, dobija poene i može dobiti mečeve/utakmice. Gem započinje servom, odnosno otvaranjem, a dobri serveri imaju više šansi za pobedu.

Osnovne tipove udaraca igrači izvode uglavnom nalazeći se blizu osnovne linije, nakon što je loptica nakon udarca protivnika odskočila na njihovom delu terena. Osnovni udarci se na razne načine mogu seći, odnosno preseći, kao i spinovati, a to su tokom igre i najčešći udarci.

3.1.1.1 Serva

Proces igre započinje otvaranjem odnosno servom. Igrač koji servira baca lopticu visoko u vazduh i udari je svojim reketom. Cilj mu je da lopticu bez da dodirne mrežu, odskoči na terenu protivnika u za to određenom i omeđenom prostoru. Reket se rukom pokreće „iz leđa”, odnosno od leđa, a kada je loptica u najvišoj poziciji, ispruženom rukom je udari reketom pokretom iznad svoje glave. (slika 17.) Kod susreta reketa i loptice, zglobovima još pomaže pri usmeravanju loptice radi tačnijeg ciljanja.



Slika 17. Niz pokreta pri servisu [29]

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

Postoji više vrsta servisa, glavni tipovi su: običan, ili ravan, spinovan (topspin), twist, sečen (sliced).

Običan, ili ravan servis je najbrži, loptica se ne vrti u vazduhu, već direktno udara na protivnikovu polovinu, u zato omeđen i označen prostor. Pri ovom načinu serviranja loptica leti tik iznad mreže, stoga može da je dodirne ili zakači, stoga je potrebno veoma precizno udariti. Većina igrača upravo zbog toga nastoji ovakav servis udarac izvesti iznad sredine mreže, gde je ona najniža, i kao prvi servis. Ovakvi servisi kod muškaraca prelaze i brzinu loptice od 200 km/h.

Kod topspin servisa igrač u vazduhu reketom udari donji deo loptice. Ovaj servisni udarac je mnogo sporiji, i kako se loptica vrti u vazduhu, omogućeno je da ona visoko iznad mreže doleti do dela protivničkog terena, te da padne u za to predviđeni prostor. Stoga je upravo ovaj servis sigurniji nego običan, ravan i brz servis, često se koristi i kao drugi servis. Topspin servis je uprkos tome zahtevniji, igraču je potrebno da uloži više snage nego pri običnom servisu. Naime, loptica, koja se vrti visoko odskoče pa igrač koji takav servis prima u većini slučajeva lako je vraća forhendom, dok je bekhend udarcem to teže izvesti. Upravo zbog toga je servirana loptica ne bekhend stranu protivnika dobra priprema za igru servis-ritern. Tehnika izvođenja ovog udarca je teška, pošto izvođač servisa treba da udari lopticu iza pa čak i iznad sopstvene glave, što zahteva niz složenih pokreta.

3.1.1.2 Bekhend udarac

Igrač-dešnjak ovakav udarac izvodi, odnosno pokreće sa leve strane, ispred svog tela se udarac nastavlja ukršteno dok dodiruje lopticu, a završava se na desnoj strani tela (slika 18.) Pri ovom udarcu reket se može držati jednom rukom ili sa obe ruke. Bekhend udarac se može izvesti prema napred, da se loptica zavrti, ili „sečen” udarac da se loptica zavrti na protivnikovoj strani. Ovakav „sečeni” bekhend udarac je najefikasniji na terenima sa brzom podlogom, jer se tamo loptica još brže može vratiti na protivnikovu polovinu terena.

3.1.1.3 „Sečen“ ili „rezani“ bekhend

Igrač pomeri reket u stranu za izvođenje bekhend udarca kako bi mogao odozgor udariti lopticu prema dole da se ona zavrti, dok se namesti tako da bude sa strane prema pravcu udarca. Reket izvodi putanju u obliku latiničnog slova „U” odozdol prema gore da bi bekhend strana reketa bila okrenuta prema gore.



Slika 18. Niz pokreta pri bekhend udarcu [29]

3.1.1.4 Forhend udarac

Forhend je najčešće korišćena vrsta udaraca u tenisu, većina igrača prvo nauči izvesti upravo ovaj udarac. Glavni osnovni udarac omogućava i početnicima i naprednijima podjednako da sa kraja terena vladaju igrom. Forhend udarcem igrači uglavnom odozgor zavrte lopticu, ali je mogu pogoditi i „sečeno”, odnosno zavrteći je prema strani.

Igrač se trudi da lopticu pogodi kada je ona na najvišoj tački svog putanja, pošto na taj način može da je zavrte. Dešnjak ovakav udarac pokreće sa svoje desne strane, nakon dodira sa lopticom pokreta se nastavlja ispred njegovog tela i završava se na levoj strani (slika 19.). Igrač svoj reket drži ispod nivoa putanja loptice, pomerajući ga odozdol prema gore, permanentno ubrzavajući. Kada reket dodirne lopticu, malo ga podigne, usmeravajući tako loptu.



Slika 19. Niz pokreta kod forhend udarca [29]

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Kao što vidimo različiti osnovni udarci zahtevaju različite nizove pokreta. Serviranje se vrši iznad glave, reket se od pozadi podiže do iznad tela, zatim se spusti ispred tela. Forhend udarac se izvodi s desna prema levo, a bekhend s leva nadesno (posmatrajući sa aspekta dešnjaka). Položaj reketa u trenutku susreta sa lopticom pokazuje, da li se radi o spinovanom, „sečenom” ili pravolinijskom udarcu.

3.1.1.5 Spuštanje lopte

Udarac kojim se može iznenaditi i prevariti protivnik. Igrač u većini slučajeva lopticu udara sa sredine, odnosno unutrašnjeg dela terena, najčešće unakrsno na polovinu terena protivnika. Sam pokret se započinje kratkim vraćanjem reketa unazad stvarajući na taj način kratak gornji luk, zatim se pokret nedvosmisleno nastavlja prema napred, odnosno prema dole, a loptica se pogađa okretanjem zgloba i podlaktice sa zadnje strane. Držanje reketa je čvrsto, a za tu vrstu udarca je karakteristično brzo zaustavljanje pokreta, odnosno udarca.

Ukoliko igrač nakon izvršenog udarca vidi da je loptica pogodila odgovarajući ciljani deo terena, uspeh će ga podstaći da ovaj način udarca koristi i u buduću. Ukoliko je, pak udarac pogrešan, odnosno promašen, igrač će tokom obrade te informacije nastojati da otkrije gde je greška načinjena. Na to pitanje će odgovor dati poređenje načina izvođenja udarca koji je odložen u mozgu sa izvedenim pogrešnim udarcem. Ovo upoređenje može izvršiti samo u slučaju da je optimalno izvedeni udarac prisutan u memoriji igrača.

Odgovarajuća udaljenost od loptice je važan uslov da bi lopticu mogli optimalno pogoditi. Zato je pravilan rad nogu bitan činilac efikasne teniske igre.

3.1.1.6 Rad nogu

Tenis se u osnovi sastoji od trčanja i udaca. Shodno tome razlikujemo sledeće tehnike trčanja:

- Kada loptica stiže neposredno do igrača, treba da odstupi od nje, što čini korakom unazad kako bi u trenutku udaranja/vraćanja loptice stajao sa strane.
- Loptice koje stižu daleko od tela igrača iziskuju kretanje u nekoliko koraka do pozicije za udarac, čija je poslednja faza okretanje pre izvođenja udarca i iskorak u pravcu udarca.
- Kada trčimo prema napred, koraci će nam biti sve kraći, sve do pretposlednjeg, a tek poslednji korak ka lopti određuje pravilno odstojanje od loptice.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- Udaljenije lopte se stižu okretanjem tela u pravcu loptice i brzim trčanjem ka njoj. Na šljaci, odnosno terenima sa šljakom poslednji korak je već klizajući. Na drugim podlogama umesto klizanja treba trčati.
- Prilikom trčanja unazad nastojimo pratiti lopticu, da bi je mogli udariti u povoljnom položaju tela. Prilikom trčanja unazad bočnim ili normalnim trčecim koracima stižemo do loptice.

Lopticu u trku udariti znaju samo uvežbani igrači sa dobrom koordinacijom pokreta, pošto se udarac izvodi prilikom zadnjeg, usporenog, odnosno sporijeg koraka. Potrebno je, znači tačno, precizno tempiranje i optimalno prebacivanje težine tela.

3.2 MEMS senzori

A MEMS je engleska skraćenica za mikro-elektro mehaničke senzorske sisteme. Integracija elektronike, mehaničkih elemenata, senzora, i ventila na zajedničkoj silikonskoj površini, koja primenjuje tehnologiju mikro proizvodnje. Bio-Memse koriste i u medicinskim i zdravstvenim tehnologijama, u štampačima, pri prikazivanju promene pravca kretanja kod modernih automobila, upravljanja vazдушnim jastucima, silicijumskih merača pritiska, DMD čipova u projektorima, i mogli bi navesti još mnogo primera. DMD je skraćenica engleskog izraza „digital micromirror device”. To sredstvo čini osnovu digitalnog mikro ogledala, optičkog poluvodiča i jedne tehnologije projekcije. [30] MEMS je iz više razloga koristan i pouzdan. S jedne strane mehanika nema poteze montiranja, sa aspekta mikroelektronike proizvodnja je jednostavna, proces planiranja i projektovanja je slična planovima klasične mikroelektronike, nije komplikovana, sadrži uglavnom mehaničke elemente, opruge, ručke. Osim navedenih i sirovina za njihovu izradu je pouzdana i lako dostupna, a to su silicijum, kvarc, staklo i polimeri. Najčešće korišćeni materijal je silicijum, a njegova obrada je poznata. Ima izuzetno dobra svojstva, čist je i fleksibilan, dobro podnosi trenje, stoga nije izložen velikom habanju. Uticaj toplote podnosi i do 500 stepeni Celzijusovih. Ima jak rastezajni otpor, mehanički stabilnu strukturu, nema skrivenih grešaka. Velik mu je piezo otpor. [31] Dve glavne linije MEMS-ova su Bulk i Surface micromachining, odnosno blokovska i površinska mikromehanika. U slučaju blokovske mikromehanike u odresku silicijuma uz pomoć anizotropskog nagrivanja, odnosno glodanja formiramo željenu strukturu. Ovim načinom, mokrim glodanjem možemo izraditi pravilne mikromehaničke strukture do nanometarske preciznosti. Površina se uglavnom formira hemijskim glodanjem, ali to nije isključivo. Nakon maske višak se odstranjuje. Membrane, ventili i kantileveri se obrađuju, primera radi primenom blokovske mikromehanike. Ovi se ne okreću, ne vrte, ne pomeraju, samo se napinju i eventualno (a to je maksimum) mogu pomeriti u određenom pravcu. Proizvodnja je jeftina, proizvode se

njihovom upotrebom merači pritiska i gasni senzori. [32] Nasuprot tome kod površinske mikroelektrone u osnovi se ne vrši nagrizanje, odnosno glodanje, već nadogradnja. To je u suštini serija slojeva. Stvaraju se komponenti, materije strukture – što, na primer može biti i silicijum – i „žrtvovani” sloj (SiO_2). [33] Ovaj sloj se odstranjuje selektivnim glodanjem. Formiranje strukture na površini odreska nastaje litografskim putem. Glavna razlika u odnosu na blokovsku mikroelektroniku je u tome da se ovom metodom možemo proizvoditi pokretne delove, odnosno delove koje možemo pokrenuti. Pomislimo li samo na volan trkaćih automobila Formule 1, i tamo ćemo naići na mnogo MEMS tehnologije. U sportu takođe postoje mnoge oblasti u kojima se koristi pomoć MEMS sredstava. Može se kupiti bezbroj „pametnih satova“ raznih tipova, dimenzija i vrsta u koje su ugrađeni merači brzine, što je veoma bitno za trkače, ili se u njima nalazi merač pritiska vazduha, što je neophodan deo opreme planinara penjača. Ovi aparati mogu biti opremljeni i meračem visine, a ne retko i meračima krvnog pritiska, pulsa, načinjenih koraka (pedometar), pa čak i meračem dotoka kiseonika u krvi. Slično je i sa dostupnošću instrumenata koje koristimo u zdravstvu. Ovi uređaji raspolažu sa više MEMS senzora i merača, kojima se registruju različita dešavanja i razni parametri ljudskih pokreta. Za nas su najvažniji i najznačajniji – primera radi - sledeći:

- Merač ubrzanja je takav instrument koji meri ubrzanja svih sila koja na njega deluju. Ove sile koje deluju na instrument sadrže kako gravitacionu silu tako i inercijalne sile koje se javljaju pri korišćenju instrumenta. Instrumenti Shimmer su opremljeni aksijalnim meračima ubrzanja sa tri osovine (triaksijalni), stoga ubrzanje mereno ovim instrumentom sadrži u sebi tri elementa u svakoj od (X, Y i Z) osovine.
- Žiroskopima za merenje brzine možemo izmeriti čak i ugaonu brzinu ljudskog tela. Instrumenti Shimmer su snabdeveni triaksijalnim (sa tri osovine) žiroskopima, koji mere ugaono ubrzanje u pravcu sve tri osovine.
- Termometar senzor koji meri temperaturu jednog segmenta ljudskog tela, pa se nakon toga može izvršiti analiza utvrđenih promena u vremenskom intervalu.

3.3 Trgovinsko dostupni MEMS senzori

Postoji više uređaja u trgovinskom prometu koji služe izvršenju sličnih zadataka. Ovi su instrumenti veoma slični kako po korišćenim i upotrebljenim i ugrađenim sensorima, tako i po načinima merenja. Razlika između ovih uređaja je u dimenzijama, u težini, u načinu upotrebe i u ceni. Prema tome upoređiću tri različita uređaja, i od tih tri će biti izabran jedan, koji najviše odgovara našem istraživanju.

3.3.1 DigiTrainer

Proizvođač: Polaritas Ltd. (Prema [34])

Sredstvo se može fiksirati uz pomoć stopala, stoga je pogodan kao pokazivač u realnom vremenu, odnosno mereni trening i određene računate parametre osim na ekranu/displeju samog instrumenta/uređaja pored osobe koja vrši rehabilitaciju na jednom laptopu možemo pratiti i uz pomoć softvera TechniqueStudio.



Slika 20. DigiTrainer [35]

Pokreti se mere troosovinskim senzorom ubrzanja, brzinu GPS-om osveženim sa 10 Hz-a, uz čiju pomoć softver je u stanju da iscrta na Google-mapi i predenu stazu. Instrument je, uz to i osposobljen za merenje srčanog ritma uz pomoć steznika na grudima. Komunikacija u realnom vremenu se vrši uz pomoć Bluetooth modula.

Fiksirani instrument je sposoban u realnom vremenu beležiti aktuelni broj udaraca, brzinu i srčani ritam/ritam srca. Softver na računaru je istovremeno sposoban prikazati promene ovih parametara u vremenu, kao i sličnosti kriva merenih na levoj i desnoj ruci.

Merenje u realnom vremenu nije bezuslovno korisno, naime, praćenje displeja od strane osobe koja vrši rehabilitaciju može biti smetnja u koncentraciji ili u ujednačenom vežbanju. Nadalje, signalizirani parametri često i ne pomažu u radu, pošto tehničku analizu i tako vrši lekar specijalista naknadno. Pošto je ovaj instrument razvijen uglavnom za kajakaški sport, deo na stopalama je više sredstvo koje se fiksira u kajaku, stoga se ne može najsigurnije i najlakše fiksirati na ekstremitetima pacijenta. Ni samu naknadnu analizu podataka dobijenih od softvera nije moguće lako izvršiti, stoga ovaj instrument nije u potpunosti zadovoljio naša očekivanja.

3.3.2 Minimax S4

Proizvođač: Catapult (Prema [36])

Sredstvo australske proizvodnje osim senzora ubrzanja koristi i troosovinski žiroskop za merenje okreta kao i mahnometar za definisanje pravaca. Sredstvo, slično prethodnom, merenje brzine vrši sa GPS-om od 10Hz-a (stoga je za ispitivanje brzine unutar jednog udarca takođe nepodesan), a ritam srca meri uz pomoć pojasa na grudima.



Slika 21. Minimax S4 [37]

Ovo sredstvo je rezultate merenja snimana sa 100 Hz-a u stanju dostaviti do kompjutera ili pametnog telefona u realnom vremenu, gde se softverski pojavljuju vremenski definisani signali po uobičajenim parametrima. Cena mu je grubo o tri hiljade evra, što se u poređenju sa prethodnim instrumentom smatra skupim.

3.4 Izabrani uređaj - Shimmer

Zbog izbegavanja opterećenje pacijentovih pokreta potrebno je da medicinski uređaji budu malih dimenzija. Da bi ispoštovali ovaj zahtev odabrano je hardversko rešenje SHIMMER. Pored malih dimenzija uređaja ova platforma ima i prihvatljiv vek baterije i niz drugih pogodnosti koje će sve biti predstavljene. Na slici 22. prikazan je tipski nosač senzora za primene u zdravstvu.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 22. Tipski nosač senzora platforme Shimmer3 [38]

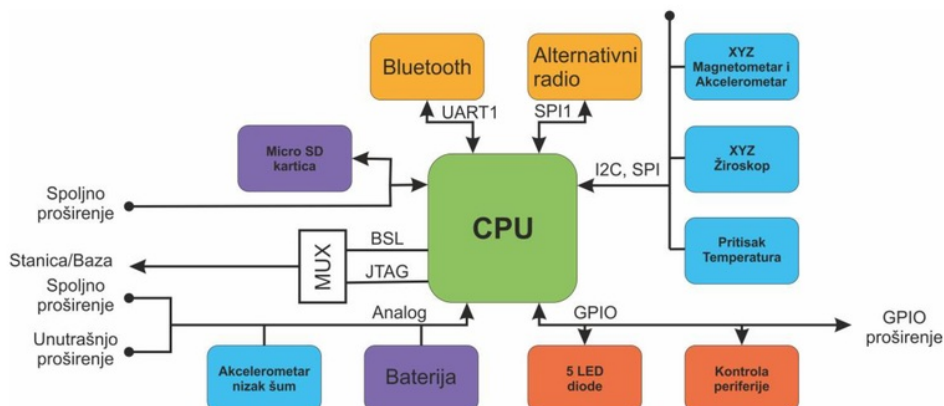
Sa jedne tačke gledišta male dimenzije i mala potrošnja su pozitivne karakteristike a sa druge uslovljavaju da uređaj ima ograničenu procesorsku snagu i nisku brzinu prenosa podataka. Zbog ovih ograničenja softver mora biti pažljivo osmišljen i veliki je izazov za programere.

Sledeća bitna činjenica u radu medicinskih senzorskih čvorova je velika fluktuacija u potrošnji u toku rada uređaja. U zavisnosti od stanja pacijenta, odnosno prikupljenih podataka, senzorski čvor će imati manju ili veću potrebu za obradom signala i komunikacijom. Na primer ako senzor ima ulogu da višestruko rutira pakete podataka drugih senzora i zajedno sa prenosom svojih podataka i imajući u vidu da se topologija mreže menja zbog pokretljivosti senzorskih čvorova može izazvati nepredvidive iznose potrošnje na koje aplikacija mora biti spremna.

3.4.1 Opis hardvera

Centralna procesorska jedinica (CPU) je mikrokontroler TI MSP430F5437A male snage. Ima ugrađen 16-kanalni 12-bitni analogno digitalni konverter čija je uloga da prihvati podatke dobijene sa analognih senzora. Procesor radi na 24MHz, raspolaže sa 16kB RAM interne memorije i 256kB fleš memorije. Na matičnoj ploči postoji konektor za microSD karticu koja služi za prenos podataka, a prenos se može ostvariti i bežično preko Bluetooth veze. Postoji mogućnost nadogradnje radio veze. Ukupna potrošnja uređaja je 60mW dok je aktivan a u neaktivnom režimu potrošnja opada na nekoliko mikro vati, u zavisnosti ciklusa rada aplikacije.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 23. Struktura Shimmer uređaja

Na kućištu uređaja se nalazi prekidač za uključenje ili isključenje i taster čija funkcija se programski definiše. Takođe, ima 5 LED dioda čijim svetlima se signalizira radni režim uređaja.

Senzori SHIMMER platforme su opremljeni sa 3,7V 450mAh litijumskim dopunljivim baterijama. Preduzete su zaštitne mere od obrnutog polariteta, ima prikaz napunjenosti baterije i indikator nepravilnog napona na bateriji.

Prekidač sa bočne strane uređaja se koristi za uključenje/isključenje uređaja. Meko isključenje je predviđeno za bluetooth modul, temperaturno kompenzovan kristal oscilator, spoljašnji radio modul i mikroSD karticu. Ostali moduli imaju integrisanu funkciju isključenja.

Regulator na matičnoj ploči uređaja može obezbediti 100mA neprekidno i preopterećenja dok se ne dostigne termička zaštita. Spoljašnji moduli moraju biti strujno ograničeni ili da imaju sopstveno napajanje. Dostizanje potrošnje od 100mA je moguće, ali se ne preporučuje.

Krajnja mogućnost uređaja je praćenje kretanja do 14 dana sa baterijom od 450mAh i uz povremenu radio komunikaciju. Ovo vreme još zavisi od toga kojim senzorima je dozvoljen rad i od frekvencije uzorkovanja. Vek baterije tokom vremena slabi u zavisnosti od broja realizovanih ciklusa punjenja/praznjenja.

SHIMER aplikacije mogu obezbediti sirova i kalibrisana merenja napona na bateriji. Jednačine pokazuju kako se sirova merenja napona na bateriji transformišu u kalibrisana merenja i kako se dobija stvarna vrednost napona na bateriji u voltima.

$$\text{kalibrisano merenje} = (\text{sirovo merenje} - \text{pomeraj}) \cdot \left(\frac{1}{4095} \right) \cdot \left(\frac{V_{ref}}{A} \right)$$

gde je $pomeraj=0$, $V_{ref}=3$, $A=1$

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

$$\text{napon baterije} = \text{kalibrisano merenje} \cdot 2$$

Da bi se procenio preostali kapacitet baterije može se koristiti tabela koju je dao proizvođač. Zavisnost procenta napunjenosti baterije od napona na bateriji dat je u Tabeli 2[38]. Potrebno je napomenuti da procenjeni preostali kapacitet baterije zavisi od broja ciklusa punjenja/pražnjenja baterije. U najgorem slučaju kapacitet je 75% od nazivne vrednosti nakon 300 ciklusa.

Preostali kapacitet	Napon	Preostali kapacitet	Napon
0.0%	3.2	53.1%	3.8034
5.9%	3.627	57.0%	3.8106
9.8%	3.645	61.0%	3.8394
13.8%	3.663	64.9%	3.861
17.7%	3.681	68.9%	3.8826
21.6%	3.699	72.8%	3.9078
25.6%	3.717	76.7%	3.933
29.5%	3.7314	80.7%	3.969
33.4%	3.735	84.6%	4.0086
37.4%	3.7386	88.5%	4.041
41.3%	3.7566	92.5%	4.0734
45.2%	3.771	96.4%	4.113
49.2%	3.789	100.0%	4.167

Tabela 2: Zavisnost procenta napunjenosti baterije od napona na bateriji

3.4.2 Bluetooth (IEEE 802.15.1)

Bluetooth je bežični komunikacioni protokol koji je karakterističan po niskoj ceni, maloj potrošnji (mali domet) i stabilnim vezama. Postavio ga je „Ericsson“ 1994-te godine sa ciljem da zameni tradicionalne kompjuterske kablove. Radi na frekvencijama 2,4GHz sa dometom sa više klasa (10m ili 100m u zavisnosti od upotrebljene snage). Prenos podataka se može realizovati brzinama od 3Mb/s.

SHIMMER platforma koristi Bluetooth modul klase 2 (domet 10m) proizvođača “Roving networks” sa ugrađenom antenom. Modul je povezan sa procesorom preko USART1 serijskog porta. Ovde korišćeni Bluetooth protokol ima 79 kanala sa širinom kanala od 1MHz.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

Uređaji povezani u bežičnu mrežu pomoću bluetooth protokola mogu da imaju ulogu mastera koja omogućuje da komunicira sa 7 drugih uređaja koji imaju podređenu ulogu. Ovakav deo mreže od 8 uređaja se naziva pikomreža (eng. pikonet). Uređaji mogu da menjaju ulogu u mreži u bilo kom trenutku. Prenos podataka u mreži se odvija između master uređaja i nekog podređenog uređaja.

Bluetooth protokol omogućava spajanje više pikomreža u jednu i tada neki uređaj ima master ulogu u nekoj pikomreži a podređenu ulogu u nekoj drugoj.

Uređaji povezani u bluetooth WSN mogu biti u stanju uspostavljene konekcije ili u stanju pripravnosti. U slučaju da nema potrebe za komunikacijom, uređaj se prebacuje u stanje pripravnosti. Stanje konekcije ima sledeća podstanja:

- Aktivan – kada obavlja prenos podataka,
- Osluškiivanje – prati zahteve iz pikomreže na sporijem nivou,
- Čekanje – master uređaj stavlja podređeni uređaj u stanje čekanja, i tada ne vrši nikakvu aktivnost,
- Parkiranje – master uređaj stavlja podređeni uređaj u stanje parkiranja i tada uređaj ostaje bez mrežne adrese. Na ovaj način se pikomreža može proširiti do 255 uređaja.

U početnom trenutku svi uređaji u bluetooth WSN su u stanju pripravnosti, kada neki uređaj prepozna drugog, prvi uzima master ulogu i uspostavlja se konekcija. Master uređaj šalje upinu komandu ako adresa drugog uređaja nije poznata. Nakon što sazna adresu šalje izvršnu komandu kojom podređeni uređaj prevodi u neko od stanja konekcije. Svaki uređaj može postaviti upitnu komandu i svaki može da odgovara na te upite. Ali se konekcija ostvaruje samo sa uparenim uređajima. Za postupak uparivanja uređaji moraju da imaju zajedničku šifru koju unose korisnici oba uređaja. Uparivanje se može poništiti u bilo kom trenutku i od strane bilo kog uparenog uređaja.

U poglavlju 1.1 su već navedene neke mogućnosti primene u sistemima zdravstvene zaštite, međutim, sada će se konkretizovati na zdravstvene ustanove tipa opšta bolnica. Na teritoriji Republike Srbije ima 30 opštih bolnica i još više ostalih zdravstvenih ustanova na kojima se ovde opisani sistem može primeniti uz male izmene. U poglavlju 4 će biti opisano kako se sistem fizički realizuje, sada je potrebno osmisлити koje podatke treba prikupljati sa senzora i kako ih obraditi. Taj zadatak je postavljen pred programska rešenja koja će biti implementirana na baznoj stanici.

Raspoloživi programi su podeljeni u dve grupe:

- Standardna programska rešenja koja pokrivaju osnovne zahteve korisnika,
- Razvojni alati koji omogućavaju da se programiranjem sopstvene aplikacije reše neki posebni zahtevi.

3.1 Standardna programska rešenja

Većina standardnih programskih rešenja kreirana je od strane proizvođača senzorskog čvora Shimmer. Instalacioni fajlovi se mogu preuzeti sa zvaničnog sajta kompanije.

3.1.1 Program za usmeravanje podataka na mikroSD karticu

„Consensys“ je integrisano programsko rešenje za rukovanje Shimmer3 uređajem. Detaljne funkcije ovog programa će biti opisane u istraživanju. Ova aplikacija ima 4 grupe funkcija:

- Konfigurisanje Shimmer3 uređaja,
- Sinhronizacija rada više uređaja,
- Upravljanje podacima i
- Upravljanje protokom podataka.

Consensys programsko rešenje ima dve aplikacije ConsensysBASIC i ConsensysPRO.

ConsensysBASIC je besplatna aplikacija koja nudi:

- Rukovanje jednim Shimmer3 uređajem,
- Osnovna vizuelizacija podataka koji teku preko Bluetooth-a od senzora do bazne stanice,
- Snimanje podataka koji teku preko Bluetooth-a od senzora do bazne stanice u bazu podataka,
- Unošenje podataka koji su snimljeni na mikroSD karticu u bazu podataka.
- Izvoz podataka iz baze podataka zbog obrade u nekoj trećoj aplikaciji.

ConsensysPRO nije besplatna aplikacija, a nudi više od basic verzije:

- Sve funkcije „ConsensysBASIC“ aplikacije,
- Rukovanje sa više Shimmer3 uređaja,
- Hronologija događaja o prikupljanju podataka,
- Algoritmi za obradu ²⁵ podataka u realnom vremenu i van realnog vremena,

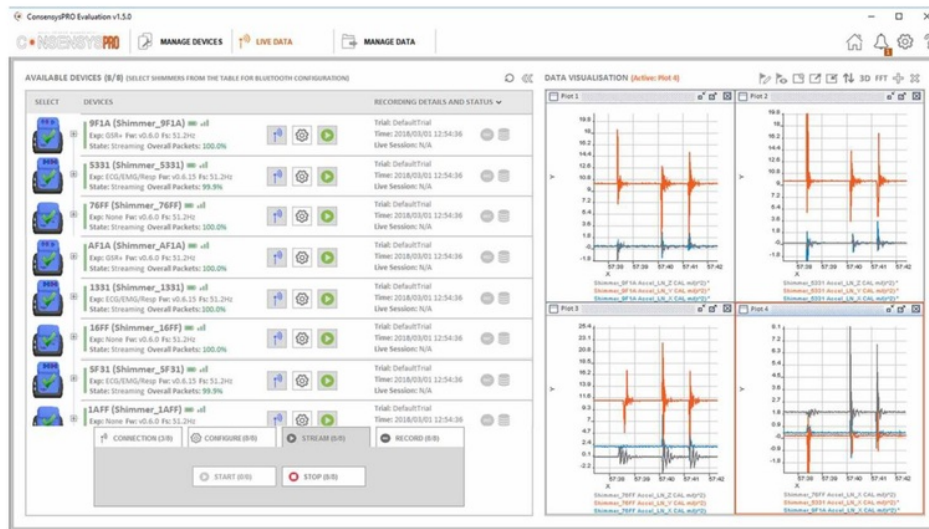
1 PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- Napredna vizuelizacija podataka koji teku preko Bluetooth-a od senzora do bazne stanice,
- Dodatni opisi podataka za buduće analize.

Ključna karakteristika je mogućnost konfigurisanja više Shimmer3 uređaja istovremeno. Kada se uređaj jednom konfiguriše, ta konfiguracije se automatski čuva. Programsko rešenje sadrži bazu podataka koja omogućava korisnicima da lako i upravljaju i organizuju podatke sa svih svojih Shimmer3 uređaja.

3.1.2 Program za usmeravanje podataka preko Bluetooth-a

„ConsensysPRO“ omogućava korisnicima da prikazuju i snimaju podatke pristigle preko Bluetooth-a. Ovo programsko rešenje je kreirano za rad na Windows operativnom sistemu. Na slici 24 je prikazan izgled aplikacije

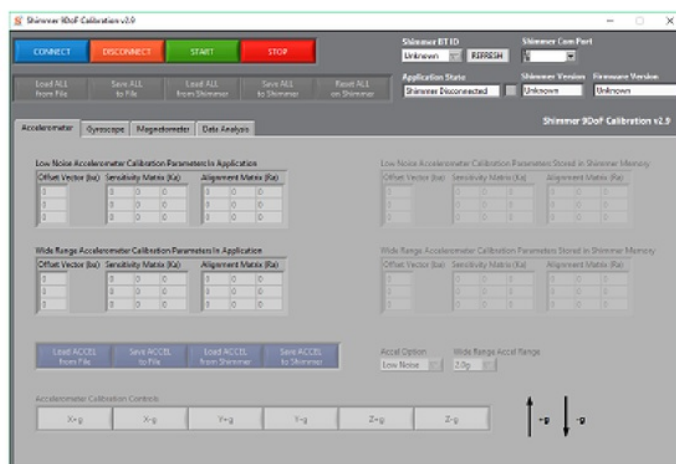


Slika 24. Aplikacija „ConsensysPRO“

3.1.2 Program za kalibraciju senzora

“9DoF Calibration” aplikacija obezbeđuje automatizovanu proceduru za izračunavanje parametara kalibracije za Shimmer3 uređaj. Kalibracioni parametri su potrebni za troosni akcelerometar, žiroskop i magnetometar i čuvaju se u Shimmer3 memoriji. Na slici je prikazan izgled aplikacije:

1 PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 25. Aplikacija “9DoF Calibration” [39]

3.2 Razvojni alati

U ovom poglavlju će se ukratko opisati razvojni alati za Shimmer3 programska rešenja nazvana “Shimmer Instrument Drivers” (skr. ID) i “Shimmer Application Programming Interfaces” (skr. API). Ovi alati su praktično biblioteke za programere koje omogućavaju da se poveća mogućnost integracije Shimmer platforme sa standardnim programskim paketima za programere kao što su: C#, LabVIEW, MATLAB i Java/Android.

3.2.1 C#

C# API sadrži izvorni kod koji je osnova za aplikacije koje omogućavaju korisniku da vrši kalibraciju, prikazuje i snima podatke dobijene od Shimmer3 uređaja. Kod je predviđen da bude koristan i funkcionalan sa brojnim parametrima koji se mogu konfigurisati.

3.2.2 LabVIEW

LabVIEW ID je biblioteka koja korisnicima Shimmer2, Shimmer2r, Shimmer3 senzora pomaže da razviju aplikaciju u LabVIEW. Ove biblioteke omogućuju sve pogodnosti koje ima LabVIEW razvojno okruženje i nadograđuje brojne korisničke funkcije specifične za Shimmer platformu.

3.2.3 MATLAB

MATLAB ID biblioteka je objektno orijentisano programsko rešenje za prikupljanje podataka u MATLAB-u. Ove biblioteke omogućuju da podaci teku direktno u MATLAB i pomaže korisnicima Shimmer2, Shimmer2r, Shimmer3 senzora da razviju aplikaciju u MATLAB-u. Programeri mogu koristiti ceo asortiman MATLAB alata uključujući rad sa matricama, grafičko prikazivanje funkcija i ¹⁹dataka, korišćenje gotovih algoritama, kreiranje korisničkog interfejsa i ugrađivanje drugih programskih jezika kao što su : C, C++, Java i Fortran. Kod je obimno komentaran i sadrži brojne primere primene.

3.3 Održavanje sistema

Ukoliko je uređaj duže vreme na pacijentu, potrebno ga je periodično očistiti antiseptičkim sredstvom. Potrebno je napomenuti da kućište SHIMMER uređaja nije vodootporno i ne sme se potapati u sredstvo već čistiti pamučnom tkaninom blago natopljenom sa antiseptičkim sredstvom. Konektori se čiste mekom četkicom. Pored periodičnih, uređaj se mora dezinfikovati i kod prenosa na sledećeg pacijenta. U slučaju da se uređaj biološki kontaminira, proizvođač ne preporučuje sterilizaciju u sopstvenoj režiji, već je to potrebno izvršiti na nekoj SHIMMER-ovoj lokaciji.

3.3.1 Održavanje podataka

U toku eksploatacije opisanog sistema, na baznoj stanici raspolagaće se sa velikom količinom podataka. Za upravljanje podacima potrebno je predvideti bazu podataka, standardne i često korišćene baze podataka kao što su: MicrosoftSQL ili MySQL. Baze podataka omogućavaju vršenje sledećih operacija nad velikim skupom podataka: unos novih podataka, ažuriranje podataka, brisanje nepotrebnih podataka, prikaz podataka i zaštita podataka.

Posebno značajno je formirati bazu podataka sa administrativnim mrežnim podacima. Ovde se misli na podatke o pristupima mreži kao što su: naziv uređaja, vrsta uređaja, vreme pristupanja i podatke o radu mreže: tip, količina i vreme prenosa podataka.

3.3.2 Digitalna foreznička analiza

Činjenica da je mreža sastavljena od senzorskih čvorova koji u hardverskom i softverskom smislu imaju izvesna ograničenja može predstavljati izvor slabosti na spoljašnje upade. Postupak prijavljivanja novog uređaja na WSN zahteva postupak uparivanja pri čemu je potrebno da korisnici uparenih uređaja međusobno znaju pristupne šifre. Pod pretpostavkom da napadač može provaliti šifru i da može

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

simulirati da pristupa preko SHIMMER senzora, njegovo prijavljivanje na mrežu će se registrovati u administratorskoj bazi podataka. Analiza podataka o prijavljenim korisnicima je svakako važan korak u digitalnoj forezničkoj analizi (DF) ali napadač neće biti voljan da ostavi svoj potpis.

Drugi, mnogo važniji način DF analize je prepoznavanje anomalija u radu mreže. Potrebno je napraviti algoritam koji dinamički ustanovljava šta je normalan rad mreže i svako odstupanje od toga smatra kao anomaliju.

Sledeći važan aspekt kako u zaštiti WSN, tako i pri DF analizi je poznavati moguće scenarije napada i na osnovu toga predvideti mere zaštite, odnosno postupke DF analize. Neki mogući načini napada na WSN su dati u tabeli 3.[40]

Napad	Opis
Zagušivanje	Zagušivanje nosioca frekvencije koristeći visokoenergetske signale i sprečavanje komunikacije.
Ometanja	Uzrokovanje fizičkih oštećenja na senzorskom čvoru.
Ponor/Napad crne rupe	Alternativno rutiranje informacija kako bi se saobraćaj usmerio ka kompromitovanom čvoru.
Napad uskraćivanja usluge	Preplavlivanje mreže sa neželjenim saobraćajem kako bi se iscrpili svi resursi mreže što uzrokuje uskraćivanje usluga legitimnom saobraćaju.
Podvala/zavaravanje	Korišćenje lažnog identiteta kako bi se neki senzorski čvor predstavio kao sastavni deo mreže.
Selektivno prosleđivanje	Izostavljanje nekih ili svih paketa podataka koji prolaze kroz lažni čvor.
Sibil napad	Zlonamerni čvor koji se pretvara da je grupa čvorova koji postoje u mreži.
Crvotočine	Stvaranje tunela ili preusmeravanje saobraćaja u mreži koristeći privlačnu putanju uz pomoć dva čvora.
Prisluškivanje	Slušanje poruka koje pripadaju drugima.

Tabela 3: Mogući načini napada na bežične senzorske mreže

4. ISTRAŽIVANJE

4.1 Izgradnja sistema

Sledeći korak je povezati senzorske čvorove i dati im određenu ulogu kako bi senzorska mreža obavljala funkcije u sistemu zdravstvene zaštite. Nakon implementacije senzorskih čvorova u sistem može se analizirati efikasnost bežične senzorske mreže u sistemu zdravstvene zaštite.

Najsloženija konfiguracija senzorske mreže se dobija kod primene na praćenje pokreta i aktivnosti. Pacijent nosi senzore koji mogu izmeriti kretanje udova i mišićnu aktivnost sa ciljem snimanja atletskih performansi ili u cilju rehabilitacije neuromotornih bolesti. Najčešća situacija je da pacijent nosi do osam senzora, po jedan na svakom segmentu udova (podlaktice, nadlaktice, podkolenice, nadkolenice) koji su opremljeni sa MEMS akcelerometrima i žiroskopima. Baza stanica je lični računar u kući pacijenta koji prikuplja podatke sa pokretnih senzora. Analiza podataka se vrši u cilju poboljšanja motoričkih sposobnosti pacijenta (u smislu merenja efekata tretmana).

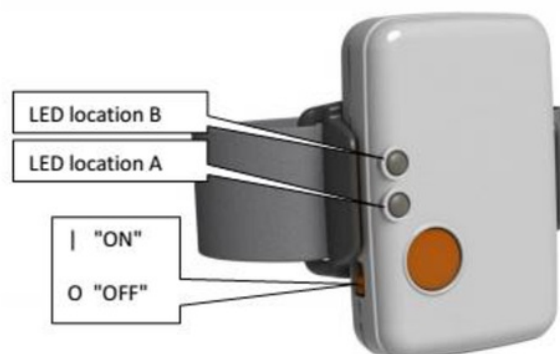
U ovakvim primenama veličina i težina senzora mora biti minimalizovana da bi se izbeglo opterećenje pacijentovih pokreta. Senzori SHIMMER platforme koji su izabrani za analizu i koji su prikazani na slici 23. su dimenzija 51x34x14mm i težine samo 23,6g.

Analiza pokreta zahteva više senzora na pacijentu od kojih svaki meri pokrete sa visokom rezolucijom, senzori obično imaju 6 kanala sa uzorkovanjem na 100Hz (100 puta u sekundi). Prenos ovalike količina podataka nemoguć je u realnom vremenu, pa iz tih razloga senzorski čvor SHIMMER platforme sadrži slot za microSD memorijsku karticu na kojoj je moguće snimiti 2GB podataka, što je dovoljno za mesec dana neprekidnog snimanja podataka.

4.2 Puštanje u rad (prema izvoru [39])

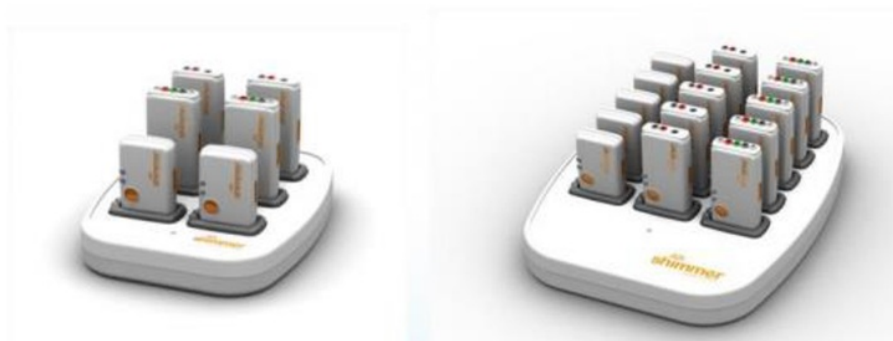
Opremanje novog pacijenta sa senzorskim čvorovima zahteva određenu proceduru. Prvo je potrebno uključiti uređaj prekidačem koji se nalazi na bočnoj strani uređaja. Neke primene zahtevaju povremeno promenu režima rada iz aktivnog u neaktivni, to se radi pritiskom na taster na prednjoj strani uređaja. Položaj prekidača na bočnoj strani i tastera se vide na slici 26.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa



Slika 26. Spoljni izgled senzora Shimmer3 [39]

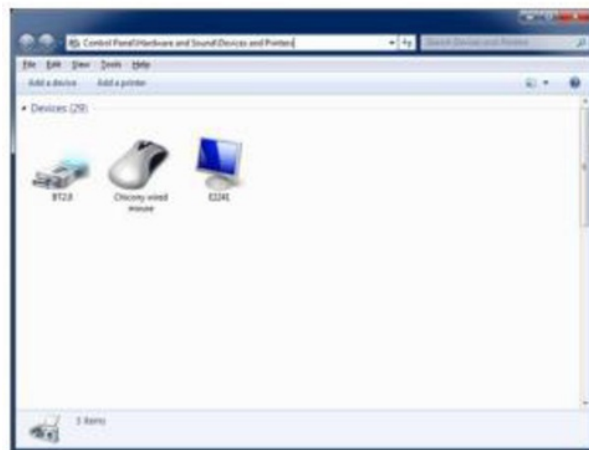
Sledeći korak je punjenje baterije uređaja. Ima više načina punjenja: pojedinačno kablom priključiti na punjač ili sa bazama za istovremeno punjenje više uređaja. Na slici 27 je dat izgled baza za punjenje više uređaja.



Slika 27. Baze za punjenje 6 i 15 uređaja

Da bi se konfigurisala mreža potrebno je Bluetooth jedinice uređaja sa Bluetooth jedinicom bazne stanice. Ovaj postupak se naziva uparivanje. Ako je operativni sistem na baznoj stanici "Windows", potrebno je otvoriti dijalog okvir "Control Panel → Hardware and Sound → Devices and Printers". Pojaviće se dijalog okvir kao na slici 28.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA



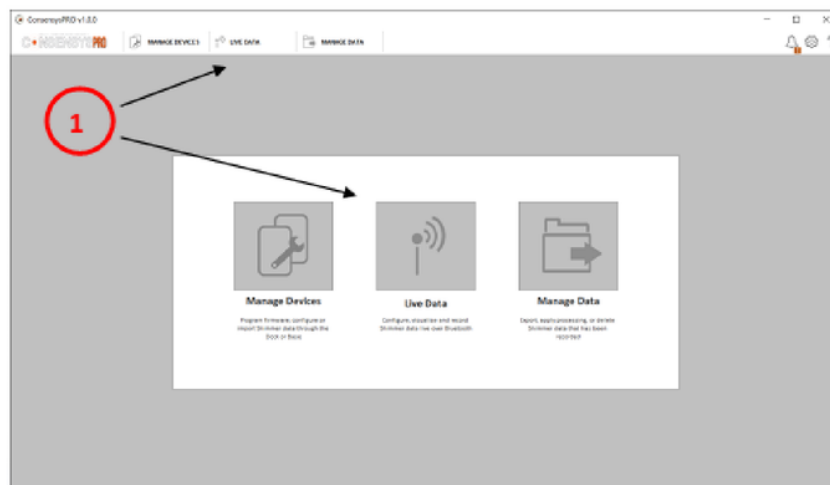
Slika 28. Dijalog okvir "Devices and Printers" [39]

Zatim kliknuti na dugme "Add a device" koje se nalazi u gornjem levom uglu dijaloga nakon čega operativni sistem traži raspoložive uređaje i daje spisak pronađenih uređaja u okviru dijaloga. Da bi se izvršilo uparivanje potrebno se selektovati pronađeni uređaj i pritisnuti "Enter". Uređaj je u dijalog okviru označen kao "RN42-xxxx" ili "Shimmer3-xxxx" u zavisnosti od verzije operativnog sistema, gde je xxxx brojna oznaka koja se nalazi na nalepnici uređaja.

Provera uspešnosti uparivanja se može izvršiti ponovnim otvaranjem dijalog okvira "Devices and Printers", samo što će sada u okviru biti prikazan i naš upareni uređaj.

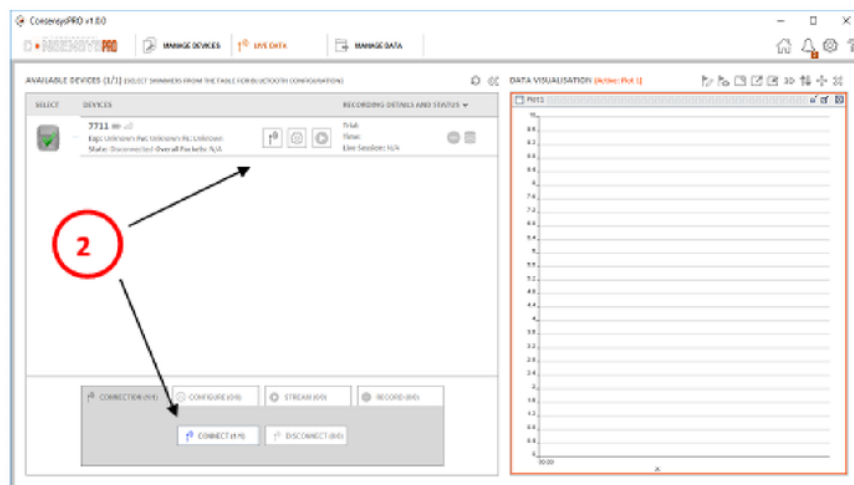
Sledeće je potrebno podesiti parametre protoka podataka između senzora i bazne stanice. Pokretanjem programa "ConsensysPRO" na baznoj stanici može se konfigurisati više Shimmer3 senzora i protok podataka. Izgled programskog prozora je dat na slici 29.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 29. Izgled programa za konfigurisanje [39]

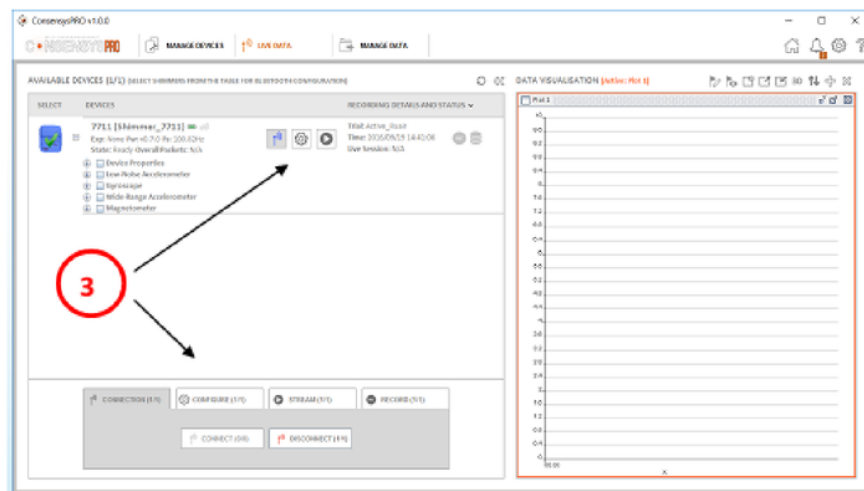
Pritiskom na “Connect” u slučaju uspešnog povezivanja sa senzorom, na senzoru će se upaliti plavo svetlo, a na baznoj stanici će se pojaviti sledeći dijalog okvir.



Slika 30. Povezan senzor [39]

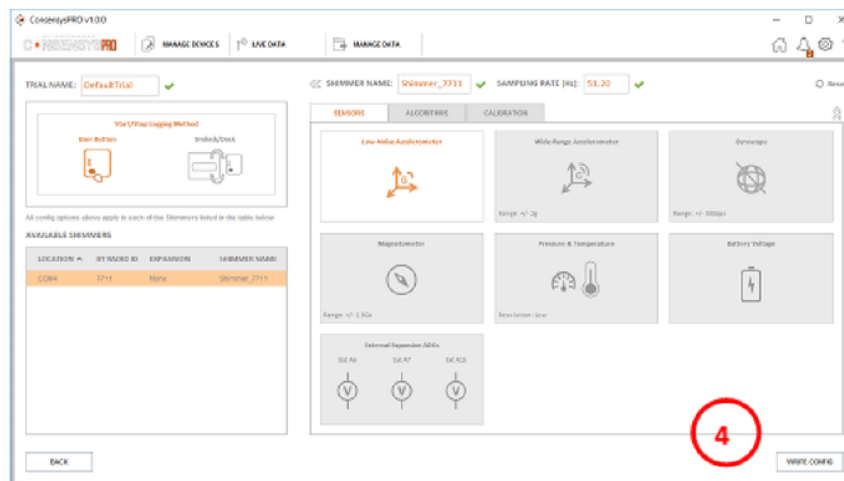
Pritiskom tastera za konfiguraciju pojaviće se dijalog okvir.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA



Slika 31. Dijalog okvir za konfiguraciju. [39]

Ovde se senzoru mogu odobriti ili zabraniti neke funkcije i definisati brzina protoka podataka. Na primer, na sledećoj slici je odobrena funkcija “nizak nivo šuma akcelometru” i definisana brzina uzorkovanja od 51,2 Hz.



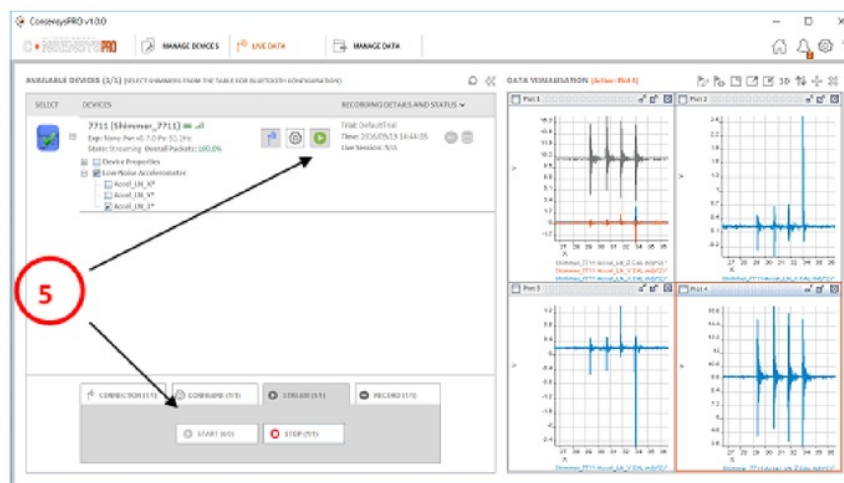
Slika 32. Snimanje konfiguracije [39]

Nakon podešavanja svih željenih parametara, potrebno je aktivirati taster “Write Config” čime se konfiguracija preko Bluetooth-a prebaci na senzor.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPa

Sada se iz aplikacije može pokrenuti prenos podataka pritiskom na taster “Start Streaming”, na senzoru će treptati plavo svetlo a na baznoj stanici će se pojaviti sledeći dijalog okvir.

4.2.1 Prenos podataka u „Windows“ okruženju



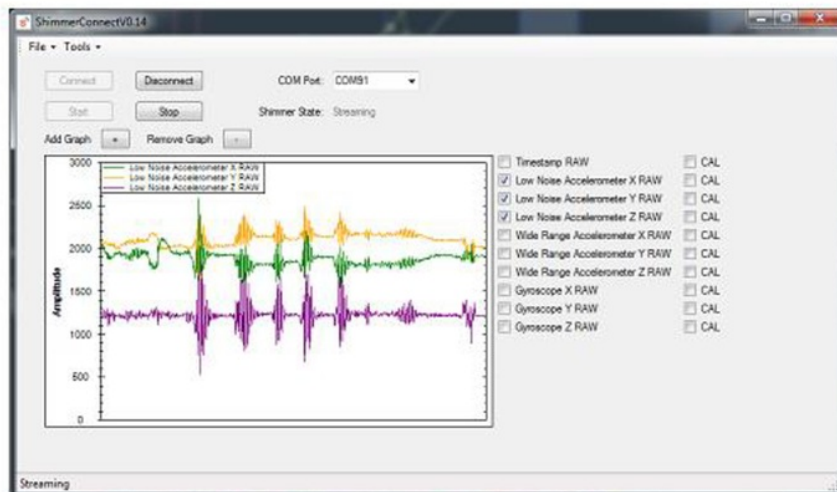
Slika 33. Pokretanje prenosa podataka [39]

Podaci sa senzora se mogu snimati lokalno na mikroSD memorijsku karticu i/ili prenositi na baznu stanicu. Podaci se dalje mogu prenositi kao običan fajl u cilju prezentacije ili obrade.

“Consensys” aplikacija omogućuje korisnicima da prikažu i snime podatke sa SHIMMER uređaja preko bluetooth-a. Ova aplikacija podržava rad samo na Windows operativnom sistemu.

1 PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

4.2.2 Prenos podataka u „Linux“ okruženju



Slika 34. Pokretanje prenosa podataka u Linux okruženju [39]

Podaci sa senzora se mogu snimati lokalno na mikroSD memorijsku karticu i/ili prenositi na baznu stanicu. Podaci se dalje mogu prenositi kao običan fajl u cilju prezentacije ili obrade.

“Shimmer Capture” aplikacija za Linux operativni sistem na rešava sve zahteve koje bi prosečan korisnik postavio pred korisničku aplikaciju na baznoj stanici. To je aplikacija koja se brzo pokreće i dobra je osnova za razvoj naprednijih korisničkih aplikacija. Kod izgleda programskog prozora aplikacije nije se puno vodilo računa o dizajnu, već se težilo ka jednostavnosti korišćenja i stabilnosti rada. Izvorni C# programski kod (detaljnije u poglavlju 3.2.) je dostupan kupcima SHIMMER uređaja.

4.2.3 Prenos podataka na „Android“ mobilne uređaje

SHIMMER platforma omogućuje prenos podataka i prema mobilnim uređajima sa “Android” operativnim sistemom. “ShimmerCapture” aplikacija za Android prenosi podatke na mobilni uređaj i snima u datoteku. Ova aplikacija se brzo pokreće i ima dobre mogućnosti vizualizacije i snimanja podataka.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA



Slika 35. “ShimmerCapture” aplikacija za Android [39]

“Multi Shimmer Sync” aplikacija za Android omogućuje korisniku da konfiguriše više senzora za prenos podataka na mobilni uređaj preko Bluetooth-a i njihovo snimanje u datoteku.



Slika 36. “Multi Shimmer Sync” aplikacija za Android [39]

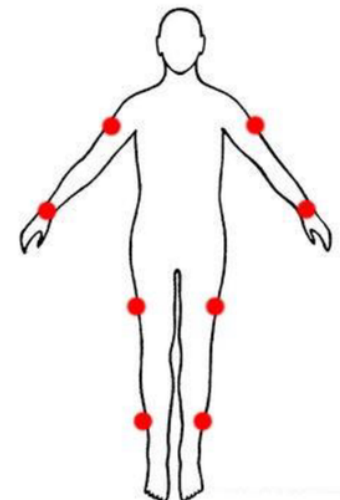
Aplikacija je namenjena korisnicima kojima je potrebno istovremeno snimanje podataka sa više senzora. Korisnik ima mogućnosti da podešava brzinu uzorkovanja, primeti pristigle podatke, sačuva ili učitava postojeću konfiguraciju.

4.3 Realizacija istraživanja

Kao što u ovom radu već izložio, tenis je tako kompleksan sport, koji može biti pogodan za ispitivanje i analizu mišićnih aktivnosti bolesnika koji se oporavljaju od neuromotoričkih oboljenja, a uz pomoć lekara i za izradu takvog plana treninga pomoću kojeg će se mnogo brže i efikasnije oporaviti, nego uz pomoć do sada korišćenih metoda.

4.3.1 Smeštanje uređaja na pacijentu

Za potpunu medicinsku analizu pacijenta treba smestiti osam uređaja, i to po jedno na svaki segment ekstremiteta (slika 37.). Znači na gornji i donji deo ruku, na butine i na listove nogu, da bi dobili potpunu i sveobuhvatnu sliku o nastalim promenama i razvoju u telu pacijenta. Pošto ovaj rad analizira rezultate istraživanja sa aspekta informatike, a ne iz ugla medicine, stoga se neće analizirati merenja na svih osam senzora, već samo onog na zglobu ruke koja drži reket. Već analizom samo ovog jednog uređaja možemo dobiti jasnu sliku o promenama pacijentovih udaraca na početku i na kraju terapije. Ukoliko je pacijent dešnjak, onda će se uređaj nalaziti na zglobu desne ruke, i obratno: ako je levak, onda na levoj ruci.



Slika 37. Razmeštaj senzora

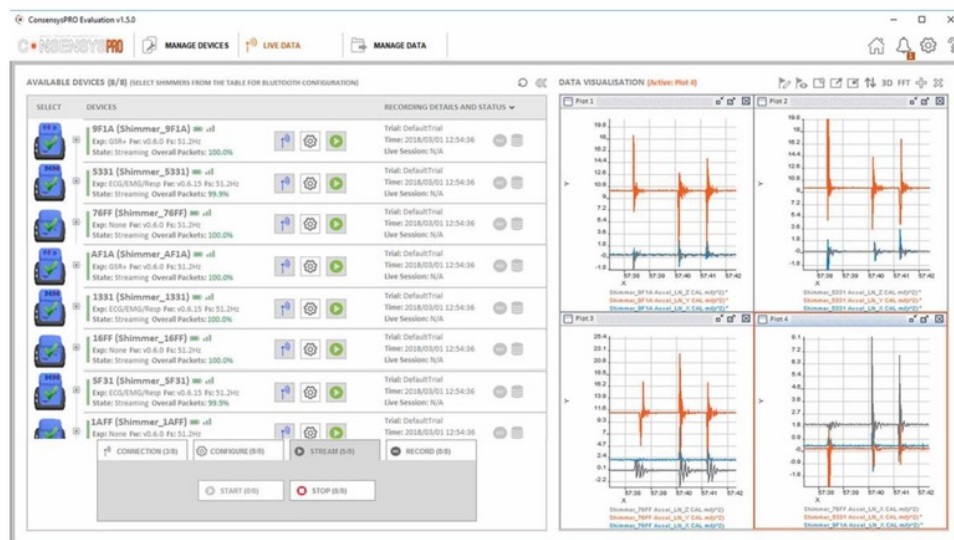
Da bi se istraživanje obavilo legalno i u zakonskim okvirima, učesnici u istraživanju su se prijavljivali dobrovoljno, tako su i učestvovali u njemu. Nije se podrazumevalo da učesnici nauče igrati tenis, zato su se javljale osobe koje već poznaju ovaj sport, ili neku veoma sličnu sportsku granu, kao što je recimo stoni tenis

1 PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

ili skvoš. Istraživanje je potpuno anonimno, svaki učesnik je dobio redni broj, i u procesu istraživanja sam ih identifikovao po tom rednom broju.

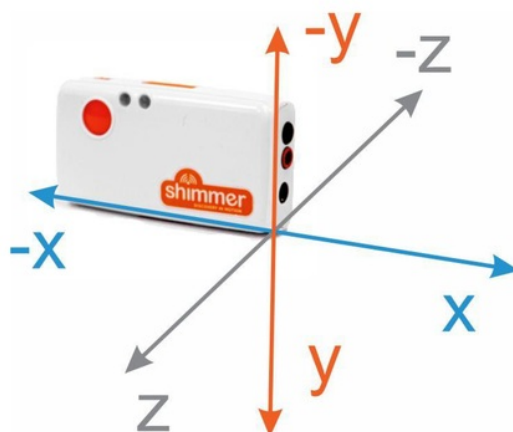
4.3.2 Povezivanje senzora sa programom Consensys

Za obradu podataka prikupljenih Shimmer uređajima koristio sam program nazvan Consensys samog proizvođača navedenih uređaja, čiji je rad i rukovanje vrlo jednostavno (slika 38.).



Slika 38. Izgled Consensys programa

U delu programa sa leve strane se nalaze uređaji koji su povezani sa programom i sa kojih možemo pročitati više podataka, kao što je, na primer jačina signala, nivo popunjenosti akumulatora, uređaje možemo aktivirati/deaktivirati, itd. U delu programa na desnoj strani vidimo signale koji stižu sa aktivnih uređaja u vremenskim intervalima, koji su prikazani grafički u jednom dijagramu. Od ovih dijagrama za analizu podataka koristimo dijagram merača ubrzanja od kojih na uspravnoj osovini nalazimo meru ubrzanja ($\frac{m}{s^2}$), dok se sa vodoravne osovine može pročitati vreme ispitivanja (s). Svaki Shimmer uređaj je snabdeven triaksijalnim (sa tri osovine) meračem ubrzanja (slika 39.), tako da ubrzanje mereno ovim uređajima ima tri sastavna dela u svakoj od osovine X, Y i Z. Sa dijagrama se, znači može pročitati sva tri osovinska pravca kao i ubrzanje pokreta u sva tri osovinska pravca. Ovi osovinski pravci su već definisani u samom uređaju.



Slika 39. Osovinski pravci Shimmer uređaja

4.3.3 Određivanje koordinatnog sistema kod reketa

Osovine Shimmer uređaja smeštenih na pacijentima usmerene su u različite pravce, pošto jedan naspram drugog nisu paralelno i uspravno položeni na osobama koji učestvuju u istraživanju. Ova tvrdnja u ovom slučaju nije bitna, pošto ne ispitujemo pravolinijske pokrete. Kao što je napred već rečeno, ispitivao sam ubrzanje na uređaju koji je smešten na zglobu pacijenta, a taj koordinatni sistem se skoro sasvim poklapa sa koordinatnim sistemom reketa koji pacijent drži u ruci. (Slika 40.) Možemo, u stvari reći, da se pokreti i ubrzanje reketa u ruci pacijenta istovetni sa pokretima i ubrzanjem uređaja na njegovom zglobu, stoga vrednosti koje smo dobili pomoću uređaja ne treba konvertirati u drugu formu, već se mogu u potpunosti upotrebiti.

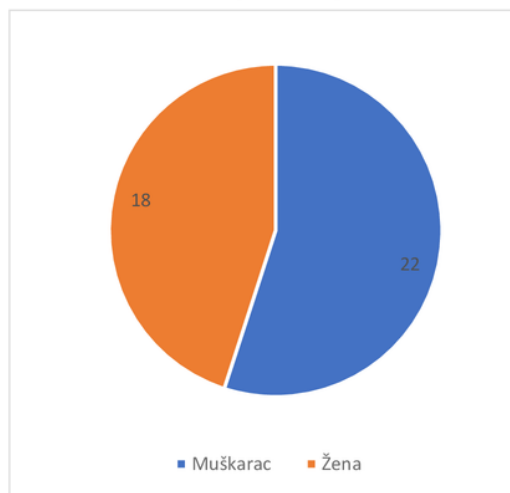


Slika 40. Koordinatni sistemi reketa kojeg pacijent drži u ruci

5. REZULTAT ISTRAŽIVANJA

5.1 Podela učesnika u terapiji po polovima

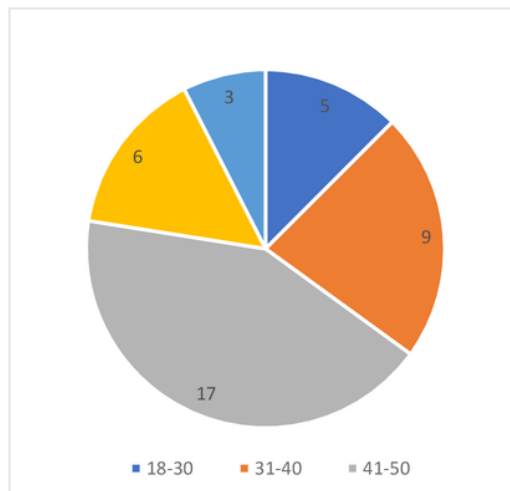
U samom istraživanju i u pripadajućoj terapiji učestvovalo je 40 osoba (slika 41.), gde je polna struktura učesnika bila približno ista. Sve osobe koje su učestvovalе u terapiji imale su validne rezultate koje su mogle biti uračunate u rezultate.



Slika 41. Podela učesnika u terapiji po polovima

Gledajući starosnu strukturu, odnosno životnu dob učesnika (slika 42.) dominantnije su osobe srednje životne dobi: oni su u najvećoj meri bili voljni učestvovati na dobrovoljnoj osnovi u radu. Zanimljivo je da su mladi između 18-30 godina života u veoma malom broju bili voljni učestvovati u istraživanju, iako bi pomislili da je upravo ova generacija najviše osposobljena sa informatičkog aspekta i najprijemčivija za inovacije. Prepreku predstavlja faktor što iz ove generacije manje osoba se bavi sportom kao što je tenis.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP

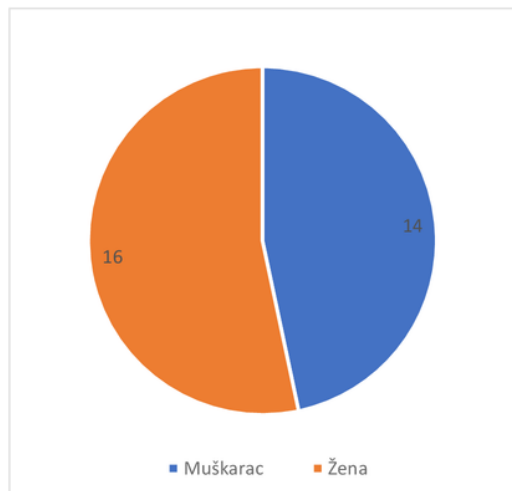


Slika 42. Podela učesnika po njihovoj životnoj dobi

5.2 Podela učesnika u kontrolnoj grupi po polvima

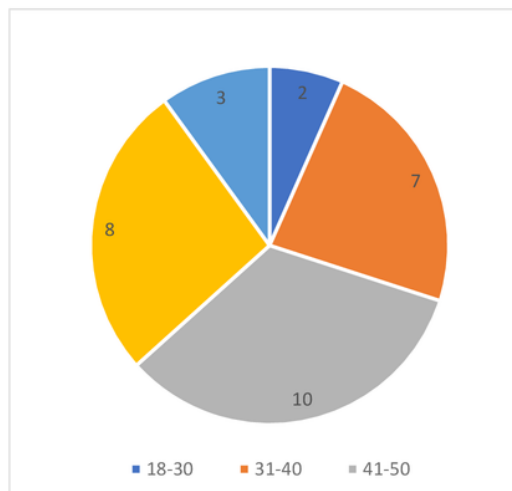
Da bi istraživanje moglo pružiti realnu sliku i potvrdilo našu hipotezu , potrebna je bila i jedna kontrolna grupa sačinjena od osoba koja nisu ovom formom pokreta radila terapiju, nego na klasičan način uz pomoć fizioterapeuta. U kontrolnoj grupi je bilo 30 učesnika, a njihova podela po polnoj strukturi je bila približno ista (slika 43), i ovde su rezultati svih osoba bila validna i upotrebljiva.

¹
PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 43. Polna struktura učesnika kontrolne grupe

Analizirajući životnu dob učesnika kontrolne grupe u odnosu sa terapijskom grupom (slika 44) uočava se razlika, naime u manjoj meri su učestvovali osobe srednje životne dobi i u većoj meri oni između 31-40 godina kao i osobe koji imaju između 51-60 godina. Ova se razlika može zanemariti, pošto nismo istraživali razliku u nivou razvoja po generacijama, već ukupno, znači upoređivali smo procenat u nivoima razvoja obeju grupa.



Slika 44. Podela članova kontrolne grupe po životnoj dobi

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPRA

Vreme provedeno u terapiji učesnika u istraživanju je bilo različito, u zavisnosti od vrste i težine povrede, što je, naravno odredio lekar. Vremensko trajanje terapijskog perioda ne utiče na efikasnost istraživanja, pošto ispitujemo dimenzije razvoja od početka do kraja terapije, a ne njenu dužinu trajanja.

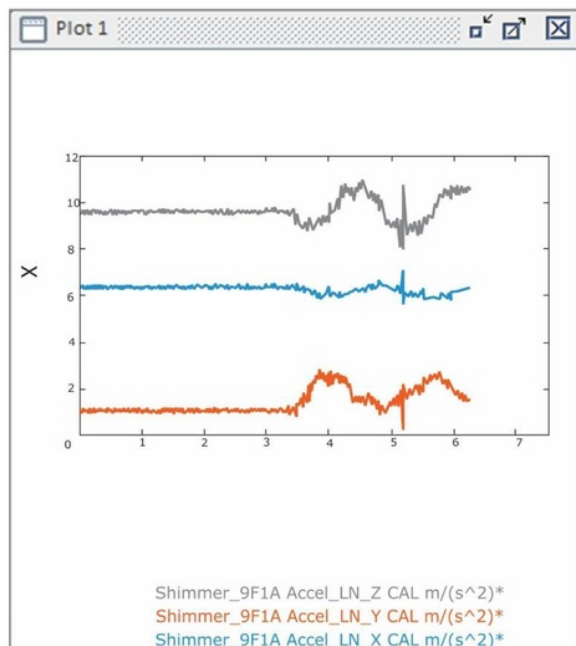
5.3 Analiza pokreta pacijenata koji učestvuju u terapiji

U interesu efikasnosti istraživanja prvo ću opisati rezultate dve pacijenata pre početka terapije i na kraju terapijskog procesa. Prva osoba koja je terapiju vršila pomoću formi teniskih pokreta je ta osoba koja je u istraživanju dobila redni broj 35. To je 52-godišnji muškarac, sa prosečnom telesnom građom, telesnom i težinom i povredom, odnosno prelomom ruke. Na početku terapije pacijentima smo uređaje montirali na zglobove leve ili desne ruke, u zavisnosti od toga da li su desnjaci ili levaci, odnosno u kojoj ruci drže reket. Pošto smo pričvrstili/smestili uređaje, uz stručnu pomoć lekara specijaliste izvršili smo razna merenja u pogleda pokretanja reketa uz osovine X, Y i Z. Prvo merenje je izvršeno u vezi pokretanja reketa oko osovine X, naime uočio sam da pacijenti tokom koncentracije često okreću reket u ruci.

5.3.1 Okretanje reketa oko ose

Tokom analize merenja bilo je uočljivo na dijagramu merača ubrzanja kako je vrednost okretanja oko date osovine (osovina X) približan nuli, pomeranja u pravcu druge dve osovine ocrtavaju vrednosti blizu sinusove i kosinusove krive. (slika 45)

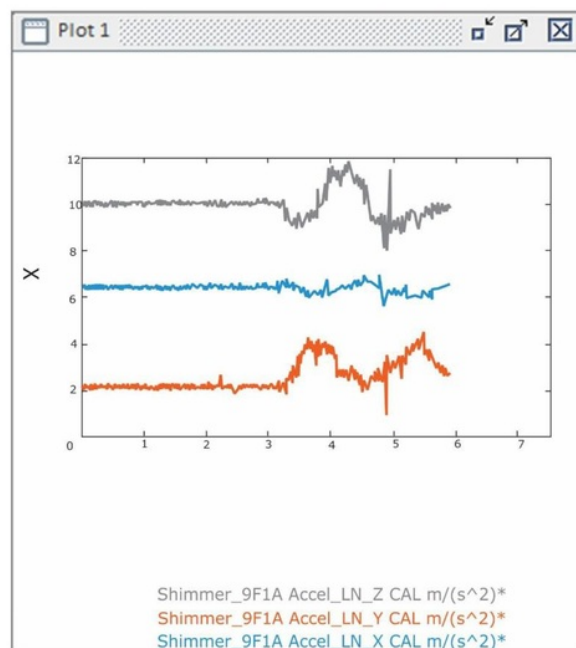
PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA



Slika 45. Okretanje reketa oko osovine X

Uopšte uzevši na kraju rehabilitacionog procesa sam konstatovao da se broj okretanja reketa na datu osovinu X jako malo menjao, ostao je skoro nepromenjen, praktično blizu nule dok se u pravcu druge dve osovine brzina, odnosno ubrzanje značajno promenilo. Došao sam do zaključka, da su pacijenti brže okretali reket u ruci nego na početku rehabilitacije. To je tačno tako i u slučaju pacijenta sa rednim brojem 35 (slika 46.) Dokazana je, znači moja pretpostavka i hipoteza da su rehabilitacije uspešne. Oblik krive u pravcu Y i Z osovine se nije menjao, i sada su ocrtavane približno sinus i kosinus krive.

1 PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA



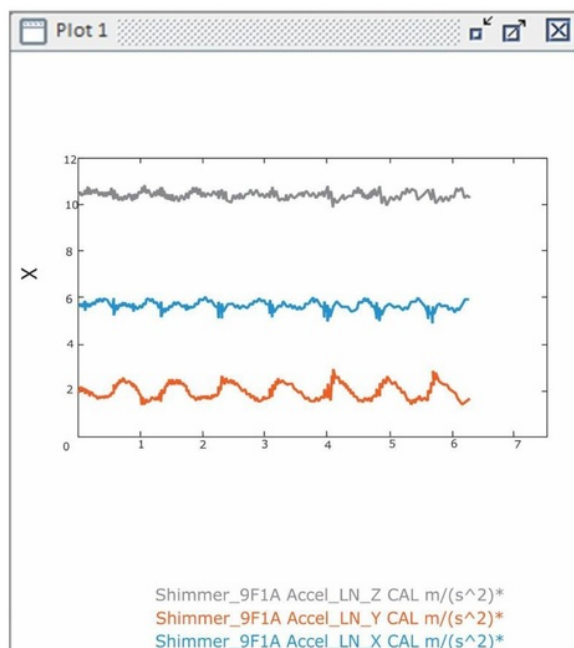
Slika 46: Okretanje reketa oko osovine X na kraju rehabilitacije

Da bi rezultat istraživanja sigurno bilo validno i odgovarajući, u nastavku smo za ispitivanje odabrali dva druga pokreta koja su pacijenti koristili, a to su ritern i serva.

5.3.2 Ritern udarac

Pri pokretu za ritern udarac može se uočiti, kako je na početku rehabilitacije pomeranje merača ubrzanja u pravcu tri osovine dosta malog obima (slika 47.) u slučaju učesnika u ispitivanju. Tokom vršenja ovog okreta može se videti više istovetnih, ponavljanih pokreta koji su iste dužine i brzine ako ih uporedimo.

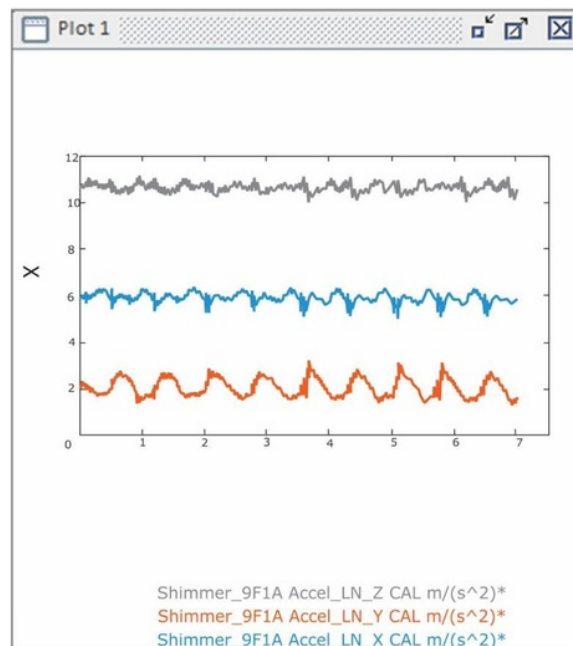
PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 47. Ritern udarac pre terapije

Na kraju rehabilitacije tražili smo od pacijenta da ponovi niz pokreta udarca ritern. Na slici 48. vidimo da je udarac, odnosno pokret jači, a to se vidi i po tome, što su podaci na meraču ubrzanja u sva tri osovinska pravca mnogo veći nego na početku rehabilitacije. To ukazuje da je i udarac pacijenta jači, znači postignut je napredak. Zanimljivo je, nadalje da je tokom ponavljanja niza pokreta pri izvođenju udarca za isto toliko vremena pacijent izveo više ponovljenih udaraca, što takođe dokazuje da su mu udarci brži nego pre rehabilitacije.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP

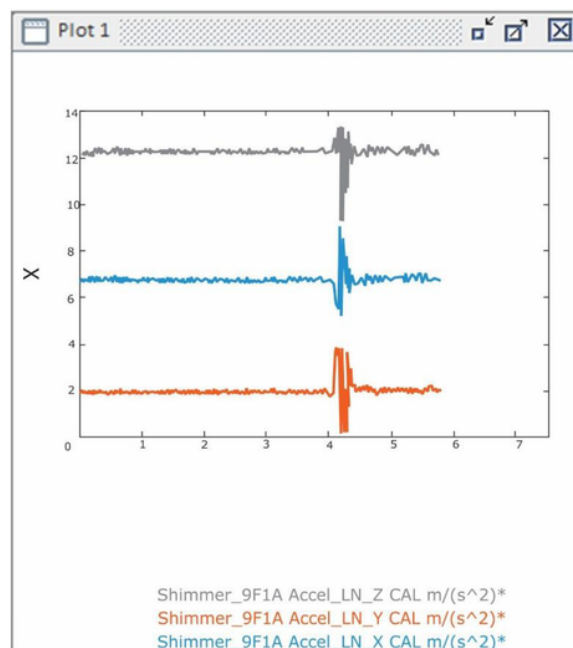


Slika 48. Ritem na kraju rehabilitacije

5.3.3 Serva

Sledeći pokret koji je analiziran bila je serva. Naime, ovaj udarac, odnosno pokret je jedan od veoma važnih, čak ključnih u ovom sportu, i lako se izvodi čak i u situaciji, kada pacijent nema partnera, odnosno protivnika, sa kojim bi vršio proces rehabilitacije.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP

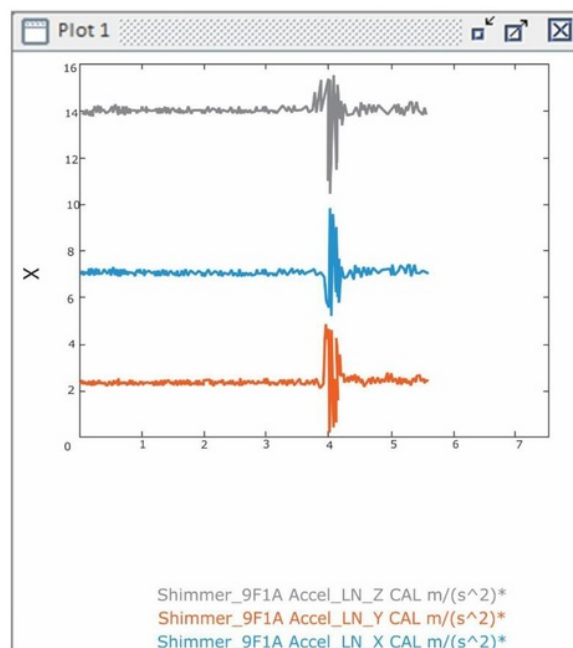


Slika 49. Serva pre rehabilitacije

Pokret serviranja je izvršen tako, što smo jednu lopticu uspravno ispustili, a kada se ona odbila od tla, pacijent ju je udario, kao da je lopticu prethodno bacio u vis radi serviranja. Kao što se to na slici 49. može uočiti, stvorili smo situaciju u kojoj pacijent u trenucima pre izvršenja udarca jedva vrši pokrete, skoro je nepomičan. To je trajalo približno 4,2 sekunde, a nakon toga je udario lopticu. Toliko je vremena trebalo ispuštenoj loptici da stigne do tla, pa da odskočivši dospe do visine reketa da bi je pacijent mogao udariti. Naravno u situaciji kada loptica ima sporije putanje do susreta sa reketom, i sam udarac, odnosno udar loptice o tlo nakon serve je sporiji. Nedvosmisleno je, znači, da brzina loptice ima uticaja na razne vrste udaraca.

Na kraju rehabilitacije smo izvršili ista ova merenja, i na dobijenom dijagramu je vidljivo da vreme odbijanja loptice od tla približno isto kao i na početku rehabilitacije. Ovo je sada približno 4 sekunde. Na dobijenom dijagramu (slika 50.) se može pročitati da su vrednosti ubrzanja u sva tri osovinska pravca veći, odnosno viši, a to dokazuje da je kod pacijenta evidentan razvoj, odnosno napredak. Dijagram ubrzanja je u velikoj meri sličan obliku dijagrama sa početka rehabilitacije.

1 PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 50. Serva na kraju rehabilitacije

Kao što sam već prethodno napisao, radi obezbeđivanja uspeha ispitivanja upoređujem dosadašnje rezultate sa dijagramima i razvojem jednog od članova kontrolne grupe. Pacijenti koji se upoređuju pripadaju približno istoj generaciji, telesna građa i stepen povrede im je približno isti, a i jačina njihovih udaraca je najbližiji među učesnicima u istraživanju. Možemo, dakle reći da se radi o dva približno istovetna pojedinca.

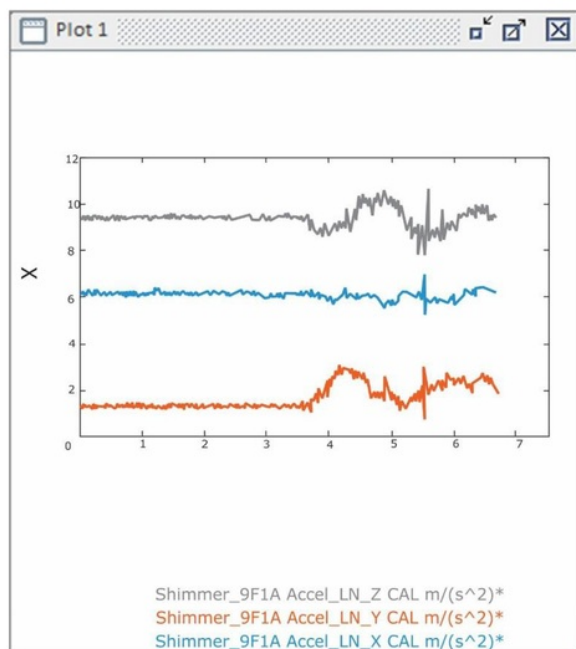
5.4 Analiza pacijenata kontrolne grupe

Pacijent koji je pripadnik kontrolne grupe je muškarac od 54 godine sa prosečnom telesnom građom, i isto tako je zbog preloma ruke bio upućen na rehabilitaciju. Na izvršenim merenjima pre početka rehabilitacije je ustanovljeno kako je snaga njegovih udaraca približno isti kao kod prethodnog pacijenta.

5.4.1 Okretanja reketa oko ose

Nakon postavljanja uređaja prvo merenje je takode bilo usmereno na okretanje reketa oko osovine X (Slika 51.) Učesnik u ispitivanju je isto tako okretao reket u ruci, jer kao što se i na dijagramu vidi vrednost okretanja oko osovine X je i ovoga puta približno nuli, dok u odnosu na druge dve osovine opet blizu ocrtanih sinus i kosinus kriva.

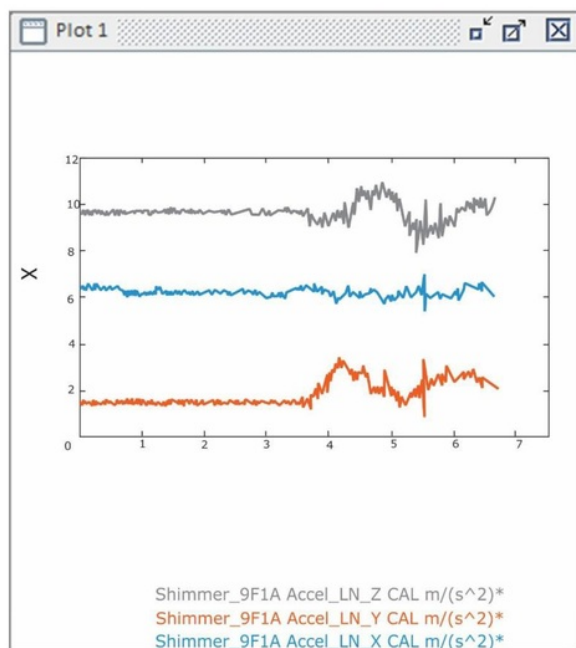
PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA



Slika 51. Okretanje reketa oko osovine X pre rehabilitacije

Na kraju klasične rehabilitacije smo tražili od pacijenta da ponovi red poteza i pokreta (slika 52) i primetili smo da je napredovao u odnosu na početno stanje. Njegov napredak izgleda manji, ali ovu pretpostavku ću kasnije i analizirati. Ukoliko nastavljamo da ispitujemo dijagram, uočićemo da su pokreti izvršeni u pravcu tri osovine približno i sada istog oblika, u pravcu osovine X približno nuli, znači u ovom pravcu/smeru nema pomeranja, dok se u pravcu preostale dve osovine ocrtavaju krive blizu sinus i kosinus krivama.

PRIMENA ¹SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

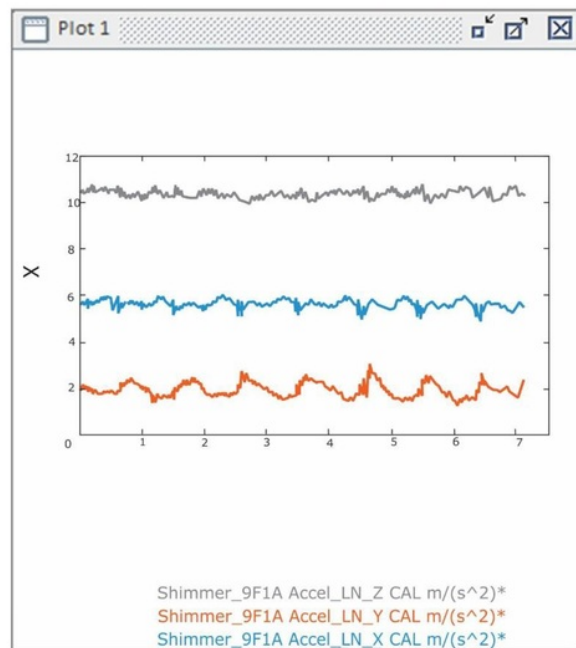


Slika 52. Okretanje reketa oko osovine X na kraju rehabilitacije

5.4.2 Ritern udarac

Sledeći analizirani pokret člana kontrolne grupe je takode bio ritern, koji se sastoji od ponavljanja više istih pokreta. Na dobijenom dijagramu (slika 53.) je jasno uočljivo da su snaga i tehnika pokreta slične kao kod analiziranih pokreta prethodne osobe.

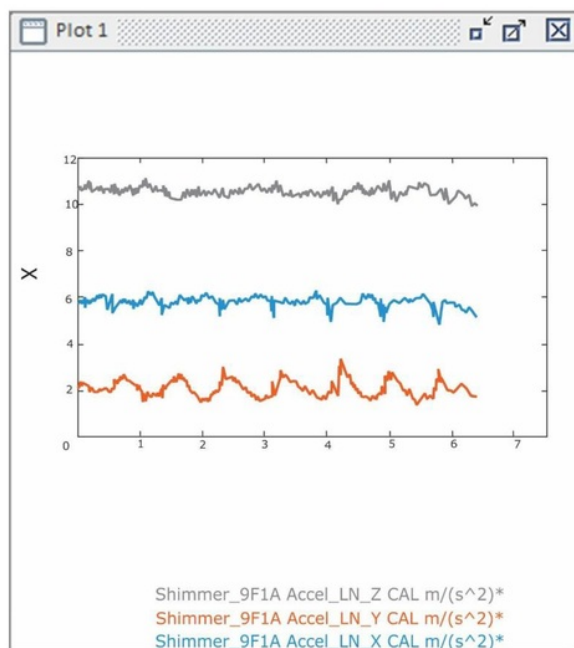
PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 53. Ritern pre rehabilitacije

Na slici 54 se jasno vidi da je do kraja rehabilitacionog procesa postignut napredak i kod člana kontrolne grupe, što dokazuje i činjenica da zadati niz pokreta može izvršiti za manje vremena nego pre terapije.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP

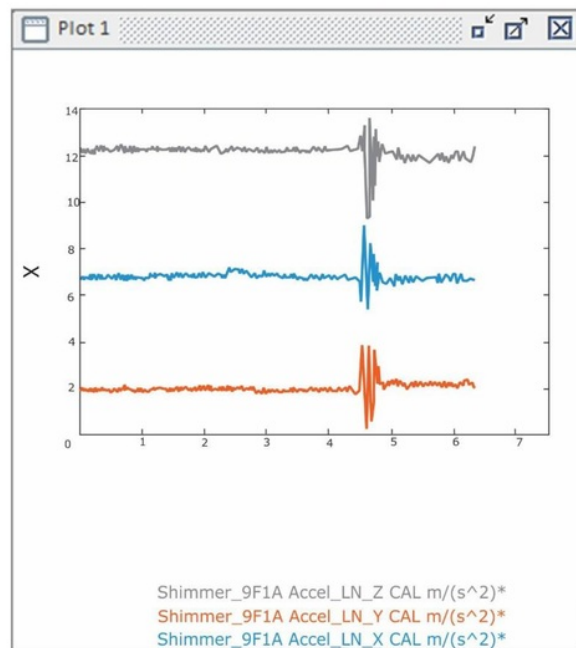


Slika 54. Ritern na kraju rehabilitacije

5.4.3 Serva

Poslednji pokret za analiziranje u kontrolnoj grupi isto tako je bila serva, a to smo rešili na isti način kao u prethodnom delu istraživanja. Na osnovu dobijenih rezultata (Slika 55) vidimo da pacijent za skoro 4.5 sekundi ne vrši nikakav pokret, naime toliko od prilike traje da loptica koju smo spustili odskoči sa tla do visine reketa. Pacijent tek tada može udariti lopticu. Snaga njegovog udarca je približno ista snazi udarca člana naše terapijske grupe.

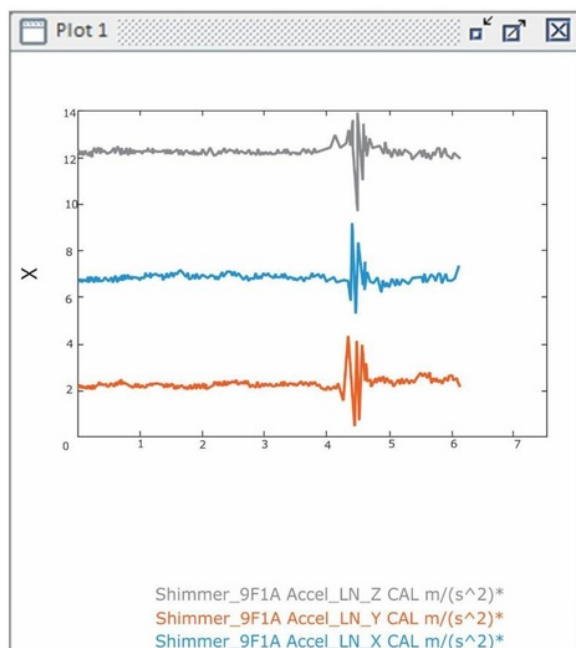
PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIP



Slika 55. Serva pre rehabilitacije

Tokom ponovljenog pokreta na kraju rehabilitacije vidimo na slici 56 da je vreme putanja loptice skoro istovetno u odnosu na analizirani pokret i udarac pre rehabilitacije. Može se konstatovati, nadalje povećanje snage udarca, što ukazuje na napredak.

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPRA

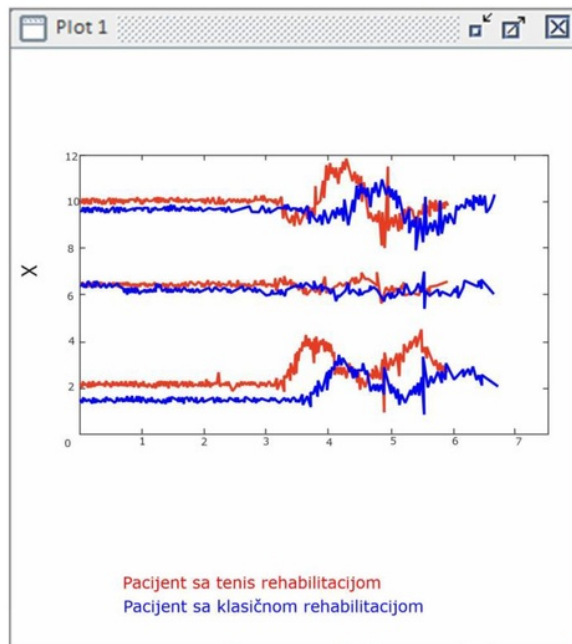


Slika 56. Serva na kraju rehabilitacije

5.5 Upoređivanje dva pacijenata

Ukoliko želimo sažeto, jednovremeno analizirati stepen napredovanja dva izabrana lica, onda je najcelishodnije staviti dijagrame jedno na drugo, i upoređujući dobijene krive nedvosmisleno utvrdimo kod koje osobe je postignut veći napredak. Ovo je bilo veoma lako izvodljivo, pošto su se koordinatni sistemi dijagrama u potpunosti identični, iste su količine. Oba dijagrama prikazuju stanje nakon terapijskog perioda.

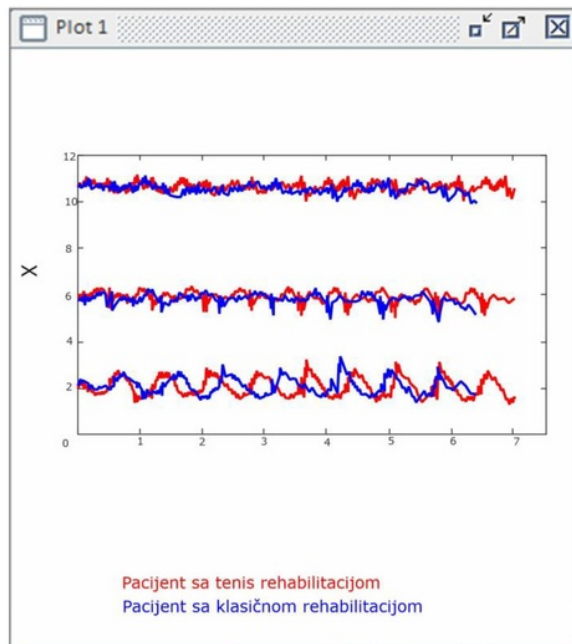
5.5.1 Upoređivanje okretanja reketa



Slika 57. Upoređivanje okretanja reketa

Upoređujući podatke o broju okretanja reketa (Slika 57) vidimo da u oba slučaja i kod osobe koja vrši rehabilitaciju uz tenis i druge osobe koja se rehabilituje na klasičan način pravac X osovine približno nula, znači uz osovinu reketa nema odstupanja. To znači da oba lica na isti način, uz osovinu reketa okreće reket. I druga dva osovinska pravca su veoma slična, njihov oblik se skoro poklapa s tom razlikom, što je plavom bojom označena osoba, koja vrši klasičnu rehabilitaciju počinje okretati reket u ruci približno za 0.5 sekundi kasnije te okretanje zbog toga traje duže, nego kod drugog pacijenta. Osim toga se primećuje i to da crvenom bojom označene krive napretka pacijenta koji učestvuje u potpunoj rehabilitaciji pokazuju za približno 10 % veće vrednosti, iz čega proizilazi da je okretanje reketa u ruci pacijenta bio brži. Sledstveno tome stepen napretka je veći/viši nego kod osobe koja je vršila klasičnu rehabilitaciju.

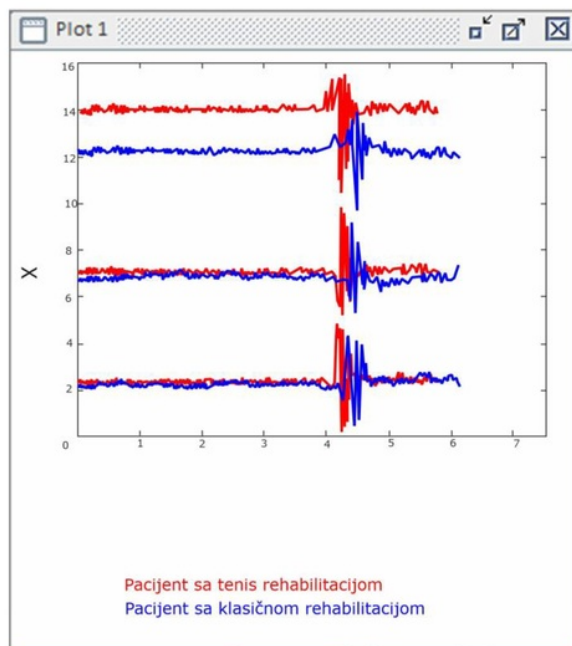
5.5.2 Upoređivanje riterna



Slika 58. Upoređivanje riterna

Sledeći niz pokreta za upoređivanje je ritern. Polagajući krive sa slike 58 jednu na drugu, uočićemo da nema velikog (značajnog) odstupanja između jačine udaraca kod ova dva pacijenta: u sva tri osovinska pravca su ove udarce izvodili približno istom snagom. Jedna se razlika, međutim, ipak pojavila, i to u vremenu/trajanju dužine udaraca. Udarci crvenim krivama označenog učesnika u potpunoj rehabilitaciji su izvedeni za kraće vreme, nego što je to uradio učesnik klasične rehabilitacije. Crvenom bojom označene krive sadrže jedan udarac više, tako da kod ovog niza pokreta možemo konstatovati, kako pacijent koji vrši potpunu terapiju lopticu udara brže, znači da je postigao veći napredak u odnosu na člana kontrolne grupe.

5.5.3 Upoređivanje serve



Slika 59. Upoređivanje serve

Kada analiziramo dijagrama udaraca tipa serve, odnosno stavljamo krive jednu na drugu (slika 59), uočljivo je da se oblici kriva u slučaju oba pacijenta umnogome slični. To dozvoljava zaključak, da su im tehnike udaraca veoma bliske. Član kontrolne grupe za malo vremena sporiji, ali ova se razlike može objasniti činjenicom da mu nismo sa iste visine spustili lopticu, nego sa minimalno veće visine. Iz kriva se nadalje vidi da kod člana kontrolne grupe vrednosti ubrzanja znatno niže tokom celog procesa izvođenja udarca, stoga se može izvući zaključak da je pacijent na potpunoj rehabilitaciji ponovo postigao veći napredak.

5.6 Upoređivanje cele terapijske grupe

Ukoliko želimo sažeto (Tabela 4.) uporediti ukupan napredak pacijenata iz terapijske grupe koji učestvuju u punom istraživanju, odnosno uporedimo stanje pre početka terapije sa stanjem nakon terapije, onda možemo konstatovati da je cela grupa postigla napredak od 60 %. Ovaj rezultat je po mom mišljenju veoma zadovoljavajući i bolji od očekivanog.

¹
PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Pacijenti u terapijskoj grupi						
Redni broj	Pre terapije			Posle terapije		
	Okretanje reketa oko ose	Ritern udarac	Serva	Okretanje reketa oko ose	Ritern udarac	Serva
1	5,0743582211	5,347558	8,2553458224	8,1189731538	8,5560928	13,20855332
2	5,1356765735	6,7258544141	6,3585266522	8,4738663463	11,09765978	10,49156898
3	5,4143685212	5,92358125	5,8635147892	8,3922712079	9,181550938	9,088447923
4	4,9194125863	4,8578625541	5,601136	7,3791188795	7,286793831	8,401704
5	6,0733532524	7,1536021001	8,3525745842	10,0210328665	11,80344347	13,78174806
6	6,6847854575	6,325102459	7,8250014255	9,6929389134	9,171398566	11,34625207
7	5,2298562555	5,7230012045	7,8622584522	7,8447843833	8,584501807	11,79338768
8	6,2784381025	6,35855422	6,9825412024	9,7315790589	9,855759041	10,82293886
9	5,1439758401	5,3200014584	7,3652117511	8,2303613442	8,512002333	11,7843388
10	4,6789562175	5,257858222	7,8252054411	7,7202777589	8,675466066	12,91158898
11	5,577559855	7,2325145847	6,1347749347	9,4818517535	12,29527479	10,42911739
12	5,8635147892	5,3221004552	8,1230298561	10,2611508811	9,313675797	14,21530225
13	6,620321	5,8512250011	7,7632058142	11,9165778000	10,532205	13,97377047
14	6,7599999999	6,9516125457	5,9401400257	9,4639999999	9,732257564	8,316196036
15	4,751458568	6,2514254	6,9203685741	6,8896149236	9,06456683	10,03453443
16	5,8369540004	5,6525858841	7,6325812	8,7554310006	8,478878826	11,4488718
17	5,6332548707	4,8752255223	7,1423025485	8,7315450496	7,55659956	11,07056895
18	4,5935744574	5,3585742024	8,23654752	7,3497191318	8,573718724	13,17847603
19	5,8929683425	5,8362014005	8,3869562358	9,7233977651	9,629732311	13,83847779
20	6,7236589555	6,9523574051	5,8268554458	11,4302202244	11,81900759	9,905654258
21	6,1185475545	7,2343655451	6,8655271522	10,7074582204	12,6601397	12,01467252
22	5,9524936854	6,7235801469	7,8568524425	10,7144886337	12,10244426	14,1423344
23	6,1374478965	6,3965248721	6,0185475545	8,5924270551	8,955134821	8,425966576
24	6,1966883264	5,5736002986	7,652584	8,9851980733	8,081720433	11,0962468
25	5,4660165821	4,9635218652	8,400002565	8,1990248732	7,445282798	12,60000385
26	5,783201482	5,4954265552	6,58985424	8,9639622971	8,517911161	10,21427407
27	6,3147202698	4,8263648575	5,8929683425	10,1035524317	7,722183772	9,428749348
28	4,8855442	6,3682588452	6,7882544558	8,0611479300	10,50762709	11,20061985
29	4,5064755664	6,9523658551	7,36585444	7,6610084629	11,81902195	12,52195255
30	6,6521470253	5,9858754	8,2785572255	11,6412572943	10,47528195	14,48747514
31	5,4298753551	6,4058225421	5,938254722	9,7737756392	11,53048058	10,6888585
32	4,7502140026	6,0158471412	7,2325145847	6,6502996036	8,422185998	10,12552042
33	5,9858754	5,2298562555	6,98569857	8,6795193300	7,58329157	10,12926293
34	5,4031615854	5,9224254112	6,88558554	8,1047423781	8,883638117	10,32837831
35	5,6328445333	6,0233432548	7,00142	9,0125512533	9,637349208	11,202272
36	5,4334758553	6,0733538952	5,8635147892	8,6935613685	9,717366232	9,381623663
37	6,4932014895	6,2963678555	5,7221004552	10,7137824577	10,38900696	9,441465751
38	4,736956	5,4660177534	8,4017040000	8,0528252000	9,292230181	14,2828968
39	5,4885875144	6,5327749304	5,4885875144	9,6050281502	11,43235613	9,60502815
40	5,057858222	7,1423025485	4,9502140026	9,1041447996	12,85614459	8,910385205

¹
PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Tabela 4. Napredak cele terapijske grupe

O meri napretka čitave kontrolne grupe (Tabela 5.) možemo steći uvid na isti način, kao kod terapijske grupe, odnosno upoređujući rezultate pre početka terapije sa rezultatima dobijenim nakon završetka terapije. Ukupno se cela grupa napredovala za 40 %, a ovaj rezultat je manji od očekivanog.

Kontrolna grupa						
Redni broj	Pre terapije			Posle terapije		
	Okretanje reketa oko ose	Ritern udarac	Serva	Okretanje reketa oko ose	Ritern udarac	Serva
1	6,365200143	5,8653201477	7,2358861024	7,6382401710	7,038384177	8,683063323
2	5,869536	6,896014254	5,965218555	7,3369200000	8,620017818	7,456523194
3	4,863524785	4,8294656119	8,0215852242	6,3225822205	6,278305295	10,42806079
4	5,7632658523	5,2465205892	7,3852225686	7,7804089006	7,082802795	9,970050468
5	5,5368540014	7,158014211	6,9831055526	7,7515956020	10,0212199	9,776347774
6	4,5878281975	5,1320598721	6,8353582	6,6523508864	7,441486815	9,91126939
7	6,7965820026	6,1203521	7,9320165532	10,1948730039	9,18052815	11,89802483
8	6,1252023989	7,09325148	7,1553598325	9,4940637183	10,99453979	11,09080774
9	4,3254	5,0782105351	6,3585442117	6,9206400000	8,125136856	10,17367074
10	5,6325014598	6,725122582	8,0965251247	6,7590017518	8,070147098	9,71583015
11	6,35485775	6,810242852	7,0982242	7,9435721875	8,512803565	8,87278025
12	5,257554241	5,31456985	5,9424241117	6,8348205133	6,908940805	7,725151345
13	5,9365820014	6,0418522	6,9852442423	8,0143857019	8,15650047	9,430079727
14	5,4258654125	7,1963852152	5,5474066926	7,8675048481	10,43475856	8,043739704
15	6,1368002598	5,3855422111	7,8638755983	9,5120404027	8,347590427	12,18900718
16	5,7347852469	6,0368320149	6,9342583658	8,0286993457	8,451564821	9,707961712
17	5,2960350157	5,26855125	6,1898245241	7,9440525236	7,902826875	9,284736786
18	6,7589602335	7,244198418	8,3076521225	10,4763883619	11,22850755	12,87686079
19	5,85221475	7,2258664542	6,9375524424	9,3635436000	11,56138633	11,10008391
20	5,2465205892	6,9865230148	7,8692301869	6,2958247070	8,383827618	9,443076224
21	4,9201246854	4,892325215	6,4896521810	6,1501558568	6,115406519	8,112065226
22	6,7584521058	5,76821422	8,0018645	9,1239103428	7,787089197	10,80251708
23	5,823521014	5,7365218544	5,793522	8,1529294196	8,031130596	8,1109308
24	6,8817422963	5,2468852882	6,0879652419	9,9785263296	7,607983668	8,827549601
25	5,5738952182	4,9635225422	6,3785524985	8,3608428273	7,445283813	9,567828748
26	4,7369201482	5,8344284611	5,8963285712	6,1579961927	7,584756999	7,665227143
27	6,7856328104	6,8242352129	7,963254258	9,1606042940	9,212717537	10,75039325
28	6,810242852	5,6325014598	5,6945586354	9,5343399928	7,885502044	7,97238209
29	4,9586554205	6,3895535422	5,8356842542	7,4379831308	9,584330313	8,753526381
30	4,7855296352	6,1368002598	8,321110039	7,4175709346	9,512040403	12,89772056

Tabela 5. Napredak kontrolne grupe

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

Iz prethodne dve tabele možemo uočiti da pacijenti, koji su svoju rehabilitaciju vršili pomoću tenisa u proseku stekli 20% veći napredak, nego pacijenti u kontrolnoj grupi. Možemo reći da pored toga što smo dobili preciznije rezultate, olakšali smo i rad fizioterapeutama. Zbog toga prva hipoteza potvrđena, tj. da uvođenjem senzorske mreže ostvariće se povećanje efikasnosti rada službi sistema zdravstvene zaštite.

5.7 Kritičnost bezbednosti senzorske mreže u zdravstvenim ustanovama

Analizirana je i bezbednost bežične senzorske mreže, tako da je nedvosmisleno dokazano, kako da na ovo treba da se obrati pažnja, jer je to kritičan faktor. Istovremeno uvođenje senzora i senzorskih mreža kao i njihova primena u zdravstvu znači bezbroj novih izazova. Treba, naime obratiti pažnju na pouzdan prenos podataka, podršku mobilnosti čvorišta, na brzo registrovanje događaja i promena, na pravovremeni prenos podataka, itd. Kao što nam je poznato, bežični senzori koji se koriste u zdravstvu prenose podatke o stanju bolesnika, šalju ih lekarima i ostalom bolničkom osoblju. Bežični komunikacijski kanali koji služe za prenos podataka se veoma lako napadaju, i veoma lako se može priključiti na uređaj koji je smešten na bolesniku. Pomoću odgovarajuće opreme mogu se iz bežične mreže dobiti podaci pacijenata, kada se oni prosleđuju. Ovi podaci mogu se odnositi na fizičku lokaciju pacijenta, te napadaču omogućuju da stupi u fizički kontakt sa pacijentom. Uz to napadač može da skine razne rezultate, vremenske markice, identifikacije poruka, izvorne adrese i druge relevantne informacije. Na taj način takav eventualni napad znači ozbiljnu opasnost po privatni život pacijenta, kao i tajnost njegovih ličnih informacija, podataka. Osim toga ovako pribavljeni podaci se mogu manipulisati, proslediti prema bolničkim aparatima i uređajima za prijem podataka, što može sprečiti oporavak bolesnika, pa ugroziti čak i njegov život, ako usled toga lekar propisuje pogrešnu ili lošu terapiju ili pogrešne lekove.

Pretpostavimo, primera radi da jedan senzor kardiografa prosleđuje u mreži podatke bolesnika, ali jedan napadač modifikuje ove podatke, te ih takve, modifikovane prosleđuje bolničkom osoblju, što može dovesti i do predoziranja lekovima. Modifikovani podaci mogu izazvati i lažni alarm, ili pak sakriti i sprečiti važan pravi alarm o stvarnom stanju bolesnika, što isto tako ugrožava njegovo stanje pa čak i život.

Na osnovu gore iznetog druga hipoteza našeg istraživanja o kritičnom faktoru bezbednosti senzorskih mreža u zdravstvu jeste opravdana i dokazana.

6. PREGLED DOPRINOSA DISERTACIJE

Naučni doprinos doktorske disertacije je u domenu analize tehnologije bežičnih senzorskih mreža u prikupljanju podataka.

Kao sastavni deolovi doktorske disertacije dati su sledeći naučni doprinosi:

- Današnji elektrotehnički uređaji se lako i jednostavno mogu koristiti u zdravstvenoj primeni zbog malih dimenzija
- Sa uvođenjem informatičke tehnologije u zdravstvene ustanove, olakšava se rad tehničkih radnika, npr. fizioterapeuta ili medicinskih sestara
- Korišćenjem senzorskih mreža možemo uočiti i najmanje promene u fizičkom stanju pacijenata
- Sa uvođenjem senzorske mreže se povećava efikasnosti rada u službi sistema zdravstvene zaštite
- Uvođenjem MEMS senzora u medicinsku upotrebu omogućuje se česta merenja fiziološkog stanja pacijenata bez lekara ili medicinskih sestara
- Korišćenjem MEMS uređaja rezultate nakon terapije, bez obzira na mesto, možemo pregledati i analizirati
- Prednost i korisnost upotrebe senzorskih mreža u zdravstvu, kao i ispitivanje korisnosti teniskih formi pokreta u lečenju pacijenata sa neuro-motoričkim bolestima.
- Studija ukazuje i na to, da nakon uvođenja senzorske mreže u zdravstvene ustanove obavezno treba voditi računa o bezbednosti mreže, jer je to kritičan faktor.

7. ZAKLJUČAK

Dok nekada svet nije ni razmišljao o upotrebi sveznajuće tehnologije kao pomoći svakodnevnom životu, danas se iz dana u dan fasciniramo njenim postojanjem, mogućnostima koje pruža, korisnošću iste. Gotovo je nemoguće zamisliti dan bez tehnologije. Tehnologija bežičnih senzorskih mreža nas svakodnevno upoznaje s novim, neprocenljivim mogućnostima prikupljanja podataka o fizičkim aktivnostima okruženja. Sve sfere ljudskog života teže ka unapređenju, a s njim zahtevaju i analize istih. Industrija, vojska, medicina, nauka, ekologija, samo su neke od oblasti koje zahtevaju intenzivno i detaljno sakupljanje podataka i informacija iz fizičkog okruženja kako bi se na adekvatan način vršio nadzor i kontrola.

Sa razvojem bežičnih senzorskih mreža probudio je i brojne probleme koji su postali multidisciplinarni. Da bi sve funkcionisalo, neizostavni deo je uspostavljanje saradnje pri iznalaženju raznih komunikacionih, hardverskih i softverskih rešenja koja se tiču komunikacionih mreža, ostvarivanja razne senzorske funkcije, kontrola rada senzorske platforme i razvoja programa i programskog softvera za korisnike mreže.

Sigurnost WSN je specifična i važna tema o kojoj se vodi računa već prilikom projektovanja čvorova. Naime, sama aplikacija ne nudi dovoljno zaštite, te se ona dodatno implementira u niže slojeve mreža, kao i protokole. Sve ovo vrši se u cilju potpunog osiguravanja podataka unutar mreže, fizičkih senzora i protokola za razmenu podataka.

Sigurnost senzorskih bežičnih mreža je još uvek široko otvoreno područje koje nudi brojna rešenja i traži stalne napore u stvaranju novih. Čini se kao da je većina posla direktno preneti iz ad hoc slučaja, ali joj nedostaju analize osnovnih pretnji i mogućih napada na ispravan rad.

Forenzička analiza bežične mreže kao svoj elementarni zadatak postavlja sakupljanje svog ostvarenog prometa. U svim slučajevima kada ne postoji detaljan prikaz svega sakupljenog, ili to iz nekog razloga ne može da se izvrši, podaci su nepouzdati ili potiču iz sumnjivih izvora, dobijeni rezultat ne uzima se kao valjan i pouzdan, te ne služi kao dokazni materijal. Kako bi se ovi nedostaci uklonili, važno je nadgledati sve dostupne radio kanale, evidentirati snagu signala, lokacijske i vremenske oznake, rešiti enkripciju koja se koristila radi zaštite prometa, zapaziti upotrebu naprednih alata za prikrivanje bežičnog prometa. Promet se zatim filtrira i analizira, a upotrebljavaju se metode nalik onima iz analize žičanog bežičnog prometa.

¹³ Bežične tehnologije su već prisutne, a budućnost im osigurava sigurno mesto i primenu na sve širim aspektima rada, u sve većem obimu. Jasno je da će deo primene mnogima poslužiti i u svrhe vršenja raznih krivičnih radnji, te će se posebna pažnja

PRIMENA ¹ SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

usmeravati ka iznalaženju načina za zaustavljanje istih. Ova činjenica pokazuje važnost pronalaženja određenih metoda forenzičke analize pri postupcima otkrivanja i analize sigurnosnih incidenata, a i njihovu nužnost.

Pošto u našem ubrzanom životu i svetu postoji potreba za efikasnijem i bržem razvoju u mnogim oblastima, pa i u medicini, ukazala se potreba za efikasnijim postupcima pri rehabilitaciji bolesnika sa raznim oboljenjima lokomotornog sistema, kao i potreba za bržim oporavkom nakon raznih oboljenja. Ovo se po meni može učiniti efikasnijim ukoliko u što većoj meri spojimo informatičke tehnologije sa medicinom, iskoristivši prednosti koje pružaju tehnika i tehnologija. Po toj osnovi sam izabrao za inovacije u procesima rehabilitacije bolesnika sa neuromotoričnim bolestima i raznim oboljenjima lokomotornog sistema koji je izuzetno raznolik, kompleksan sport, a to je tenis.

Lica koja se učestvovala u istraživanju kao i u kontrolnoj grupi zbog ličnih prava imaju anonimnost, svaki pojedinac je umesto ličnih podataka dobio redni broj. Javljali su se bolesnici sa veoma različitim povredama lokomotornog sistema i ekstremiteta, zato i period terapije je u potpunosti bio različit, u zavisnosti od vrste povrede. Ovaj terapijski period je propisao lekar specijalista, on ih je i obavljao kod učesnika u istraživanju, u kojima ja sam nisam učestvovao, pošto je moj cilj i zadatak bio merenje stepena napretka pacijenata.

U disertaciji sam prvo uporedio rezultate jednog člana terapijske grupe sa rezultatima jednog člana kontrolne grupe. Ove dve osobe su izabrane tako, da budu što bliži jedno drugom po životnoj dobi, telesnoj građi, kao i snazi udarca pre početka terapije, tako da sam dobio moguću najrealniju sliku prilikom upoređenja njihovog napretka. Ispostavilo se nakon upoređenja njihovih rezultata, da je pacijent koji je rehabilitovan uz forme pokreta koje pruža teniska igra postigao za 10 % veći napredak nego drugi pacijent u kontrolnoj grupi, znači da je sam po sebi potvrđena hipoteza, ali sam u interesu tačne prezentacije rezultata uporedio i rezultate napretka oba dve grupe.

Upoređujući rezultate obe grupe došao sam do konstatacije, da je moja prva hipoteza potvrđena, naime pacijenti koji boluju od bolesti lokomotornog sistema uz pomoć rehabilitacione forme kao tenis pokazali za 20 % veći napredak nego članovi kontrolne grupe.

Po drugoj hipotezi istraživanja, da je bezbednost senzorskih mreža u zdravstvu kritički faktor, isto je tako dobila potvrdu. To se kroz više primera dokazalo, naime razvojem tehnologije i sve većim korišćenjem u zdravstvu ova tehnologija predstavlja ujedno i veći rizik, odnosno izvor opasnosti. Napadom na mreže ovakvog karaktera mogu se neovlašćeno pribaviti čak i lični podaci, pa se i podaci o fizičkom stanju pacijenata mogu modifikovati, a time i dovesti u opasnost život bolesnika.

8. LITERATURA

- [1.] Veinović M., Jevremović A.: *Računarske mreže*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2011.
- [2.] Josipović V.: *Zaštita podataka u bežičnim WLAN i WAN računarskim mrežama*, Magistarski rad, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2011.
- [3.] Seder L., Ilić Ž., Kos M.: *Sigurno usmjeravanje u ad-hoc mrežama*, Časopis Automatika, broj 3, Zagreb, 2011.
- [4.] Cordeiro C.M., Agrawal D.P.: *Ad Hoc and Sensor Networks, Theory and Applications*, World scientific publishing Co. Pte. Ltd., 2011.
- [5.] Li X.Y.: *Wireless ad hoc and sensor networks*, Cambridge University Press, 2008.
- [6.] Callaway H.: *Wireless sensor networks: architectures and protocols*. Auerbach Publications, 2004.
- [7.] Verdone R., Dardari D., Mazzini G.: *Wireless Sensor and Actuator Networks: Tehnologies, Analysis and Design*, Academic Press, 2007.
- [8.] Mračević A.: *Prednosti dijagonalne dominacije u optimizaciji bežičnih senzor mreža*, Master rad, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2013.
- [9.] Vivek Katiyar, Narottam Chand, Naveen Chauhan: Recent advances and future trends in Wireless Sensor Networks, Department of Computer Science and Engineering, National Institute of Technology Hamirpur, Hamirpur (H.P.), INDIA
- [10.] Dakić P.: *Osnovi zaštite informacija*, Projektni rad, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2013.
- [11.] Garcia-Hernandez C.: *Wireless Sensor Networks and Applications: a Survey*, Int. Journal of Computer Science and Network Security, Vol.7, No.3, March 2007.
- [12.] Dakić, P.: *Senzorske mreže*, Projektni rad, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2013.
- [13.] Vasović I.: *Primopredajnik za bežične mreže senzora*, Diplomski rad, Elektronski fakultet, Niš, 2008.

PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- [14.] Milosavljević, M., Grubor, G.: *Digitalna forenzika računarskog sistema*, Univerzitet Singidunum, 2010.
- [15.] http://www.telekomunikacije.rs/arhiva_brojeva/treci_broj/mr_goran_b_ma_rkovic_prof_dr_miroslav_l_dukic_bedjicne_senzorske_mredje_i_deo_o_snovna_arhitektura_karakteristike_i_primene.169.html (posećeno 13.03.2016.)
- [16.] Varga N., Mlinarić D., Huzjak A., Šego D.: *Sigurnost čvorova bežičnih senzorskih mreža*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2013
- [17.] Chaitanya D., Arindam G.: *Analysis od Denial-of-Service attacks on Wireless Sensor Networks Using Simulation*, Middlesex University, 2013.
- [18.] Murati M.: *Detekcija napada IDS – Sistemi*, Master rad, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2012.
- [19.] Raghavendra C.S., Sivalingam K.M., Taieb Z.: *Wireless Sensor Networks*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2004.
- [20.] Grubor G., Pešić A.: *Napadi uskraćivanja servisa (DoS) i distribuirani DoS napadi*, Članak, Zbornik radova ZITEH, Beograd, 2012.
- [21.] Xiao Y., Li F., Chen H.: *Handbook of Security and Networks*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore, 2011.
- [22.] Milosavljević, M., Grubor, G., *Istraga kompjuterskog kriminala*, Univerzitet Singidunum, 2011.
- [23.] *Korištenje eliptičnih krivulja u kriptografiji*, Hrvatska akademska i istraživačka mreža, Zagreb, 2006.
- [24.] H. Sakazaki, E. Okamoto and M. Mambo: *ID-based key distribution system over an elliptic curve*, Contemporary Mathematics 225 (1999), 215–223 (Fourth International Conference on Finite Fields).
- [25.] Karlof C., Sastry N., Wagner D.: „TinySec: A Link Layer Security Architecture for Wireless Sensor Networks“, SenSys 2004 proceedings
- [26.] *Wireless forenzika*, Hrvatska akademska i istraživačka mreža, Zagreb, 2008
- [27.] https://www.wireshark.org/docs/wsug_html_chunked (posećeno: 14.02.2019.)

PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- [28.] Márkus András Kovács Lajos, Sportok könyve.: Mérték kiadó, 2009.
- [29.] <http://lockandrolltennis.com> (posećeno: 03.12..2018)
- [30.] Elwenspoeck, M. and Wiegerink, R. Mechanical Microsensors. New York: Springer, 1993
- [31.] Fraden, Jacob, 2003. Handbook of Modern Sensors. 3rd ed. Berlin: Springer. ISBN 0387007504
- [32.] O'Reilly, Rob, Alex Khenkin, and Kieran Harney. Managing Acoustic Feedback: Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) Contact Microphones for Musical Instruments. 2008. 07
- [33.] <http://www.alkatreszed.hu/erzekelok-jeladok-szenzorok> (posećeno 5.01.2016.)
- [34.] DigiTrainer: http://www.polaritas.com/DigiTrainer_main (posećeno: 22.1.2017)
- [35.] <https://nicebike.ru> (posećeno: 23.1.2017)
- [36.] Minimax: <http://catapultsports.com/sports/rowing-kayak-canoe> (posećeno: 22.1.2017)
- [37.] <https://mattymmanuel.files.wordpress.com/2014/02/gps.jpg?w=450> (posećeno: 23.1.2017)
- [38.] http://chipdesignmag.com/sld/files/2014/04/Combined_figures_crop.jpg (posećeno: 27.09.2017)
- [39.] <http://www.shimmersensing.com> (posećeno: 27.09.2017)
- [40.] Alargić P, Kaurin T: Digitalna forenzika mobilnih uređaja korišćenjem JTAG interfejsa
- [41.] Raheem B., Janise McN., Cherita C.: Security in Ad Hoc and Sensor Networks – Computer and network Security Vol.3
- [42.] Maček N.: *Sigurnost računarskih mreža*
- [43.] Ronald van der Knijff: *Analiza Ugrađenih Sistema* (383-393)
- [44.] Centar Informacijske Sigurnosti: *TSK – The Sleuth Kit*, jul 2011. (CIS-DOC-2012-07-056)

PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- [45.] Grubor G., Njeguš A., Ristić N.: *Doprinos sistemu kvaliteta digitalnih forenzičkih servisa u Cloud Computing okruženju* - 12. Međunarodni naučni skup Sinergija 2013.
- [46.] Cisco Press Publications: *Security Technologies*, Cisco Systems Inc.
- [47.] Barker B. E., Barker C. W., Lee A.: *Information Security*, National institute of Standards and Technology, September 2005
- [48.] Williamson W, *Best Practice For Securing Your Enterprise WLAN*, www.airmagnet.com, 2004.
- [49.] Aitken C, Taroni F, *Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists. Second Edition*, John Wiley & Sons Ltd, 2004
- [50.] Altheide C, Carvey H, *Digital Forensics With Open Source Tools: Using Open Source Platform Tools for Performing Computer Forensics on Target Systems: Windows, Mac, Linux, Unix, Etc*, Elsevier, 2011.
- [51.] Anson S, Bunting S, *Mastering Windows Network Forensics and Investigation*, Sybex, 2007.
- [52.] Carter B, Shumway R, *Wireless Security – End-to-End*, Willey Publishing, 2002.
- [53.] Nikkel B.: *Digital Forensics using Linux and Open Source Tools*, Presentation, Sept 26, 2005
- [54.] Duggan D., Hutchinson B.: *Digital Forensics*, Presentation
- [55.] Casey E.: *Digital Evidence and Computer Crime: Forensic Science, Computers, and the Internet*, Second Edition (ISBN:0121631044), Academic Press 2004.
- [56.] International Organization of Computer Evidence (www.ioce.org)
- [57.] Milosavljević M., Grubor G.: *Digitalna forenzika*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2008.
- [58.] Grubor, G., Galetin, A.: *Digitalna forenzička istraga u korporacijskoj zaštiti informacija*, Singidunum revija, Vol.6/No.2, Beograd, 2010.
- [59.] Ilić, S.: *Značaj digitalne forenzičke istrage u upravljanju kompjuterskim incidentom unutar organizacije*, Master rad, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2011.

PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

- [60.] Ridder, C., K., *Evidentiary Implications of Potential Security Weaknesses in Forensic Software*, Center for Internet and Society Stanford Law School, Stanford, 2007.
- [61.] Fisher, G.: *Computer forensics Guidance*, NIST, www.nist.com, 2001.
- [62.] Smith F. C., Gurley R. B., *A Guide to Forensic Testimony – The art and Practice of Presenting testimony as an Expert Technical Witness*, Addison – Wesley, Boston SAD, 2002.
- [63.] Carrier B., Spafford E.: *Automated Digital target definition Using Outlier Analysis*, CS 483, Washington State University, Spring 2009.
- [64.] Bruce J. Nikkel: *The Role of Digital Forensics within a Corporate Organization*, BSA Conference, Vienna, May 2006.
- [65.] Eoghan Casey – Handbook of Digital Forensics and Investigation
- [66.] Fei Hu, Meikang Qiu, Jiayin Li, Travis Grant, Draw Rylor, Seth McCalieb, Lee Butler and Richard Hamner - A review on Cloud Computing: Design Challenges in architecture and Security
- [67.] Matthew Geiger – Evaluating Commercial Counter – Forensic Tools
- [68.] Gregory A. Hall, Wilbon P. Davis - Toward Defining the Intersection of Forensics and Information Technology (Texas State University-San Marcos)
- [69.] Pavel Gladyshev, Ahmed Patel - Formalising Event Time Bounding in Digital Investigations(School of Computer Science and Informatics University College Dublin, Ireland)
- [70.] Siti Rahayu Selamat, Robiah Yusof, Shahrin Sahib - Mapping Process of Digital Forensic Investigation Framework
- [71.] Carrie Morgan Whitcomb - An Historical Perspective of Digital Evidence: A Forensic Scientist's View
- [72.] <https://www.techopedia.com/definition/27805/digital-forensics> (posećeno 10.03.2016.)
- [73.] <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/199408.pdf> (posećeno 10.03.2016.)
- [74.] <http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/mikromechanika/> (posećeno 11.03.2016.)

PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU
PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPA

[75.] <https://cbc.rs/threads/2558-Senzori> (posećeno: 19.01.2016.)

[76.] <http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf> (posećeno 27.03.2016)

[77.] Bánlaki P., Lovas A.: Szenzorika és anyagai, BME, 2014

PRIMENA SENZORSKIH MREŽA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA O STANJU PACIJENATA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA OPŠTEG TIPRA

ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	Luka Lazovic, Ana Jovanovic, Vesna Rubezic. "Predlog dizajna antene za WiFi podvodne komunikacije", 2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR), 2017 Crossref	714 words — 2%
2	es.elfak.ni.ac.rs Internet	450 words — 1%
3	www.cis.hr Internet	428 words — 1%
4	digis.edu.rs Internet	265 words — 1%
5	hrcak.srce.hr Internet	245 words — 1%
6	www.dmi.uns.ac.rs Internet	175 words — 1%
7	documents.mx Internet	144 words — < 1%
8	www.ieee.hr Internet	113 words — < 1%
9	www.telekomunikacije.rs Internet	84 words — < 1%

10	docslide.us Internet	67 words — < 1%
11	www.scribd.com Internet	65 words — < 1%
12	nardus.mpn.gov.rs Internet	59 words — < 1%
13	www.kombeg.org.rs Internet	46 words — < 1%
14	eprints.ugd.edu.mk Internet	45 words — < 1%
15	www.singipedia.com Internet	42 words — < 1%
16	epdf.tips Internet	33 words — < 1%
17	es.scribd.com Internet	27 words — < 1%
18	Lovro Seder, Željko Ilić, Mladen Kos. " Sigurno usmjeravanje u mrežama ", Automatika, 2017 Crossref	19 words — < 1%
19	147.91.175.145 Internet	18 words — < 1%
20	www.slideshare.net Internet	14 words — < 1%
21	www.nedwireless.net Internet	13 words — < 1%
22	slidegur.com Internet	11 words — < 1%
23	www.ressjournal.com Internet	11 words — < 1%

24	znaci.net Internet	9 words — < 1%
25	Jasna Markovic-Petrovic. "Analysis of remote control service in networks in the power utility environment", 2011 19th Telecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers, 11/2011 Crossref	9 words — < 1%
26	www.arbona.hr Internet	9 words — < 1%
27	elibrary.matf.bg.ac.rs Internet	9 words — < 1%
28	ajer.org Internet	9 words — < 1%
29	www.maturskiradovi.net Internet	8 words — < 1%
30	www.redcross.org.rs Internet	8 words — < 1%
31	issuu.com Internet	8 words — < 1%
32	pt.scribd.com Internet	8 words — < 1%
33	www.parlament.gov.rs Internet	8 words — < 1%
34	zelenasrbija.rs Internet	8 words — < 1%

