



UNIVERZITET SINGIDUNUM

**-MASTER STUDIJSKI PROGRAM-
SAVREMENE INFORMACIONE TEHNOLOGIJE**

**Analiza rada bežičnih senzorskih mreža sa
pregledom primene istih u pojedinim medicinskim
rešenjima**

- Master rad -

Mentor:
Prof. dr. Mladen Veinović

Student:
Dimitrije Nikolić
Br. indeksa: 410762/2011



Beograd, 2016.

SADRŽAJ

1. Uvod	5
2. Metodologija istraživačkog projekta.....	5
2.1. Predmet istraživanja.....	5
2.2. Cilj istraživanja	5
2.3. Struktura rada.....	5
2.4. Metodi istraživanja i tehnike istraživanja	5
3. Uvod u bežične senzorske mreže	7
4. OSI model prilagodjen bežičnim senzorskim mrežama	9
4.1. Referentni modeli.....	10
4.2. Fizički nivo i potrošnja električne energije.....	10
4.3. Nivo veze	11
4.4. Mrežni nivo	11
4.5. Transportni nivo.....	11
4.6. Nivo srednjeg sloja	12
4.7. Nivo aplikacije	12
4.8. Povezanost izmedju nivoa.....	12
5. Pregled mrežnih topologija i standarda koji se koriste u bežičnim senzorskim mrežama	13
5.1. Topologija bežičnih senzorskih mreža.....	13
5.2. Standard Bluetooth.....	14
5.3. Bluetooth 4.0 Low Energy (BLE).....	15
5.4. BLE Health Device Profile (HDP) profil.....	16
5.5. ZigBee standard	17
5.6. ZigBee Health Care profil.....	20
5.7. 6LoWPAN standard.....	20
5.8. BAN standard - 802.15.6	21
5.9. UWB (Ultra wide band).....	22

5.10.NFC (Near Field Communication)	24
5.11.Infrared(irDA – Infrared Data Association)	24
6. Simultanost podataka u bežičnoj senzorskoj mreži i metode sinhronizacije u kompjuterskim i senzorskim mrežama	24
6.1. Izvori nepreciznosti satova	24
6.2. Spisak često korišćenih pojmova u metodama sinhronizacije	25
6.3. Uobičajeni mrežni algoritmi sinhronizacije.....	26
6.4. Sinhronizacija u bežičnim mrežama	27
7. Hardver bežičnog senzorskog sistema	29
7.1. Bežični senzorski moduli	29
7.2. Senzorske pločice.....	30
7.3. Principi rada u bežičnim senzorskim mrežama	31
8. Najčešće korišćene senzorske platforme u bežičnim senzorskim mrežama za medicinu	32
8.1. BSN Node	32
8.2. Crossbow Iris	32
8.3. TelosB, T mote, Sky Mote	33
8.4. MICA2, MICA2 dot, MicaZ	34
8.5. WeBee3.....	35
8.6. SunSPOT.....	35
9. Programiranje bežičnih senzorskih modula i operativni sistemi za bežične mreže	35
9.1. TinyOS	35
9.2. Mantis OS	36
9.3. Contiki OS	36
9.4. LiteOS	37
9.5. Android platforma.....	38
10. Medicinske bežične senzorske mreže na ljudskom telu.....	44
10.1.CodeBlue.....	47
10.2.MEDiSN	47

10.3.	ADZ	48
10.4.	Smart Medical Home	48
10.5.	Aware home	48
10.6.	SHIMMER Platforma	48
10.7.	Alarm-Net	50
10.8.	HealthGear	52
10.9.	„MyHeart“ projekat	53
10.10.	Eco: Ultra-Wearable and Expandable Wireless Sensor Platform (Ultra nosiva i proširiva bežična senzorska platforma)	54
10.11.	ActiS	55
10.12.	Vivometrics Lifeshirt.....	56
10.13.	Lifeguard	56
10.14.	Nike + iPod Rock and Run.....	56
10.15.	iShoe	56
10.16.	Vibering.....	57
10.17.	Bike Net.....	57
10.18.	Vital Jacket	57
10.19.	AutoSense.....	58
10.20.	PALMS.....	58
11.	Zaključak.....	58
12.	Literatura.....	59

1. Uvod

Bežične senzorske mreže su u poslednje vreme doživele veliku ekspanziju i razvoj na raznim poljima ljudskog delovanja. Svoju primenu imaju u istraživanju svemira, velikim i malim građevinskih poduhvatima, kontroli i nadgledanju životne sredine, a primenu imaju i u vojnim, medicinskim, i raznim drugim oblastima. Njihove mogućnosti su izuzetno velike - od nadgledanja šumskih požara, do praćenja nivoa šećera u krvi čoveka, pa do upotrebe u umetnosti. Niz scenarija gde mogu naći primenu je izuzetno veliki. Sa svojim delovanjem na čoveka i njegovu okolinu, može se reći da su senzorske mreže napravile revoluciju u tome kako i na koji način posmatramo i delujemo na svet oko sebe. Senzorske mreže svakako predstavljaju veliko dostignuće čovečanstva, i otvaraju neslućene mogućnosti upotrebe. Pogotovo je medicina doživela pravi napredak sa dolaskom bežičnih senzorskih mreža, jer su pacijentima otvorene mogućnosti gotovo svakodnevne i redovne brige i analize zdravstvenog stanja, i otvorena je mogućnost praktično stalne konsultacije sa umreženim medicinskim osobljem, kao i mogućnost momentalnog delovanja medicinskih aparata, što je ranije bilo ili preskupo i izuzetno zahtevno ili neostvarivo.

2. Metodologija istraživačkog projekta

2.1. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja ovog master rada je analiza arhitekture i principa rada bežičnih senzorskih mreža, pregled potrebnih standarda za rad bežičnih senzorskih mreža u medicini, i prikaz zdravstvenih senzorskih rešenja u zdravstvu.

2.2. Cilj istraživanja

Cilj rada je da se nakon sprovedenih analiza i zaključaka izvrši upoznavanje sa načinom funkcionisanja bežičnih senzorskih mreža sa posebnim osvrtom na potrebe i mogućnosti rada istih u medicinske svrhe.

2.3. Struktura rada

U uvodnom delu rada definisani su osnovni pojmovi u oblasti bežičnih senzorskih mreža, i prikazan je kratak istorijat bežičnih senzorskih mreža, zajedno sa mogućnostima koje bežične senzorske mreže nude.

U prvom delu rada će se nalaziti detalji u vezi arhitekture, rada, protokola i sličnih potreba za normalno funkcionisanje bežičnih senzorskih mreža.

U drugom delu rada urađen je osvrt na praktičnu realizaciju medicinskih i drugih zdravstvenih i sličnih projekata koji su vezani za bežične telesne senzorske mreže.

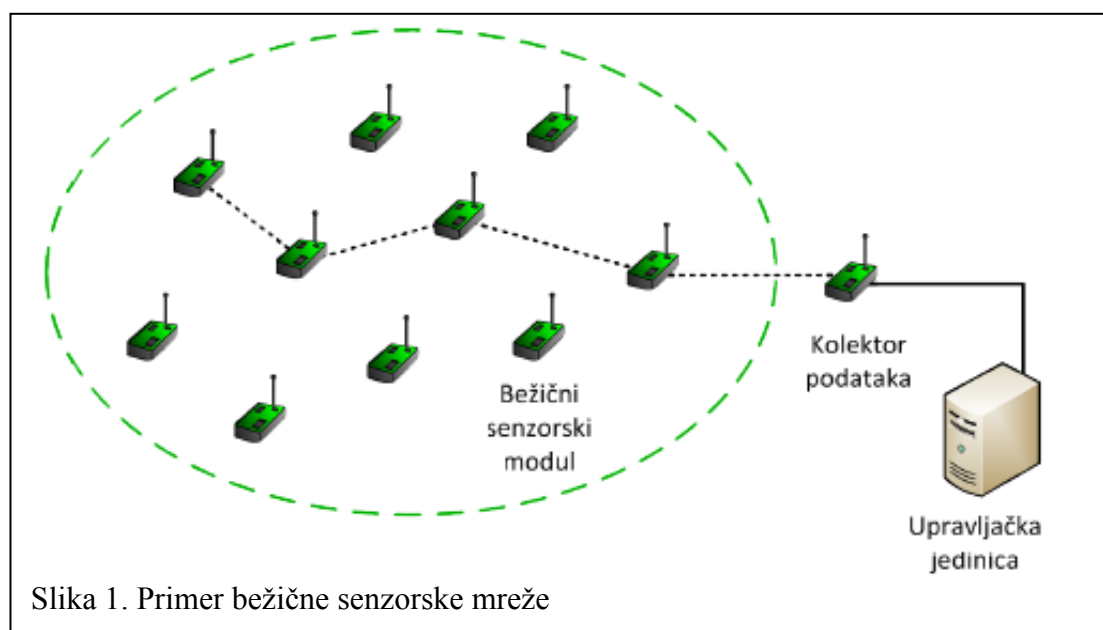
U zaključku se iznose razmišljanja na prikazanu temu, i na budućnost primene senzorskih mreža u medicini.

2.4. Metodi istraživanja i tehnike istraživanja

Metodologija istraživanja za ovaj rad svela se pre svega na korišćenje Internet resorsa, uz konsultovanje profesora i predavača sa tehničkim znanjem iz ove oblasti. Takođe je ostvaren kontakt i sa lekarima koji su uz svoj skroman doprinos pomogli izradi ovog rada. Na internetu postoji dosta informacija na ovu temu, međutim, redje se kod nas mogu pronaći ljudi iz medicinske struke koji mogu da pruže kompletan uvid u funkcionisanje ovog uređaja u realnom vremenu. Ideja jeste da ovaj rad posluži ljudima koji poseduju interesovanje iz ove oblasti sa pružanjem relevantnih informacija po pitanju funkcionisanja bežičnih senzorskih mreža u medicini.

3. Uvod u bežične senzorske mreže

Pojam bežičnih senzorskih mreža se odnosi uglavnom na mreže koje su sastavljene od minijaturnih autonomnih senzorskih uređaja koji su sposobni za senzorsko merenje, obradu informacija, a takodje poseduju i mogućnost komunikacije na radio frekvenciji. Ove mogućnosti često dolaze kao integrisane u sklopu ovih senzorskih uređaja. Često se u upotrebi može naići i na naziv „bežični senzorski moduli“. Ovi senzorski uređaji su često osposobljeni za merenje različitih parametara iz okruženja. Na primer, mogu da mere temperaturu, vlažnost vazduha, zvuk, hemijske supstance, ultrazvuk, infracrvene zrake, a mogu takodje da mere i magnetno i električno polje, itd. Nakon merenja svih ovih podataka šalju bežičnim putem do centralne jedinice i/ili aplikacije sistema. Bežični senzorski moduli uglavnom dolaze u malom pakovanju, a imaju i malu cenu i nisku potrošnju električne energije. Najčešće se napajaju baterijama, ali i drugi izvori energije dolaze u obzir, primera radi – solarna energija, energija pokreta, toplotna energija i sl. Primer bežične senzorske mreže možemo videti na **slici 1**.



Slika 1. Primer bežične senzorske mreže

Vek trajanja im je od nekoliko meseci pa do nekoliko godina, u zavisnosti od toga za šta se koriste. Bežični senzorski moduli ispunjavaju zadatak merenja određene pojave u okolini u kojoj se nalazi. Ti podaci se u izvesnoj meri obrađuju i nakon toga se šalju dalje do centralne upravljačke aplikacije ili centralne jedinice mreže. Bežični senzorski moduli mogu da prosledjuju podatke direktno, ali kako bi se sačuvala energija, najčešće se informacije šalju uz pomoć tj. preko drugih bežičnih senzorskih senzorskih modula koji se nalazi u okolini modula koji šalje podatke. Ova zadnje pomenuta vrsta slanja podataka se naziva i „multihop“ komunikacija koja predstavlja prenos informacija od jednog do drugog modula tj. predstavlja komunikaciju u više skokova. Preko bežičnih senzorskih modula koji se koriste za komunikaciju, može da se izvrši i fuzija podataka koji su dobijeni sa senzora, a sve u cilju odstranjivanja informacija koje nose grešku. Određeni bežični senzorski moduli su još sposobni izvlače zaključke od podataka koji su dobijeni merenjem sa više različitih senzora nakon čega se ovi podaci prosledjuju opet centralnoj sistemskoj jedinici ili aplikaciji. Takodje je moguće merenje u okviru određenog vremenskog perioda. Bežični senzorski moduli poseduju mogućnost razmene informacija bežičnim putem sa

ostalim modulima, a izvesna rešenja nude mogućnost i samoorganizacije zarad formiranja nove bežične senzorske mreže. Postoje nekoliko tehnologija koje su značajno uticale na razvoj bežičnih senzorskih mreža, i to su:

- MEMS tehnologija (Micro-Electro-Mechanical systems) tj. mikro-elektro-mehanički sistemi, i ova tehnologija je omogućila da se u minijaturne čipovi smeste senzori i senzorski delovi.

- Digitalna elektronika – ova tehnologija je otvorila prostor da mikrokontroleri dobiju dovoljno resursa i mogućnosti kako bi mogli da obrade informacije koje im senzori šalju.

- Komunikacione i informacione tehnologije su dale bitan doprinos razvoju bežičnih senzorskih mreža. Ove tehnologije su pružile rešenja kako bi senzori mogli da šalju informacije drugim bežičnim senzorskim modulima i glavnoj upravljačkoj aplikaciji i glavnom senzorskom modulu u okviru sistema. Dalja istraživanja idu ka tome da se smanje dimenzije senzorskih modula kroz dodatni razvoj materijala, senzorske tehnologije itd. a cilj je da se poveća tačnost vremenskog odziva senzorskog modula što će na kraju omogućiti sve veću prisutnost senzorskih rešenja u okviru različitih sistema. Uopšteno gledano, cilj je i da se poveća životni vek senzora i senzorskih modula i da se unaprede njihove performanse, a kruna tog uspeha bi trebala da bude smanjenje troškova proizvodnje. Bežične senzorske mreže su prvu primenu našli u vojnoj industriji. Jedan od prvih bežičnih senzorskih sistema je SOSUS (Sound Surveillance System) tj. sistem za nadzor zvuka. Ovaj sistem je razvila vojska SAD 1950 godina, i sastojao se od zvučnih senzora koji su bili locirani na strateškim mestima na dnu Atlanskog i Tihog okeana, a služio je za pronalaženje i nadzor SSSR podmornica. SOSUS je i danas funkcionalan a namena mu je promenjena i sada služi za nadzor vulkanskih aktivnosti i praćenje morskog života. Ovaj sistem je udario temelje razvoja tehnologija koje su bile ključne za moderne senzorske mreže, nezavisno od prvobitne vojne namene. Medjutim tek je sa pojavom programa distribuiranih senzorskih mreža (Distributed sensor networks – DSN) koji je startovala agencija DARPA – (Defence Advanced Research Project Agency tj. agencija za napredne odbrambene istraživačke projekte) tokom 1980 godina, su zvanično započeta ispitivanja i istraživanja sa ciljem primene distribuiranih bežičnih senzorskih mreža. Kako je već postojao ARPANET (preteča Interneta) koji se sastojao odprilike 200 povezanih uređaja koji su se nalazili na raznim lokacijama širom SAD, postojala je ideja da se komunikacioni sistem koji je primenjen na ARPANET-u, primeni i u radu distributivnih senzora.

Ideja za funkcionisanje distribuiranih senzorskih mreža se zasnivala na tome da to budu mreže velikog broja malih senzorskih uređaja, koji funkcionišu nezavisno, ali koji i dalje vrše razmenu informacija izmedju sebe, gde svaki senzor koji primi informaciju može da je upotrebi na najkorisniji način. Medjutim za potpunu realizaciju ovakve zamisli nisu postojale adekvatne tehnologije, zbog toga što su senzori u tom vremenskom razdoblju bili veoma veliki (veličine kutije za alat), a nisu bile dostupne ni adekvatne tehnologije za bežičnu razmenu informacija, za ovo polje istraživanja i primene.

Kako je vreme prolazilo, zadovoljeni su potrebni zahtevi u vidu adekvatnih senzora, bežičnih komunikacionih protokola, potrebnih algoritama, pojedinosti u vezi obrade

podataka, stvoren je adekvatan softver i veštačka inteligencija, a pojavile su se i željene tehnike za rešavanje distributivnih problema. Daljim razvojem distributivnih senzorskih mreža, postala su sva češća istraživanja senzorskih mreža u akademskim i civilnim krugovima. Značajni napretci na polju komunikacionih, računarskih i MEMS tehnologija, zajedno sa nižim cenama senzora i njihovom mogućnošću korišćenja bežičnog načina razmene podataka, dodatno je su omogućili razvoj bežičnih senzorskih mreža, i otvorili su vrata za ostvarenje prvobitnih zamisli koju je postavila DARPA za distribuirane senzorske mreže.

Nakon toga, DARPA je nastavila rad na ovom polju i u okviru SensIT (engl. Sensor Information Technology) programa, omogućene su nove tehnike umrežavanja za dinamična ad-hoc okruženja i obrade informacija sa mreže u cilju dobijanja korisnih, pravovremenih i pouzdanih informacija.

Današnji senzori i senzorski moduli su veoma napredni i imaju značajne mogućnosti u odnosu na senzore od pre 20-30 godina. Senzorski uređaji su danas sposobni da mere različite pojave iz našeg okruženja (od kvaliteta vazduha, požara, do zdravstvenih detalja pojedinca, pa do nadzora u fabričkoj proizvodnji, daljinskog upravljanja pametnih prostorija itd.), a područja primene su u porastu.

4. OSI model prilagodjen bežičnim senzorskim mrežama

Bežične senzorske mreže (BSM) su mreže sastavljene od manjih senzorskih čvorova sa limitiranim računarskim karakteristikama, koji imaju mogućnost samostalnog sakupljanja, sortiranja i slanja informacija. Tako čvorovi grade multihop radijsko-frekvencijsku mrežu čija je struktura decentralizovana, gde sasvim nezavisno održavaju vezu među sobom, nezavisno od njihovog broja i rasporeda u prostoru senzorskih čvorova.

Broj senzorskih čvorova se može stalno menjati, čineći topologiju mreže promenljivom. Senzorski čvorovi se mogu isključiti sa mreže prekidom rada, zbog kvara ili nestanka električne energije i sl. . Dodavanjem novog senzorskog čvora može se u potpunosti izmeniti topologija date mreže. BSM ne postavljaju uslov postojanja fiksnih infrastruktura da bi bile u funkciji. Podaci se mogu razmenjivati među senzorskim čvorovima bez postojanja pristupne tačke ili bilo kakvih mrežnih uređaja koji su u upotrebi u bežičnim mrežama. Tako su senzorski čvorovi sposobni za komunikaciju na većim daljinama (multihop komuniciranje) od dometa pojedinačnog senzorskog čvora. Taj domet je najčešće prilično mali, između 10 i 50 metara. Mogućnost multihop komunikacije stvara dve funkcije senzorskih čvorova u mreži: hostovanja i rutiranja.

Pored prikupljanja podataka iz prostora koji nadzire, svaki čvor preuzima podatke drugih čvorova i šalje ih drugim senzorskim čvorovima. Tako transfer informacije angažuje više čvorova, prilikom čega dolazi do porasta u potrošnji energije. Broj uključenih čvorova je određen osobinama medijuma prenosa i od toga koji su protokoli rutiranja u upotrebi.

Ovo su neki od parametara od kojih zavisi komunikacija među čvorovima: potrošnja, vrste prenosa i modulacije, promenljivost kvaliteta veze, interferencija, (fadeing)

feeding, oslabljivanje signala dok se prostire. Ako se mreža postavi dinamički, tako da sama pronalazi puteve rutiranja, ovi negativni uticaji se mogu minimizovati. BSM se diferencira od drugih wireless sistema najviše potrošnjom energije. Pošto je energija na raspolaganju obično ograničena kapacitetom baterija ($<0,5$ Ah, 1,2 V) sa najčešće teško izvodljivom zamenom, vek trajanja i rada senzorskog čvora, a time i mreže, direktno zavisi od energije koju ima na raspolaganju. U multihop mrežama ovo ima i veći značaj zbog dve funkcije svakog čvora.

Energetska efikasnost čvorova je na prvom mestu pri kreiranju aplikacija koje rade u ovakvoj mreži.

4.1. Referentni modeli

Bazična komunikacija je sastavljena od transmisije informacija od nekog izvora do cilja. U ovom slučaju funkcionišu dve aplikacije od kojim svaka radi na po jednom kompjuteru, a međusobno su povezane i vrše razmenu informacija. Aplikacija koja šalje informacije ih priprema (kodira, komprimuje, štiti) i šalje medijumu kroz koji je povezana sa drugom aplikacijom. Druga aplikacija informacije preuzima, dekodira ih i prikazuje. Proces je deljiv na nekoliko nivoa koji se ponavljaju na strani slanja i na

strani prijema.

Model koji se najčešće koristi za opisivanje procesa komuniciranja je OSI (Open Systems Interconnection).

Njega čini sedam nivoa u međusobnoj vezi zajedno čineći celinu. Sada je OSI u upotrebi kao referenca kada se pored procesi komunikacije. Na slici 2. se nalazi prikaz poređenja slojeva OSI, TCP/IP i WSN modela.

Nivo aplikacije	Nivo aplikacije	Nivo aplikacije
Nivo prezentacije	Socket povezivanje	Nivo srednjeg sloja Operativni sistem
Nivo sesije		
Transportni nivo	Transportni nivo TCP UDP	Transportni nivo
Mrežni nivo	Mrežni nivo IP ICMP	Mrežni nivo
Nivo veze	Nivo veze ARP,RARP,NDIS	Nivo veze
Fizički nivo	Fizički nivo	Fizički nivo
a. OSI ref.model	b. TCP/IP model	c. WSN model

Slika broj 1.

Slika 2. Prikaz uporednih referentnih nivoa OSI modela, TCP/IP modela i WSN modela .

4.2. Fizički nivo i potrošnja električne energije

Pravi izbor komponenata koji čine senzorski čvor se rešava na ovom nivou. Tu su bitni sledeći elementi: potrebno je odabirati komponente koje pokazuju malu potrošnju, mogućnost više statusa rada (active, idle, sleep itd), mogućnost neposredne dinamičke kontrole rada. Došlo je do razvoja efikasnije upotrebe energije i smanjenje njenog neracionalnog gubljenja u senzorskom čvoru. Ovaj nivo, za razliku od svih ostalih, omogućava da pored potrošnje dođe i do stvaranja dodatne energije.

Baterija koja daje energiju senzorskom čvoru ima limitiranu količinu koju može da skladišti. Tako i svaka BSM ima limitirano trajanje, jer baterija najčešće nije

zamenljiva. To dovodi do veće eksploatacije prirodnih izvora energije. Ova tehnika je označena izrazom „energy harvesting“ ili „power scavenging“. Najbolje funkcioniše na aplikacijama koje troše veoma malo energije u kontinuitetu ili troše punu snagu u kratkim periodima. Ovako i rade senzorski čvorovi, čineći „energy harvesting“ pogodnom tehnikom dolaženja do dodatne energije. Izvori energije iz spoljašnjih izvora mogu biti kretanje vazduha ili vode, sunčeva energija, energija toplote, ljudskog kretanja, toplote tela i toka krvi, energija elektromagneta iz induktora, kalema i transformatora itd.

4.3. Nivo veze

Problemi koji se obrađuju kod ovog nivoa su osluškivanje medijuma, ponovljena slanja zbog nastalih kolizija, udvostručeni prijem kao i slanje podataka za kontrolu koji nisu neophodni. Sve ovo se rešava da bi se smanjila potrošnja energije koju oni izazivaju. Rešenja zavise od podnivoa gde se problemi dešavaju. Za LLC podnivo koriste se ARQ (Automatic Repeat Request), FEC (Forward Error Correction), kao i „scheduling“ protokoli gde senzorski čvorovi komuniciraju u izdvojenim virtuelnim kanalima koji se razlikuju ili po vremenu (TDMA-Time Division Multiple Access), frekvenciji (FDMA-Frequency Division Multiple Access) ili posebno kodiranim podacima (CDMA-Code Division Multiple Access).

Druga grupa vrši se na MAC podnivou, gde su bitni „sleep scheduling“ protokoli. Ovi protokoli prema rasporedu vrše uključanje i isključenje delova senzorskog čvora u cilju štednje energije. Imaju veliku efikasnost, mada zahtevaju vrlo precizno vremensko sinhronizovanje među umreženim čvorovima.

4.4. Mrežni nivo

Na mrežnom nivou bazična operacija koju treba izvesti je ispravno uvezivanje paketa informacija između dva umrežena uređaja. Kod BSM ovaj sloj može biti od značaja pri čuvanju energije jer je u pitanju „multihop“ mreža u kojoj više od jednog čvora prenosi informaciju. Dobrim izborom putanja za slanje paketa podataka se pored čuvanja energije ujednačenije koriste svi senzorski čvorovi u mreži. Ovo se rešava na dva načina: kreiranjem okosnice rute (backbone) i kontrolisanjem topologije u mreži. Oba pristupa deluju između sloja podataka i sloja mreže, zato sto su u sloju sa podacima sve informacije potrebne za definisanje odluke o usmeravanju. Te informacije omogućuju protokolima usmeravanja da saznaju detalje o okolnim čvorovima i gde su pozicionirani. Te informacije su osnova za određivanje najpovoljnije rute za slanje podataka, kao i koliko je energije potrebno bi podatak stigao do ciljnog čvora.

4.5. Transportni nivo

Ovaj nivo je odgovoran za sigurnu isporuku informacija što se obezbeđuje sa najmanjom mogućom količinom kontrolnih poruka. Protokol transport je od važnosti jer može da redukuje količinu ponovljenih slanja već poslatih poruka. Energija se čuva tako što se paketi kreiraju tako da header bude mnogo manji od upotrebljivih informacija.

Ovi protokoli obavezno imaju i načine kontrole obima saobraćaja da ne bi došlo do

preopterećenja čvorova i prekida u vezi. Svi čvorovi moraju biti tretirani jednako i izloženi ravnomernom opterećenju. U ovom sloju protokoli nisu bili previše istraživani do pojave multimedije i rasta količina informacija koje se šalju, tada je čuvanje energije počelo da se značajnije istražuje i u ovom sloju.

4.6. Nivo srednjeg sloja

Rezultati rada BSM zavise i od toga koji je operativni sistem u upotrebi na svakom od čvorova. OS utiče na potrošnju, responsivnost, kvalitet, bezbednost, brzinu razmene podataka itd. Neki OS su posebno kreirani za BSM a najzasstupljeniji su TinyOS, Contiki, Mantis, LiteOS itd. Oni rade da omoguće siguran i pouzdan rad i da prilagođavaju potrošnju potrebama aplikacija. Optimizacija potrošnje je zadatak OS-a i on to čini kroz duty cycling (vremena rada i isključenosti) senzorskog čvora. U radnom modu čvorovi pokazuju više potrošnje ($>100\text{mW}$) nego u modovima idle, sleep itd, tako da samo uključenosť ili samo isključenosť nije dovoljna metoda za najbolje raspolaganje energijom. „Dynamic Power Management“ (DPM) je jedna od metoda u upotrebi. Kod DPM-a, OS sve vreme prilagođava potrošnju trenutnim potrebama aplikacije ili procesa. OS to radi uključivanjem ili isključivanjem delova senzorskog čvora, menja frekvenciju sistemskog sata ili prati upisivanje ili čitanje iz i u memoriju.

4.7. Nivo aplikacije

Čuvanje energije se značajno poboljšava ako se smanji količina podataka koji bivaju poslati. Sa aspekta štednje, manje energije se potroši da se poruka koja se šalje smanji za 1 bit, nego da se taj bit pošalje. To se radi na dva načina: formiranjem grupa od dobijenih podataka i kompresijom informacija za slanje. Grupisanje i brisanje pojedinačnih grupa podataka je najjednostavnije jer više senzorskih čvorova u bežičnoj senzorskoj mreži mogu imati slične podatke i time opterećivati razmenu informacija u mreži. Slične informacije se isključuju ovakvim funkcijama: brisanjem dvostrukih informacija, min, max ili određivanjem srednje vrednosti od dobijenih informacija. Ovo se vrši potpuno ili delom na svakom čvoru, čime se u okviru multihop topologije mnogostruko smanjuje količina nepotrebnih podataka. Kompresijom informacija za slanje se saobraćaj svodi na minimum i ujedno one bivaju zaštićene.

Na nivou aplikacije postoji najviše metoda, među kojima su i:

- Load Partitioning: mogućnosť da se energentski zahtevne operacije prebace čvorovima koji nemaju ograničene energetske potencijale
- Data Aggregation/Fusion: sazimanje velike količine sličnih informacija u jednom čvoru i prosleđivanje drugim čvorovima
- Kompresija informacija: tehnika od posebnog značaja za prenos multimedije
- Kontrola potrošnje: zasebni moduli se bave potrošnjom u svakom čvoru kao i informacijom koliko je energije preostalo u njemu. Ako se zaključi da nije ostalo dovoljno energije, aplikacija prelazi u mod izvođenja samo vitalnih zahteva radi produženja trajanja rada čvora.

4.8. Povezanosť izmedju nivoa

Uzevši u obzir obrađene tehnologije može se zaključiti da nijednu tehniku ne možemo izolovati samo na jednom nivou. Većina je jako zavisna jedna od druge, te je u poslednje vreme pažnja usmerena na protokole koji obuhvataju više nivoa (Cross Layer Design). Moguće je prepoznati tri bazične tehnike koje imaju primenu u energetski efikasnim aplikacijama za BSM:

„Duty Cycling“ - zadržavanje komponenti što je duže moguće u modu minimalne potrošnje (idle, sleep). Ovaj mod zahteva još neke tehnike da bi rad svih senzorskih čvorova bio pouzdan. To je najpre vremenska sinhronizacija čvorova u mreži. „Data-driven Approach“: ova tehnika eliminiše nepotrebne i dvostruke informacije i kontroliše potrošnju svih čvorova pomoću umanjavanja saobraćaja između čvorova ako je potrošnja uvećana.

„Mobility“: Saobraćaj je intenzivniji oko centralnog čvora (sinka), pa čvorovi u blizini brže gube energiju od onih na perifernim delovima mreže, čime je moguće ugrozavanje rada mreže. Ovom tehnikom se bez prekida rada menja odrednica koji će čvor biti glavni i time ujednačava potrošnja na svim čvorovima.

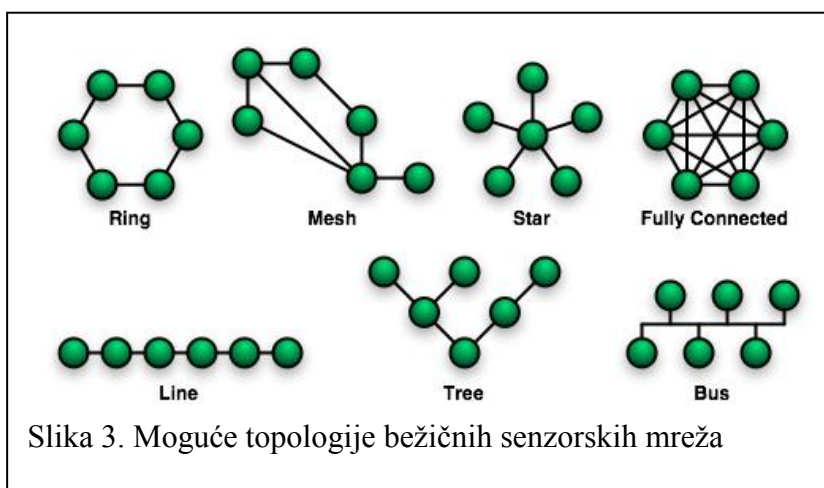
5. Pregled mrežnih topologija i standarda koji se koriste u bežičnim senzorskim mrežama

5.1. Topologija bežičnih senzorskih mreža

Topologija mreže je raspored uređaja i veze između njih. Logička topologija određuje načine i puteve komuniciranja. Fizička topologija rešava fizički aspekt mreže - fizičke pozicije uređaja. Ove dve topologije nisu obavezno iste, ali logička i njeno kreiranje je vezana za fizičku. Topologija zvezde, magistrale i mrezasta su najviše u upotrebi. Zvezdasta je ona u kojoj su svi uređaji spojeni na centralnu stanicu kroz sopstveni medijum (fizičku zicu ili određenu sopstvenu frekvenciju u bežičnoj mreži).

U ovoj topologiji centralna stanica zahteva veću procesorsku moć zbog istovremene komunikacije sa više uređaja. Ako je mreža zičana, uvećani su troškovi. Topologija magistrale (glavnog busa) ima sve uređaje vezane na centralnu stanicu kroz jedan zajednički medijum-magistralu. Centralna stanica može komunicirati sa samo jednim uređajem u datom trenutku. Protokol mora biti pouzdaniji, a ako je zičana mreža troškovi su manji. Kod mrežaste (web, mesh) topologije svi uređaji su spojeni na najmanje još dva uređaja (ili svi međusobno) a ako postoji - i glavnu stanicu. Ovako funkcioniše Internet. Zbog promenljive prirode skupa mogućih veza, mnoge bežične mreže koriste donekle ovaj princip. Postoje i druge topologije, kao što su point-to-point i multidrop.

Kod point-to-point topologije ne postoji grananje veza (izuzev centralne stanice). Ovakva mreža ima centralnu stanicu vezanu na prvi uređaj, on sa drugim itd. i to su primeri topologije zvezde ili linije. Kod multidrop mreže svi uređaji imaju više konekcija sa drugim uređajima, a „web“ pripada ovoj topologiji. Mreža je single-hop ili multi-hop u zavisnosti od toga da li podatak stiže iz uređaja pravo u centralnu stanicu ili ide u više koraka kroz druge uređaje. Zbog ograničenja u dometu radio



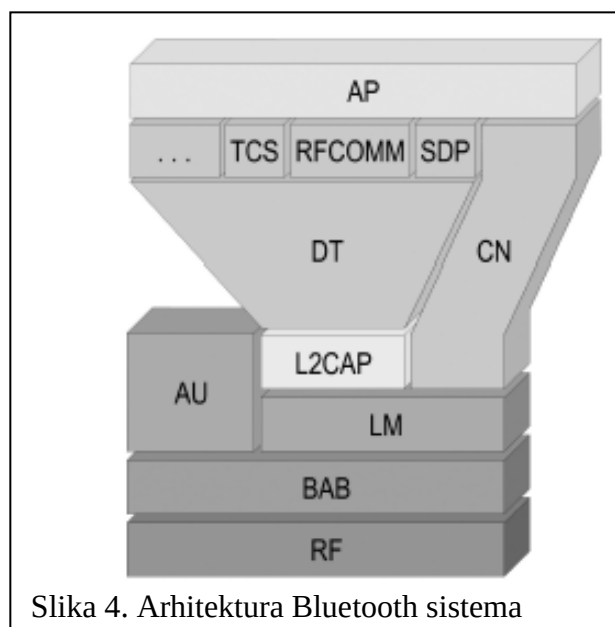
Slika 3. Moguće topologije bežičnih senzorskih mreža

uređaja, u bežičnim mrežama je često u upotrebi multi-hop. Topologija jedne mreže često ne pripada strogo jednom tipu navedenih mreža. Često se dešava da mreža bude zvezda koja se grana, gde su neki uređaji čvorovi (hubovi)

sekundarnih zvezda. To je multihop mreža. Najbolja konfiguracija mreže je uslovljena sredinom, kao i funkcijom i položajem uređaja. Kod BSM nema fizičkih veza među uređajima pa se topologija donekle može određivati i tokom rada. Ovo je važno za mreže koje imaju mnogo uređaja ili one kreirane da bi bile mobilne. Mreža se konfigurira prilikom postavke ili povremeno, tokom korišćenja. **Primere topologije bežičnih senzorskih mreža možemo videti na slici 3.**

5.2. Standard Bluetooth

Ericsson 1994. uvodi „Bluetooth“ standard za upotrebu u bežičnim vezama. U prvom momentu je imao namenu u bežičnom povezivanju mobilnih uređaja, naprimer PDA, a kasnije da bi se povezivali računari.



Slika 4. Arhitektura Bluetooth sistema

„Bluetooth SIG“ je ime organizacije proizvođača za razvoj i unapređenje ove tehnologije. Tradicionalni Bluetooth sistem za osnovnu jedinicu ima piconet (piconet) mrežu. Ona je sastavljena od dva ili više uređaja na istom fizičkom kanalu. Takt u piconet mreži je isti kao i onaj u glavnoj stanici (masteru). Ostali uređaji u sinhronizaciji sa glavnim uređajem su prateći uređaji (slave). Kada prateći uređaj nije u radu (u piconet kanalu) a i dalje je u sinhronizaciji, ulazi u stanje neaktivnosti (standby). Prateći uređaji u kanalu piconeta ne mogu direktno da komuniciraju među sobom. Opseg

frekvencije od 2,4GHz je podeljen na 79 kanala od po 1MHz, i modulacija koja se koristi je GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying).

U tradicionalnom vremenskom multipleksu glavni uređaj upotrebljava neparnu vremensku jedinicu (625 ms) a prateći parnu u komunikaciji. U Bluetooth standardu nije definisana razbacana (scatternet) mreža. U jezgru Bluetooth sistema nalaze se

četiri najniža sloja i prateći protokoli sadržani u Bluetooth specifikaciji, protokol za detektovanje usluga (Service Discovery Protokol - SDP) kao i generički profil pristupa (Generic Access GAP). Definisani protokoli viših slojeva i dodatnih usluga su potrebni za potpunu Bluetooth aplikaciju i primenu.

Dijagram Bluetooth sistema predstavljen je na **slici 4.**, a obeleženi su slojevi i odgovarajući protokoli:

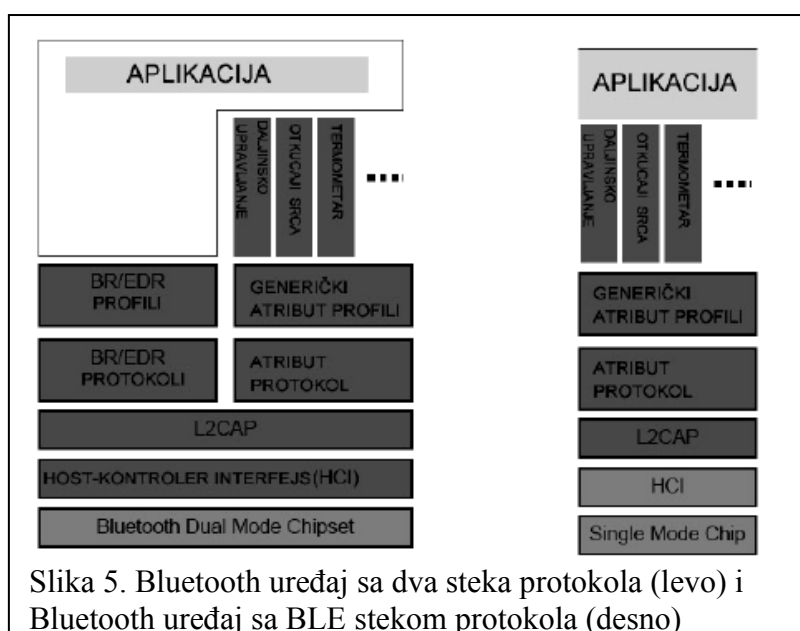
-niži slojevi i odgovarajući protokoli: radio (Radio Frequency-RF), osnovni opseg (Baseband-BAB), audio (AU), nadziranje veze (Link Manger-LM), kontrola i adaptacija veze (Logical Link Control and Adaptation Layer Protocol-L2CAP)
 -viši slojevi: podaci (Data-DT), sloj protokola vezanih za razne interfejs (Telephony Control Protocol Spec-TCS, Serial cable emulation protocol-RFCOMM, Service Discovery Protokol-SDP) i aplikacije (Application -AP), i
 -kontrola (Control -CN).

Da bi uređaj mogao da koristi Bluetooth mrežu mora da bude sposoban za interpretaciju definisanih profila. Profili su aplikacije kod kojih je svaka sposobna za podršku različitom skupu protokola. Postoji mogućnost uspostavljanja sinhronne veze orijentisane na konekciju ili asinhronne, gde se konekcija ne uspostavlja. U "Sniff" režimu uređaj smanjuje potrošnju energije i time baterija može da traje i do 30 dana. Potrošnja iznosi oko 40-50mA u stanju aktivnosti, a u "Sniff" režimu 1-5% od toga.

5.3. Bluetooth 4.0 Low Energy (BLE)

Verzija 2 i verzija 3 Bluetooth standarda su imale teznju ka što većim brzinama audio i video protoka. Kod Bluetooth 4.0 standarda ovo nije ključni parametar. Podaci se šalju brzinom do 1Mb/s i nije predviđen za strimovanje nego za slanje podataka u malim delovima. Potrošnja kod ovog protokola je umanjena na ~15mA i na ~1μA u standby režimu. Značajno je smanjeno i kašnjenje (3ms). Opseg frekvencije u upotrebi je 2,4GHz, a modulacija signala je GFSK. Ima podršku za topologiju zvezde kao

komunikaciju zasnovanu na događajima (event based). Bateriji se produžava trajnost sa meseci na godine. Stek protokola je pojednostavljen i lak.



Slika 5. Bluetooth uređaj sa dva steka protokola (levo) i Bluetooth uređaj sa BLE stekom protokola (desno)

Bluetooth uređaj koji koristi dva steka protokola (levo) i Bluetooth uređaj sa BLE stekom protokola (desno). Na fizičkom sloju u upotrebi je 40 kanala od po 2MHz. Za oglašavanje (advertising) odvojena su tri kanala i ostalih 37 za prenos podataka. Kanale za

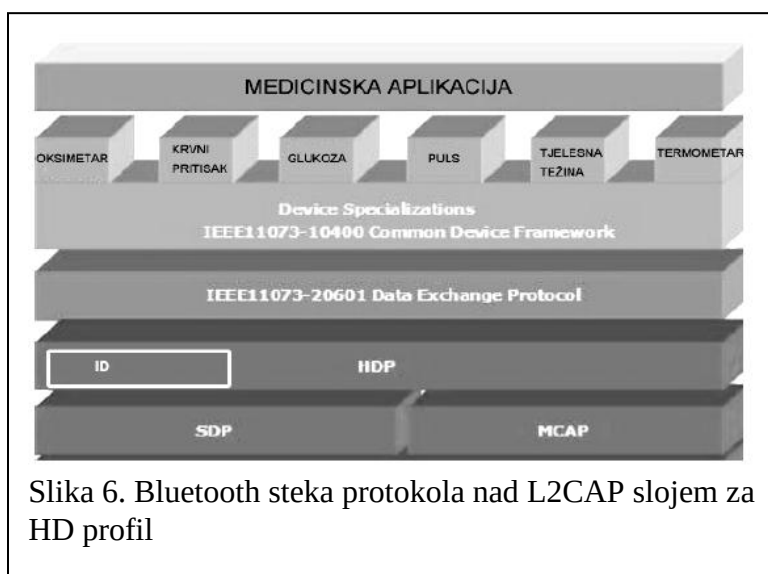
oglašavanje (advertising) glavni uređaj može upotrebiti da komunicira svoje prisustvo pratećima, ali i oni kroz ovaj režim mogu opet da kontaktiraju mrežu ako dodje do promena. Implementirani su i generički profili zasnovani na atributima da bi se postiglo pojednostavljivanje uređaja i programa koje koriste. Za bezbednost informacija u upotrebi je 128/bit AES simetrični šifrat. Određuje generičke gateway lokacije koji podatke sa senzora šalju na željenu IP adresu.

Ovi uređaji imaju standardni „Bluetooth“ stek protokola (Basic Rate/Enhanced Data Rate) kao i stek za BLE (slika. 5.)

Protokol koji se zasniva na atributima je asinhrona klijent/server arhitektura gde klijent koristi attribute koje server ponudi. Svi atributi imaju 16-bitne adrese ukoliko je definisan od strane „Bluetooth SIG“. Ako proizvođač određuje attribute adresa je 128-bitna. Prema njima se donosi definicija generičkih profila a profili posebnih namena su iznad njih. Pomoću BLE možemo: povezati aparate koje nosimo (satove), locirati ili pratiti objekte, koristiti senzore iz oblasti zdravlja i fitnesa, automatizovati domove i kancelarije, ostvariti M2M i komunikaciju u sistemu (kao točkovi i gume na vozilima), ili povezati sve što se može identifikovati sa „Internetom stvari“ (Internet of Things). U aplikacijama vezanim za zdravstvo, otklonjeni su različite manjkavosti tradicionalnog „Bluetooth“ standarda.

5.4. BLE Health Device Profile (HDP) profil

Stek protokola karakterističan za HDP profil je na **slici 6**. Primena u medicini prikazuje korisnički interfejs, mogućnost primene i spajanje sa IEEE 11073/20601 stekom protokola. HDP ne određuje format i sadržaj podataka.

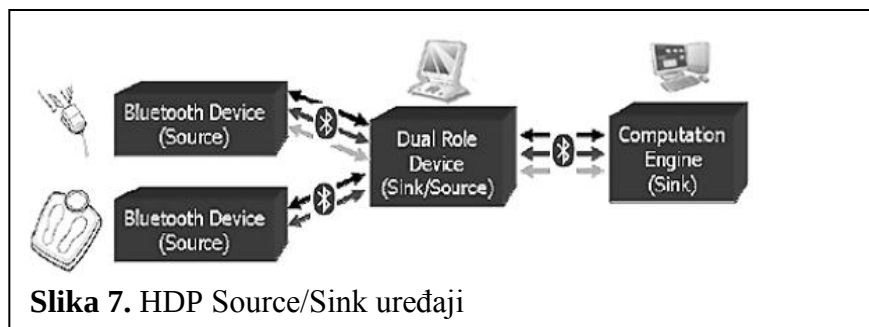


Bluetooth SIG za HDP IEEE 11073-20601 označava način prenosa informacija između HDP i IEEE 11073-104xx specifikacije (Device Specification). IEEE 11073-20601 određuje protokol za prenos informacija, a IEEE 11073 određuje format informacija (veličina i kodiranje informacija koje se prenose između HDP uređaja). „Device ID

Profile“ omogućuje informacije karakteristične za uređaj upotrebom Service Discovery Protocol (SDP). HDP kontaktira MCAP sloj, a i SDP sloj prilikom konekcije na udaljeni HDP aparat. Svi Bluetooth profili rada upotrebljavaju SDP za registraciju ili otkrivanje mogućih servisa udaljenog uređaja. MCAP koristi HDP za stvaranje posebnih veza kojima šalje generičke komande medicinskog profila (Medical Communication Link - MCL), kao i veze (ili više njih) za slanje medicinskih podataka (Medical Data Link - MDL).

MCAP je karakterističan za HDP i pruža pouzdanu komunikaciju koja uključuje i protok podataka. Postoje dve vrste uređaja: centralna jedinica (sink) i izvor (source). Izvor u vidu malog uređaja funkcioniše kao predajnik za medicinske podatke. Na **slici 7.** možemo videti primer HDP Source/sink uređaja. Centralna jedinica je uređaj bogat funkcijama koji ima ulogu prijemnika.

Dva source uređaja eksploatišu bezbedne i kanale protoka informacija u svrhu slanja



Slika 7. HDP Source/Sink uređaji

obrađuju

ka drugom uređaju koji funkcioniše kao prijemnik i displej informacija a onda i kao izvor informacija za uređaje koji podatke.

HDP/MCAP koristi komunikacijsku vezu koja brzo otkriva prekide i ispravlja ih uspostavljajući L2CAP kanal. Među uređajima postoji kontrolna konekcija i jedna ili dve za podatke. U cilju bolje analize medicinskog radnika, više senzorskih HDP signala se sinhronizuju. To se izvodi kroz Bluetooth master takt i offset takt source uređaja.

5.5. ZigBee standard

Kako su se bežične senzorske mreže razvijale i postajala sve više prisutne u našem okruženju, postojala je potreba da se definišu protokoli za rad u okviru ovih mreža. Jedan od ovih standarda je i 802.15.4 koji je definisala IEEE. Nakon objave 802.15.4 standarda, ZigBee alijansa objavljuje ZigBee standard kome je osnova 802.15.4. standard, a koji definiše gornje slojeve OSI modela koji se koristi u bežičnim senzorskim mrežama. Iako je ZigBee standardu osnova IEEE 802.15.4 standard, ova dva pojma se smatraju za istu "stvar". Danas se „Zigbee“ često koristi kod bežičnih senzorskih modula za komunikaciju (IRIS, Telos/Tmote, MicaZ itd.).

ZigBee alijansa je savez (skupina) sa više od 285 kompanija. Cilj saveza jeste razvoj bežičnih mreža koje mogu imati veliki broj uređaja, koje poseduju mogućnost malog prenosa podataka (ciljani prenos je 250 kb/s), koje su jeftine i jednostavne, pouzdane i koje troše malo energije. Pored toga, još jedna od osobina koju ZigBee mreža treba da ima jeste mogućnost samoprilagodjavanja i preusmeravanja poruka, i mogućnost rada u nelicenciranim slobodnim frekvencijskim opsezima.

Takodje, ZigBee savez sprovodi kontrolu proizvoda tj. program sertifikovanja uređaja koji su proizvedeni po ovom standardu, nakon čega (u slučaju uspešne sertifikacije) proizvod može da dobije logotip ZigBee alijanse. ZigBee stek protokola možemo videti na **slici 8.**

Najviši nivo ZigBee protokola je „APL“ tj. aplikacioni sloj. Aplikacioni sloj čine: Aplikacioni okvir (Application Framework)

- Obezbeđivanje specifikacije preko koje je moguće kreirati profil na ZigBee steu predstavlja osnovnu funkciju aplikacionog okvira, a sve u cilju postojanog i održivog načina generisanja profila.

ZigBee objekt uređaja (ZDO – ZigBee Device object)

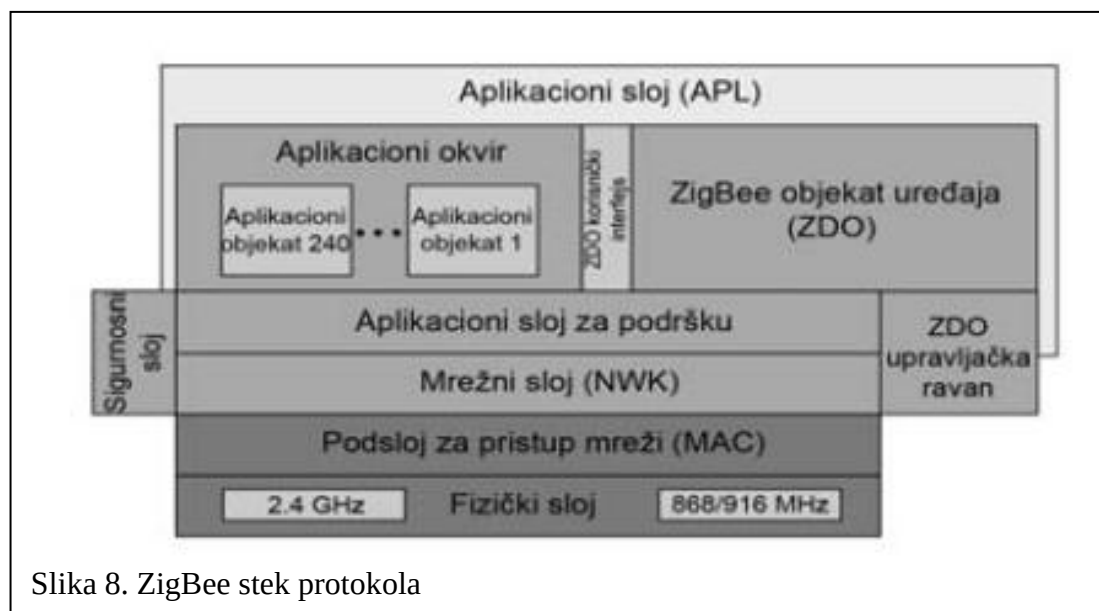
- ovde se određuje koju ulogu uređaj ima u okviru ZigBee mreže. Dodatno, startuje se i/ili odgovara na zahteve za povezivanje ili za otkrivanje rute, a uspostavljaju se i sigurne veze između mrežnih uređaja.

Aplikacioni podsloj za podršku (APS – Application Support sublayer),

- ovde vidimo sličnost sa TCP/IP protokolom. Sličnost se ogleda po pitanju pružanja podrške aplikacionim uslugama, međutim, za razliku od TCP/IP protokola, aplikacioni podsloj za podršku ne obezbeđuje kontrolu toka podataka.

Aplikacioni objekat (AP – Application Support object)

- "end point" softver koji upravlja operacijama i funkcijama uređaja.



Slika 8. ZigBee stek protokola

Sledeća posebna oblast predstavlja ZDO upravljačka ravan (ZDO Management Plane). Ona čini mogućom razmenu informacija između mrežnog i aplikacionog sloja sa ZigBee objektom uređaja (ZDO).

Sigurnosni sloj (SSP Security Service Provider) pruža sigurnosne mehanizme za mrežni i aplikacioni sloj (slojevi koji koriste enkripciju).

Mrežni sloj služi za ispravno adresiranje, dostavljanje, primanje i slanje i usmeravanje poruka u okviru ZigBee mreže.

Preko mrežnog sloja se takođe vrši konfigurisanje uređaja, kao i priključivanje i uklanjanje čvorova ili uređaja sa ZigBee mreže. Preko ovog sloja se startuje i mrežni koordinator, a određuje se i vrsta ZigBee uređaja i opisuje se topologija bežične mreže koja će biti korišćena. Kod ZigBee mreža često se mogu naći topologije zvezde (najjednostavnija struktura, u centru je koordinator, preko njega se obavlja

komunikacija u mreži), onda topologije stabla i mrežasta topologija mreže ("mesh" topologija, omogućava se komunikacija preko više tačaka tj. multi-hop komunikacija, a komunikacija se uglavnom odvija preko rutera, preko kojih ide najveći deo komunikacije). Na ovom sloju su implementirane i sigurnosne mere zarad bezbednog protoka podataka.

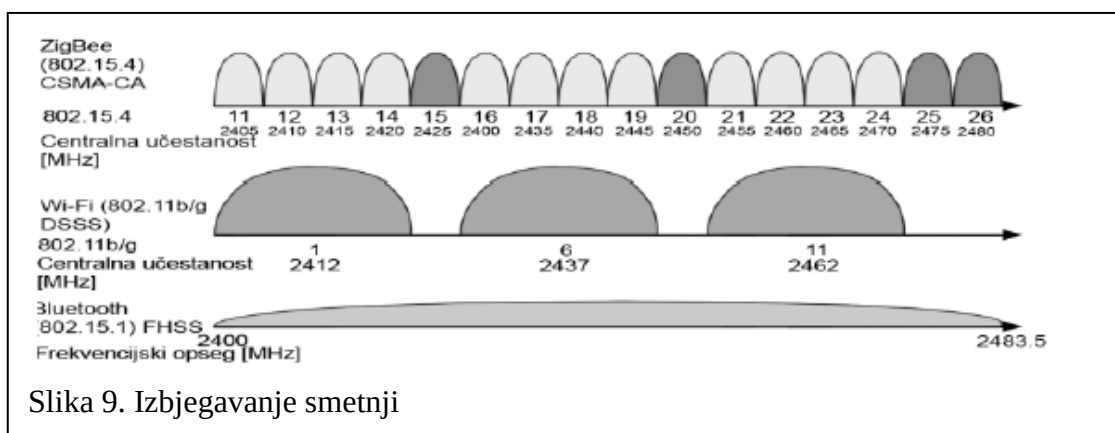
IEEE 802.15.4 MAC podsloj obavlja zadatak komunikacije sa fizičkim slojem. Kroz korišćenje CSMA/CA (Carrier sense multiple access with collision avoidance - algoritam sa višestrukim pristupom sa osluškivanjem nosioca i izbegavanjem kolizije) protokola, vodi računa i omogućava pouzdanu komunikaciju između uređaja na mreži i njegovog neposrednog suseda, omogućava povezivanje uređaja u ZigBee mrežu, i šalje poruke u vezi potvrđivanja prijema (ACK - Acknowledged frame delivery). Na ovom sloju se vrši i sastavljanje i rastavljanje ramova podataka.

IEEE 802.15.4 fizički sloj služi za definisanje hardverske strukture i prenosne frekvencije bežične komunikacije. Kroz ovaj sloj, definišu se tri slobodna frekvencijska opsega:

1.868.0–868.6 MHz: Frekventni opseg za Evropu - sadrži jedan kanal, prenos podataka od 20 Kb/s

2.902–928 MHz: Severna Amerika, sadrži do 10 kanala, kasnije prošireno na 30 kanala, brzina prenosa do 40 Kb/s +

3.2400–2483.5 MHz: upotreba u celom svetu, do 16 kanala, brzina prenosa do 250 Kb/s



Slika 9. Izbjegavanje smetnji

Kako može doći do preklapanja između ZigBee i WiFi komunikacije, smetnje se izbegavaju biranjem različitih radnih kanala (**primer se može videti na slici 9.**).

Funkcije koje obavlja fizički sloj su:

- uključivanje/isključivanje radio transivera
- slanje/primanje paketa podataka
- merenje parametara kvaliteta prenosa ili otkrivanje snage signala (ED - Energy Detection)
- indikacija kvaliteta linka (LQI - Link Quality Indication), koji mrežni sloj koristi za odabir slobodnih frekvencijskih kanala

Fizički sloj je veza između sredstva (uređaja) za prenos podataka i MAC sloja.

U okviru ZigBee mreže nalaze se tri vrste ZigBee uređaja:

- ZigBee koordinator

U okviru ZigBee mreže, koordinator predstavlja koren mrežnog stabla. Ovo je uređaj sa najviše sposobnosti koji ima funkciju startovanja i kontrole mreže. Preko koordinatora se ostvaruje veza sa drugim mrežama. U okviru svake ZigBee mreže postoji samo jedan koordinator (postoje ZigBee specifikacije koje dozvoljavaju rad i bez koordinatora). ZigBee koordinator je sposoban da čuva sigurnosne ključeve i ostale informacije o mreži.

- ZigBee ruter

Preko rutera se ostvaruje komunikaciona veza, vrši se dodela adresa i koordinacija komunikacije u okviru mreže. Ruter uglavnom vrši funkciju povećanja dometa (tj. pokrivenosti) mreže. Uz ruter je moguće ostvariti dinamičke rute oko prepreka, a u slučaju opterećenosti mreže ili prekida rada uređaja, omogućavaju ostvarivanje rezervne rute. Ruteri su sposobni da ostvaruju vezu sa drugim ruterima, kordinatorom, a takodje su sposobni da obezbede podršku uređajima koje nadgledaju. Ruter nije obavezan deo mreže, i njegovo prisustvo zavisi od mrežne topologije koja se koristi.

- ZigBee End Device (ZigBee krajnji uređaj)

Ovi uređaji mogu da prenose ili da primaju poruke, i neophodno je da budu povezani na ZigBee koordinator ili ZigBee ruter uređaj. Energetski su manje zahtevni od koordinatora ili rutera. Nisu osposobljeni da vrše rutiranje, i ne mogu obezbedjivati podršku drugom, podređenom uređaju. Funkcije koje ZigBee krajnji uređaj poseduje su srazmerne potrebama za komunikaciju sa koordinatorom ili ruterom. Ovaj uređaj omogućava da čvor (koordinator, ruter) udje u "sleep" mod rada, što omogućava duže trajanje baterije.

5.6. ZigBee Health Care profil

Kroz odredjivanje ZigBee medicinskog (Health Care) profila, otvorena je mogućnost povezivanja senzora koji se nalaze na mnogim rešenjima različitih proizvođača u okviru heterogenih mreža.

ZigBee je upotrebio IEEE 11073 familiju standarda za odredjivanje karakteristika ZigBee medicinskih uređaja. „IEEE 11073 Device Specializations“ skup standarda je definisan za komunikaciju medicinskih uređaja. U okviru njih, nalazi se i standard IEEE 11073-20601 koji je prilagodjen za razmenu podataka, a koji je nezavistan od transporta. IEEE 11073-20601 nudi sledeće metode:

- ostvarivanje logičke konekcije izmedju uređaja
- prikaz opcija uređaja
- održavanje komunikacijskih potreba

U okviru ZigBee HC profila je omogućena podrška za sve specifikacije uređaja koje su odredjene i u IEEE 111073-10400 standardu.

Upotrebu HC profila je najčešće moguće naći kod uređaja koji se bave stalnim ili povremenim praćenjem zdravstvenog stanja pacijenata, u situacijama gde je neophodna ispomoć onespособljenim ili nemoćnim licima u njihovim svakodnevnim životnim aktivnostima, u alarmnim situacijama (padovi, nagle promene fizioloških parametara i dr.), nadgledanjem sportista za vreme sportskih aktivnosti, itd.

5.7. 6LoWPAN standard

6LoWPAN (IPv6 Low Power WPAN) je ime radne frupe napravljene da bi definisala sinhronizovan rad IPv6 preko IEEE 802.15.4 mreža.

6LoWPAN pruža sloj za adaptaciju koji se nalazi između sloja mreže i sloja veze. 6LoWPAN nudi automatsko pokretanje mreže (Neighborhood discovery - ND), razrešavanje IPv6 adresa i slanje IPv6 paketa kroz IEEE 802.15.4 mreža:

- Kompresija headera: Veliki IPv6 paketi treba da se smanje do veličine koju podržava 802.15.4 standard (127B). 6LoWPAN adaptacijski sloj može značajno da smanji viškove nepotrebnih IPv6 kontrolnih podataka. Polja koja nisu potrebna se brišu a preostala se komprimuju ili menjaju.

- Fragmentacija: 6LoWPAN obezbeđuje da svi delovi IPv6 paketa koji koriste multi-hop prenos, budu spojeni na određenoj lokaciji. 6LoWPAN pokretanje mreže po automatizmu je alternativa Neighborhood Discovery mehanizmu iz IEEE802.15.4-2006 standarda. Prisutni mehanizmi iz žičanih mreža su primenjeni i prilagođeni sa bežične mreže koje imaju malu snagu i protokol.

5.8. BAN standard - 802.15.6

BAN standard predstavlja novi dodatak grupi PAN standarda 802.15. Formiranje radne grupe 802.15.6 je odobreno u novembru 2007. godine sa zadatkom da se razvije komunikacioni standard koji je optimizovan za uređaje niske snage, a istovremeno taj standard je trebalo da posluži za rad na i oko ljudskog tela, ali da to ne bude ograničeno samo na ljude. Takođe, u planu je bilo i da posluži različitim aplikacijama koje su se ticale medicinskih i potrošačkih uređaja kao što su recimo i uređaji za zabavu. Nacrt ovog standarda je bio odobren 2011 godine, i pušten je u rad u maju 2012. godine. Ovaj standard polako počinje da pronalazi svoju primenu u aplikacijama i uređajima koji se primenjuju u medicini. Trenutni standardi koji postoje na tržištu generalno nisu optimizovani za korišćenje na i oko ljudskog tela, a BAN standard je ciljano napravljen da radi na i oko ljudskog tela i da odgovori na neke izazove koje se tiču rada u velikoj blizini samog tela. Domet same mreže je dizajniran da bude u dometu oko dometa ljudskog tela i da postiže protok podataka čak do 10Mbps što predstavlja veći protok od bilo kojih drugih standarda koji do danas postoje koji mogu da budu iskorišćeni u nameni praćenja stanja na ljudskom telu tj. bilo kojoj nameni koja se tiče bežičnih telesnih mreža. Samim tim, ta veća brzina protoka podataka, čini BAN standard izuzetno atraktivnim ne samo za zdravstvenu upotrebu nego i za upotrebu u industriji zabave. Mreže koje su koncipirane na BAN standardu mogu da se sastoje od 64 čvorova i sa jednim habom – koji predstavlja master ili koordinator mreže. Čvorovi ili habovi unutar BAN mreže uspostavljaju referentnu vremensku osnovu. Ova vremenska baza se deli na „beacon periode“ i „beacon“ periodi su razdeljeni na dodeljene brojeve (0-255) vremenske slotove jednakih dužina. Transmisioni okviri imaju širinu od više od jednog vremenskog slotu i ne moraju da počinju na početku dodeljenog vremenskog slotu – time slotu. Kroz transmisiju super frame-ova ili vremenskih određenih frejmova (T-Pol) BAN hub može da komunicira sa granicama beacon perioda. BAN standard opisuje tri fizička sloja – Narrowband fizički sloj ili uskopojasni opseg, ultrawide band – u slobodnom prevodu – ultra-širok opseg fizičkog sloja i HBC sloj – Human body communications fizički sloj – u slobodnom prevodu fizički sloj komunikacije na ljudskom telu. Određeni broj različitih frekventnih opsega su dostupni za BAN

standard. U dodatku za već postojeći ISM frekvencijski opseg od 2.4 Ghz koji koriste mnogi PAN standardi, BAN standard može da koristi i Medical Implant Communication Service (MICS) - medical implant communication service frequency band - tj. u slobodnom prevodu komunikacioni servis za medicinske implante – taj opseg pokriva od 402-405 Mhz. Mooguća je i upotreba WMTS frekvencijski opsega – Wireless Medical Telemetry services – u slobodnom prevodu „Servis bežične medicinske telemetrije“, i ovde imamo frekvencijski raspon od 420-1429.5 Mhz (u Japanu i SAD-u). BAN još može da koristi i UWB – ultra wide band frekvencijski raspon (od 3100 – 5800 Mhz).

BAN standard je aktivan standard i ide se ka tome da bude što više prisutan na mnogim uređajima koji tek dolaze. Kako novi uređaji sa sobom nose potrebu da se povećava brzina transmisije podataka od samog senzora ka glavnom uređaju koji će informacije prikupljati ovaj standard je značajan kandidat za korišćenje u budućim aplikacijama ili uređajima.

5.9. UWB (Ultra wide band)

Tehnologija ultra širokog pojasa (eng. Ultra-Wide Band – UWB), predstavlja osnovu i za uređaje (primopredajnike) koji su zbog veoma male prosečne snage sposobni da neometano razmenjuju podatke a da pri tom ne vrše smetnje na već postojećim radio sistemima uskog pojasa (eng. narrowband systems), koji se nalaze u njihovoj blizini. 2002. godine, Savezna komisija za komunikacije SAD-a (eng. Federal Communications Commission – FCC) omogućila je korišćenje do tada nekorišćenih frekvencijskih opsega za komercijalnu primenu uređaja ultra-širokog pojasa. Dodeljene frekvencije su podeljene na više delova: opseg 0 – 960 MHz pogodan za georadare (eng. Ground Penetrating Radar – GPR) i sisteme za prenos slike bez optičke vidljivosti (eng. wall imaging and through wall imaging systems); frekvencije 3,1 – 10,6 GHz su namenjene raznim oblicima komunikacionih sistema (eng. communication systems), sistemima za nadzor (eng. surveillance systems) i medicinskoj primeni, a 22 – 29 GHz opseg je uglavnom korišćen u radarima kratkog dometa (eng. Short-Range Radars – SRR), koji se najčešće primenjuju u auto-industriji. Opseg 3,1 – 10,6 GHz je privukao najviše pažnje zbog mnogostrukih načina primene i određenih prednosti u odnosu na ostale opsege.

Premda opseg 22 – 29 GHz nudi približno iste mogućnosti, realizacija primopredajnika u 3,1 – 10,6 GHz opsegu je primetno jednostavnija, na prvom mestu zato što se prilikom projektovanja sistema ne mora uzimati u obzir efekat prostiranja talasa. Ova frekvencija nudi i mogućnost realizacije sistema sa čipa (eng. System-on-Chip – SoC) korišćenjem CMOS (eng. Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) tehnologije. Generalno, UWB tehnologija je veoma pogodna za razvoj aktuelnih bežičnih komunikacionih uređaja velikog protoka podataka, relativno male potrošnje i niske cene, čije se karakteristike kao i vek trajanja baterije neprestalno usavršavaju i uvećavaju.

U okviru pomenute UWB tehnologije razvijena su dva vida prenosa podataka: prenos podataka sa nosiocem (eng. carrier-based transmission) i prenos podataka bez nosioca (eng. carrier-less or carrier-free transmission). Obe vrste prenosa imaju svoje prednosti i mane, tako da se prilikom izbora između dve opcije odluka donosi na osnovu specifikacija koje trebaju biti zadovoljene. Prenos sa frekvencijskim multipleksiranjem višestrukih ortogonalnih nosilaca (eng. MultiBand Orthogonal Frequency Division Multiplexing – MBOFDM) i direktna sekvenca (eng. Direct-

Sequence – DS) se najčešće upotrebljavaju u komunikacijama sa velikim protokom podataka (eng. high data rate communications) do 480 Mb/s poput multimedijalnog striminga (eng. streaming multimedia) ili bežičnog USB-a (eng. wireless Universal Serial Bus). Ove tehnike ne upotrebljavaju efikasno celi UWB opseg (3,1 – 10,6 GHz), nego ga dele na više podfrekvencija odnosno kanala minimalne širine 500 MHz (OFDM), čime smanjuju potrebnu širinu opsega (eng. BandWidth – BW), kao i da zahtevaju složenu digitalnu obradu signala i modulaciju. Osim toga, da bi generisali signale ultraširokog pojasa dovoljne snage, primopredajnici koji prenose podatke sa nosiocem zahtevaju upotrebu oscilatora, RF prekidača ili miksera/množača (eng. mixer) i pojačivača snage (eng. Power Amplifier – PA). Kako su ovo uglavnom složeni uređaji znatne potrošnje i šuma, očigledno je da pristup dovodi do dodatnog usložnjavanja UWB sistema i povećanja ukupne potrošnje (samim tim i cene) uređaja. Najsloženiji sistemi primopredajnika se mogu sresti u OFDM sistemima koji zahtevaju različite frekvencije nosioca signala za različite opsege. Uprkos većoj potrošnji i složenosti uređaja, ove opcije imaju prednosti koje se ogledaju u boljem podešavanju karakteristika spektra i jednostavnijeg dizajna pojedinih komponenti, zato što se koristi uži (apsolutni) opseg (oko 500 MHz).

Sa druge strane, impulsni ultra-širokopojasni (eng. Impulse Radio UltraWide Band – IR-UWB) pristup bez nosioca prenosi impulse jako kratkog trajanja (uglavnom ispod 1 ns), čiji spektar zauzima opseg do nekoliko gigaherca. U suštini, ova metoda se zasniva na osnovnom principu prenosa ultra-širokog pojasa podataka, definisanom od strane FCC udruženja, i predstavlja najčešće upotrebljavan protokol u okviru UWB komunikacija. Ova varijanta obezbeđuje mnoge prednosti kao što su: jednostavnost (ne zahteva upotrebu RF prekidača, miksera ili pojačavača), jeftine i energetski efikasne arhitekture UWB predajnika koja koristi manje zahtevne tipove modulacija poput dvoznačne ili dvopolne modulacije (eng. On-Off Keying – OOK). Takođe, ovaj pristup nudi malu osetljivost na izobličenja (eng. high fading margin) koja mogu nastati usled višestrukog prostiranja (eng. multipath) signala između predajnika i prijemnika, praktičnu imunost na smetnje drugih radio sistema i odličnu rezoluciju za radarske sisteme. Nedostatak ove tehnike se ogleda u komplikovanoj proceduri sinhronizacije na prijemnoj strani (pod uslovom da se zahteva) i nešto većem narušavanju karakteristika antene pri prostiranju signala u odnosu na prenos signala sa nosiocem zbog šireg opsega signala.

Impulsna UWB tehnologija se najčešće upotrebljava u bežičnim komunikacijama sa velikim protokom podataka i smanjenim dometom, malim protokom podataka i nešto većim dometom, u bežičnoj komunikaciji između čipova (eng. inter-chip communication), kao i u polju medicine, poput senzorskih mreža, WPAN sistema i UWB biotelemetrije. Zbog svog širokog opsega, UWB sistemi su često zastupljeni u sistemima za precizno određivanje lokacije (eng. precise location systems). Jedan od najvažnijih delova IR-UWB primopredajnika predstavlja impulsni generator (eng. Pulse Generator – PG) koji na svom izlazu generiše povorku impulsa dovoljne snage čiji spektar zadovoljava zahteve propisane od strane FCC organizacije, odnosno odgovarajuću spektralnu masku. Dodavanjem antene na izlaz samog uređaja dobija se IR-UWB predajnik. Pored širokog opsega, optimalno je da generator ima jednostavnu strukturu, smanjenu potrošnju i da zauzima malu površinu (zapreminu), što bi omogućilo nisku proizvodnu cenu integrisanog kola. Zato je veoma zahtevno projektovati IR-UWB predajnik u skladu sa svim navedenim tržišnim zahtevima i opsegom unutar FCC spektralne maske. Osim toga, iako FCC komisija to ne zahteva, mogućnost podešavanja generisanog signala u vremenskom i spektralnom domenu predstavlja poželjnu osobinu koja obezbeđuje kompenzaciju određenih izobličenja

karakteristika uređaja, koja mogu nastati usled procesnih, naponskih ili temperaturnih promena (eng. Process, Voltage and Temperature variations – PVT) tokom proizvodnje sistema, promena u komunikacionom kanalu ili samim osobinama antene. Centralna frekvencija (eng. center frequency) spektra povorke impulsa je određena frekvencijom impulsa, tako da se podešavanjem ovog parametra omogućava kretanje spektra po horizontalnoj (frekvencijskoj) osi unutar FCC maske. Trajanje impulsa u jedinici vremena je obrnuto srazmerno širini spektra povorke impulsa. Njegova amplituda zajedno sa brzinom ponavljanja ili protoka impulsa (eng. Pulse Repetition Rate – PRR or Pulse Repetition Frequency – PRF) definiše snagu spektra. Već smo spomenuli da generator impulsa određuje karakteristike sistema. Razlog zbog kog ovaj uređaj smatra za jednu od najvažnijih komponenti IR-UWB sistema (osim toga što čini deo predajnika) jesto zato što njegova kopija često može da se nađe i na prijemnoj strani, ukoliko je potrebno obezbediti sinhronizaciju sa predajnikom.

5.10. NFC (Near Field Communication)

Sa najmanjim obimom delovanja, NFC uređaji uspostavljaju radio vezu na udaljenosti do 10cm ili spojeni. NFC je patentirao Čarls Valton, a tek 2000-ih se definiše standardima ISO/IEC 14443 i GSMA NFC. Pored peer-to-peer razmene ovakva komunikacija daje i mogućnost identifikiranja pomoću radio frekvencije (RFID – Radio Frequency Identification), prijavljivanje na aerodromu ili radnom mestu, za plaćanje umesto kartica i u mnoge druge svrhe jer su ovi uređaji dostupni i laki za programiranje te se mogu koristiti za bilo šta što je korisniku potrebno.

5.11. Infrared(irDA – Infrared Data Association)

Infrared(irDA – Infrared Data Association) okuplja sredinom devedesetih oko pedeset i više kompanija da bi se projektovali protokoli za komunikaciju koja upotrebljava infracrvene zrake. Ova tehnologija zahteva da uređaju budu orijentisani jedan ka drugom i često na rastojanju manjem od jednog metra, bez prepreka u tom prostoru, mada je novijim korekcijama standarda domet značajno povećan. Brzina veze kod kućne primene je 4Mb/s, dok su dve lokalne mreže udaljenosti 1.5km postizale i 16Mb/s. Najviše se primenjuje za daljinske upravljače, a kasnije i kod uređaja kao što su telefoni, štampači, kamere i medicinski uređaji. I pored neophodnosti optičke vidljivosti i česte potrebe za malom udaljenošću između uređaja, stvara malu bitsku grešku zbog čega je vrlo efikasan. Takodje, sigurnost irDA standarda je visoka jer je vezu samo moguće ostvariti putem optičke vidljivosti, tj. nema prostiranja signala na sve strane.

6. Simultanost podataka u bežičnoj senzorskoj mreži i metode sinhronizacije u kompjuterskim i senzorskim mrežama

6.1. Izvori nepreciznosti satova

Postoje dva glavna izvora greške vremenske sinhronizacije u distribuiranim sistemima (kao što su bežične senzorske mreže). Prvo, vreme propagacije poruka nije dovoljno determinisano, a pogotovo u slučajevima kada se koristi radio komunikacija između udaljenih uređaja. Drugo, stabilnosti tajmera (satova, koji su na uređajima niskog nivoa najčešće povezani sa sistemskim tajmerom, koji daje takt procesoru) su limitirane brojnim fizičkim faktorima, a čak i u slučaju da su njihove frekvencije perfektno kalibrisane u nekom trenutku, pomeranja (tzv. driftovi) moraju da se

dogode i vremensko odstupanje (tzv. ofset) se akumulira vremenom, uslovljavajući potrebu za razmenom novih poruka da bi se uređaji međusobno ponovo sinhronizovali. Mrežni protokoli koji se bave ovim problemom izvode serije akcija koje su bazirane na distribuciji vremenskih žigova iz referentnih izvora, što se naziva ofset sinhronizacija, i štelovanju dinamičkih koeficijenata koji se koriste za kalibraciju satova, što se naziva sinhronizacija brzine.

6.2. Spisak često korišćenih pojmova u metodama sinhronizacije

Kontinualna ili implicitna sinhronizacija znači da se paketi podataka koji su vezani za sinhronizaciju dodaju („kače”) na postojeće pakete koji se (kontinualno) šalju kroz mrežu (i nezavisno procesiraju, po potrebi). Ovo se u literaturi često označava i rečju piggy-backed, što u doslovnom prevodu znači „na krkače”. Suprotnost je sinhronizacija na zahtev, koja se takođe naziva eksplicitna, ili event-triggered (inicira se nekim događajem odnosno okidačem ili triggerom). Eksplicitna sinhronizacija zahteva dodatne komunikacione pakete koji služe isključivo (ili primarno) u ove svrhe. Ona je zato zahtevnija u smislu energetske potrebe, što je značajno kod bežičnih uređaja.

Eksterna sinhronizacija se bazira na jednom referentnom satu, bez obzira da li dolazi sa jednog uređaja unutar mreže (u kom slučaju reč eksterna ne treba bukvalno da se shvati) ili ne. Cilj eksterne sinhronizacije je da učini da svi satovi u mreži pokazuju koliko je moguće blizu referentnom satu. Suprotnost je interna sinhronizacija, kod koje ne postoji nikakvo referentno vreme. Njen cilj je da učini da pokazivanja svih satova unutar mreže budu što sličnija. Unidirekciona sinhronizacija je procedura u kojoj se sat ciljnog uređaja podešava prema satu izvornog uređaja, dakle postoji jasan smer kretanja informacije. Tipično transmisiono vreme se oduzima od vrednosti po prijemu. Bidirekciona, često zvana i pairwise (parska), sinhronizacija je bazirana na proračunu takozvanog roundtrip kašnjenja, odnosno vremena potrebnog da poruka otputuje sa izvornog uređaja do ciljnog i da se povratna poruka detektuje na izvornom uređaju (kružno putovanje). Prednost je što se meri stvarno fizičko vreme (naravno, ograničeno preciznošću lokalnog sata), što je nemoguće u dve odvojene tačke (kod unidirekcionih sinhronizacija). Iako se ne može odrediti tačna raspodela vremena i nesigurnosti vremena putovanja između smerova, za povratnu putanju može se tačno odrediti i srednja vrednost i standardno i maksimalno odstupanje vremena propagacije (roundtripa). Pošto se obično radi sa uređajima istog tipa, za tipično vreme propagacije uzima se polovina round-trip vremena. I drugi uređaji u mreži mogu imati koristi od bidirekcionih sinhronizacionih poruka između dva čvora. Oni mogu da koriste razmenjene vremenske žigove da bi sinhronizovali svoje satove bez bilo kakve transmisije podataka, samo prijemom. Ovo se uobičajeno naziva eavesdropping (prisluškivanje).

Transformacija vremenske skale spada u backwards, odnosno post-facto ili naknadne (unazad), sinhronizacione tehnike. Satovi nisu sinhronizovani za vreme događanja koje se monitoriše, ali se sinhronizacija skupljenih podataka vrši naknadno u zavisnosti od relevantnih parametara (ustanovljenih frekvencija tajmera i međusobnih ofseta). Iako zahteva manje energije (manje dodatne komunikacije nego u slučaju sinhronizacije na zahtev), povećava potrebu za procesiranjem podataka, i najbolje je izvršiti je na sistemu visokog nivoa, kao što je PC. Post-facto sinhronizacija se nekada naziva i reaktivnom, što je suprotno od proaktivne sinhronizacije koja se vrši unapred.

Reference Broadcast Synchronization (RBS) ili sinhronizacija putem referentnog ili prozivnog signala je termin koji se asocira isključivo sa bežičnim mrežama. Centralni server emituje referentni signal (reference broadcast, takođe poznat i pod nazivom beacon, odnosno svetionik, ili signal za navođenje) a prijemni uređaji resetuju svoje tajmere po prijemu. Ovaj tip poruke se naziva multicast (šire raspoređen), što je suprotno unicast porukama (koje imaju jednog pošiljaoca i jednog primaoca).

Propagacione neodređenosti, vezane za transmisiju poruke (izlazno vreme kroz fizički sloj, koji se sastoji od interfejsa između procesora i komunikacionog modula, modema ili transsivera, i antene) se potiru jer se radi o jednom signalu. Neodređenosti vezane za prijem poruke su obično za red veličine manje i na ovaj način se ofset između čvorova praktično potire. Logičko vreme je na ovaj način nešto bolje sinhronizovano nego fizičko vreme. Logičko vreme predstavlja vreme unutar proizvoljnog vremenskog perioda, kao što je merni ciklus, dok fizičko vreme predstavlja stvarno vreme u spoljnom svetu. Sekundarne RBS procedure se mogu ponavljati u multihop mrežama (gde ne postoji direktna veza između izvora RBS-a i svih uređaja), gde sinhronizovani uređaji služe kao habovi (centralne stanice) lokalnih klastera (nižeg nivoa). Pouzdanost sinhronizacije opada sa brojem hopova (prenosa RBS-a). Puls u sekundi (PPS) globalnog sistema za pozicioniranje (GPS) predstavlja odličan izvor vremenskih žigova visoke rezolucije i tačnosti. Kako se očekuje da cene GPS risivera padaju u doglednoj budućnosti, ovaj metod će verovatno dobiti na popularnosti. Ipak, u ovom trenutku, osim potrebe da se jeftini bežični senzorski uređaji opreme dodatnim hardverom čija cena nije zanemarljiva, postoji problem dostupnosti signala unutar građevina, tako da se ovo inače efektno rešenje uglavnom izbegava. Osnovni problem kod dostupnosti GPS signala predstavlja činjenica da se ovaj signal emituje iz satelita veoma malom snagom. Čak i malo gušće krošnje drveća mogu da budu nepremostiva prepreka.

6.3. Uobičajeni mrežni algoritmi sinhronizacije

Rane kompjuterske mreže koristile su dve varijacije sinhronizacije putem centralizovanog servera, poznate kao Kristijanova i Berkli sinhronizacija. Hab sistema (centralna stanica) šalje vremenske žigove uređajima u mreži na zahtev. Očekivano vreme propagacije se oduzima prilikom prijema. Alternativno, višestruki paketi sa vremenskim žigovima se šalju u odgovoru na jedan zahtev, i najbrže pristigli paket se uzima u obzir (da bi se izbegla mogućnost povremenih nepredviđenih zastoja).

U Kristijanovoj varijaciji algoritma, hab služi kao izvor vremena (njegov sat se uzima kao referentni eksterni izvor), dok se u Berkli varijaciji podaci skupljaju sa različitih čvorova, usrednjavaju (opciono sa težinskim faktorima), i usrednjena informacija se šalje nazad. Jedna od najčešće korišćenih metoda u savremenim kompjuterskim mrežama jeste mrežni vremenski protokol ili NTP (network time protocol). Čvorovi mreže se dele u različite slojeve (layers), počevši od referentnih satova koji su na vrhu (takozvani „stratum 0” sloj). Nacionalne laboratorije su zadužene za kalibraciju ovih satova. Mrežni čvorovi nižeg nivoa sinhronizuju se na bazi poruka koje primaju sa uređaja istog ili višeg nivoa. Razmena poruka unutar mreže ne sadrži samo vremenske žigove, već i razne druge podatke, kao što su preciznost i kvalitet tajmera na uređaju, vreme njegove poslednje sinhronizacije, pouzdanost njegove poslednje sinhronizacije, i očekivano vreme putovanja poruke. Ciljni uređaj odlučuje da li da izvrši korekciju svog sata, i za koliko, ili ne, bazirano ne samo na zadnjoj primljenoj poruci već

ispitujući set poruka pristiglih u većem vremenskom intervalu. NTP poruke se testiraju na „smislenost” i one koje izgledaju kao gruba greška se odbacuju u procesu interpolacije, tako da je algoritam robustan.

Precizni vremenski protokol ili PTP (precision time protocol), poznat i kao IEEE-1588, je kompleksniji protokol baziran na istom principu. Veći broj tipova poruka se koristi, veći broj parametara se prosleđuje, i uređaji imaju različite funkcije, a ne samo klijent, server, ili klijent-i-server, što je slučaj u NTP-u. Ipak, glavna prednost ovog protokola nisu kompleksne softverske metode već „hardverska asistencija”. To znači da postoji specijalizovani hardver koji se instalira na mrežne kartice i druge uređaje, koji određuje precizna (ispod mikrosekunde) vremena fizičke emisije poruka (tzv. prolaska kroz „fizički sloj” mreže), koja bi inače bila nedostupna glavnim procesorima mrežnih uređaja. Radi poređenja, tipičan NTP klijent ostvaruje preciznost sinhronizacije reda veličine milisekunde, u poređenju sa PTP-om, kod koga su sinhronizacije reda veličine ispod mikrosekunde.

6.4. Sinhronizacija u bežičnim mrežama

Veliki broj protokola je osmišljen radi upotrebe isključivo u BSM. Sinhronizacija putem vremenskog žiga ili vremenskog označavanja (time-stamp synchronization ili TSS) je metod promene vremenskih žigova poruka koje prolaze kroz multihop mrežu, bazirano na vremenu prijema, procenjenom vremenu puta, i vremenu koje poruka provede u „redu” (lokalnom baferu, odnosno steku, za prijem pristiglih paketa), odnosno queue-u, pre nego što se prosledi. Satovi nisu stvarno sinhronizovani tako da se ovde radi o formi post-facto odnosno naknadne sinhronizacije. Varijacija na ovu temu je RITS (routing integrated time synchronization), kod koga se izvodi dodatna kompenzacija zbog razlike u brzinama rada različitih tajmera. Ova razlika se procenjuje na osnovu istorije razmenjenih poruka sa vremenskim žigovima iz bidirekciono komunikacije (gde se mogu uporediti round-trip vremena proračunata na različitim čvorovima). Laka vremenska sinhronizacija (lightweight time synchronization ili LTS) i timing-sync protokol za senzorske mreže (TPSN) su bazirani na bidirekcionoj sinhronizaciji parova uređaja koji razmenjuju poruke unutar multihop mreže, gde jedna ili više referentnih tačaka postoje (čiji su tajmeri deklarirani kao referentni). Uređaji na nižim nivoima (više hopova udaljeni od referenci), upućuju zahteve za sinhronizacijom prema uređajima na višem nivou. Kod LTS-a, uređaji proveravaju da li drugi uređaji na istom nivou imaju aktuelne zahteve koji nisu izvršeni (pending requests), i sinhronizuju se sa njima umesto da šalju nove multihop zahteve. Kod TPSN-a, uređaji na nižem nivou prisluškuju (eavesdrop) sinhronizaciju uređaja na višem nivou, i zatim šalju zahtev za sinhronizacijom u prigodnom momentu. Tiny-sync i Mini-sync takođe rade na principu bidirekciono sinhronizacije. Oni koriste statistiku da poredi vremenske žigove koji se razmenjuju između parova uređaja. Vremenski žigovi odstupaju sve više tokom vremena, zbog razlika u brzinama satova (koje su dodatno podložne varijacijama usled promene raznih fizičkih parametara), tako da se odnos frekvencija i inicijalni ofset mogu proceniti kreiranjem optimalne prave bazirane na većem broju parova vremenskih žigova sa oba uređaja (tzv. linearna regresija). Različiti algoritmi se koriste da procene najverovatniji odnos frekvencija i ofset. Fleksibilna laka vremenska sinhronizacija (scalable lightweight timesynchronization protocol, ili SLTP), koristi metod takozvanog pasivnog grupisanja (passive clustering) kao prvi korak, a zatim izvodi sinhronizaciju slično LTS-u. Na zahtev, kreira se topologija mreže (pasivno

grupisanje, odnosno trasiranje), pri čemu se uređaji dele na grupe (klastere) i dodeljuju im se funkcije habova klastera (referentnih tačaka, koje dakle nisu fiksne kao kod originalnog LTS-a), članova klastera, ili gateway-a odnosno kapija između klastera. Upotrebljava se i linearna regresija, kao kod tiny-synca i mini-synca, za poređenje i usklađivanje satova prilikom bidirekciono komunikacije.

Tsync protokol koristi dve tehnike koje se nazivaju hijerarhijsko referenciranje (hierarchy referencing time synchronization ili HRTS) i individualni vremenski zahtevi (individual-based time request ili ITR). Glavni uređaj emituje RBS signal koji primaju uređaji najvišeg nivoa (lejera). Jedan od njih se slučajno izabira za bidirekcionu razmenu vremenskih žigova. Propagaciono kašnjenje se procenjuje na osnovu ovog procesa i novi RBS od strane centralnog uređaja se šalje dajući ciljnim uređajima referentnu vrednost vremena i pretpostavljeno vreme propagacije (smatra se da su uređaji hardverski identični te da se očekuje približno isto vreme propagacije). Kada se proces završi, uređaji iz prvog nivoa ponavljaju proceduru prema klasterima nižeg nivoa. Proces se rekurzivno ponavlja dok svi uređaji u mreži nisu sinhronizovani. ITR je komplementarni mehanizam u Tsync-u, koji se koristi za sinhronizaciju na zahtev, jednog uređaja ili grupe uređaja. Uređaji koji zahtevaju sinhronizaciju šalju zahtev koji se multihop prenosi do centralne stanice (glavnog uređaja) i referentni vremenski žig se prenosi nazad istim putem. HRTS i ITR u originalnom obliku koriste dva različita kanala za razmenu poruka, ali moguća je implementacija i na jednom kanalu, sa nešto lošijim rezultatima. Intervalska sinhronizacija (interval based synchronization ili IBS) koristi procenu granica brzine satova (njihovih minimalnih i maksimalnih vrednosti) da odredi granice u kojima se vreme nalazi. Umesto razmene vremenskih žigova, čvorovi komuniciraju razmenjujući podatke o minimalnom i maksimalnom vremenu (tzv. interval stamps ili intervalski žigovi, bazirani na najgorem slučaju devijacije frekvencije sata). Ovo se naziva i intervalski model, koji je suprotan instant („tačkastom“) modelu. Iako neki autori tvrde da je kombinacija „garantovanih“ granica za lokalne satove optimalnija nego upotreba pojedinačnih vremenskih žigova uz estimaciju njihovog kvaliteta (procenu distribucije verovatnoće i standardne i maksimalne devijacije), suština oba metoda je ista, a u stvarnosti ne postoje stopostotne garancije za granice kod bounded-drift modela sata (modela limitarnog odstupanja odnosno limitiranog drifta frekvencije). Asinhrona difuzija je protokol kod koga svi uređaji periodično šalju signal susedima tražeći pokazivanja njihovih satova (vremenske žigove). Slično kao kod Berkli algoritma, vrši se usrednjavanje ovih vrednosti i one se putem RBS-a transmituju susedima (svim uređajima u dometu ili unutar klastera), koji vrše sinhronizaciju na novu vrednost. Proces se ponavlja širom mreže. Protokol sinhronizacije putem preplavlivanja (flooding time synchronization protocol ili FTSP) koristi tzv. preplavlivanje (flooding) mreže odnosno slanje velikog broja paketa (slično RBS-u) sa referentnog uređaja, u kombinaciji sa pamćenjem parova vremenskih žigova i linearnom regresijom koja se koristi kod tinysync-a. PulseSync je sličan protokol, baziran na plavljenju mreže velikom brzinom, da se ne dozvoli akumulacija tzv. nagiba (skew). Skew označava akumuliranu grešku sata baziranu na driftu frekvencije tajmera (varijacijama tokom posmatranog vremena). I dok oba protokola imaju preciznost koja opada sa brojem hopova, PulseSync preciznost opada nešto sporije. Kod protokola vremenske difuzije (time diffusion protocol ili TDP), referentni uređaj šalje svoj vremenski žig, i prima odgovor od uređaja koji su u dometu na osnovu čega određuje vremena povratnih poruka (round-trip) i standardne devijacije. Procedura se zatim ponavlja kroz multihop mrežu dok svi uređaji nisu

primili bar jednu poruku ovog tipa. Suština metode je da se uređaji koji su primili višestruke poruke sinhronizuju na srednju vrednost, pri čemu se koriste težinski koeficijenti. Drugi termin koji se koristi da se opišu slične tehnike je gradijentni protokol vremenske sinhronizacije (gradient time synchronization protocol ili GTSP). Ovi algoritmi su robusni jer ne zahtevaju jedan referentni čvor, definisanu topologiju, niti regularnu operaciju svih uređaja.

Konsenzus sinhronizacija (consensus clock synchronization ili CCS) je interna sinhronizaciona metoda. Svi uređaji emituju unidirekzione poruke sa vremenskim žigovima i primajući uređaji pokušavaju da procene koliko iznosi vrednost „dogovorenog” vremena u mreži. Kao što vidimo, sve opisane metode, i druge koje postoje, nisu strogo razdvojene, već se dosta preklapaju i teško je povući granicu između njih i razvrstati određen algoritam u samo jednu kategoriju.

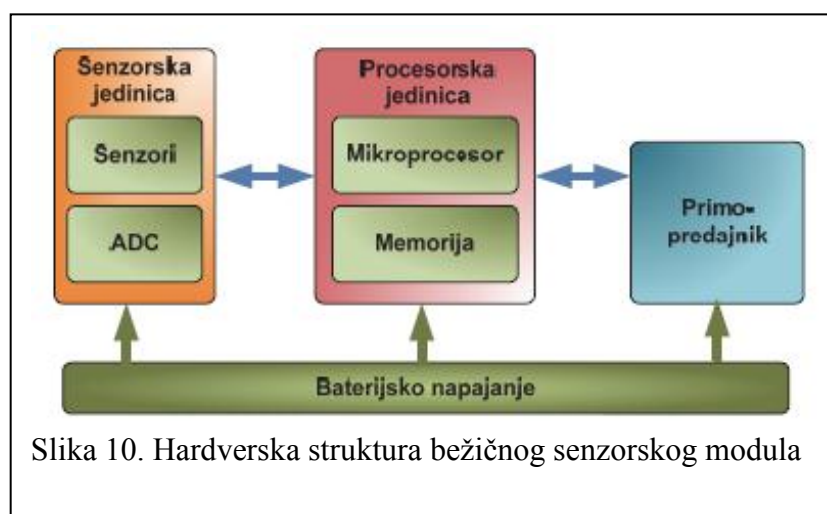
7. Hardver bežičnog senzorskog sistema

7.1. Bežični senzorski moduli

Bežični senzorski moduli su imbedid sistemi (engl. embedded system) , koji se uobičajeno sastoje od mikrokontrolera, memorijske jedinice, RF komunikacione jedinice (koja se često naziva radio čip), RF antene, zatim baterije ili nekog drugog vida napajanja, dodatnih komponenti, kao i ugrađenih senzora ili mogućnosti povezivanja dodatne senzorske pločice. Primer hardverske strukture bežičnog senzorskog modula možemo da vidimo na **slici 10**. Kako bi modul mogao da se koristi u bežičnoj senzorskoj mreži, neophodno mu je obezbediti što veću autonomnost, pa je tako za svaku od komponenti bežičnog senzorskog modula veoma važno voditi računa kako o performansama, tako i o energetske efikasnosti.

Mikrokontroler za bežični senzorski modul mora da ispunjava određene uslove, kao što su mala potrošnja struje, odgovarajući napon napajanja, niska cena, mogućnost priključivanja dovoljnog broja dodatnih komponenti. Takođe, budući da je neophodno obezbediti što dužu funkcionalnost individualnog modula, što se često postiže ulaženjem u stanje spavanja mikrokontrolera (engl. sleep mode) kad god je to moguće, važno je da mikrokontroler može brzo da uđe u režim spavanja, kao i da se brzo vrati u režim normalnog rada. Takođe, za bežični senzorski modul je pogodno da mikrokontroler ima što veću toleranciju za napon napajanja, tako da može ispravno da funkcioniše i kada baterije izgube svoj puni kapacitet. Memorija bežičnog senzorskog modula ne mora biti velika, često je dovoljna i ugrađena memorija u mikrokontroleru, a moguće je koristiti i dodatne fleš (engl. flash) ili SRAM (engl. Static random-access memory) memorije, u zavisnosti od toga da li podatke treba čuvati duži vremenski period sa što manjom potrošnjom energije (fleš memorija), ili je potrebno obezbediti veću brzinu upisa i čitanja podataka iz memorije (SRAM memorija). RF komunikaciona jedinica (radio čip) je takođe od ključnog značaja za funkcionisanje bežičnog senzorskog modula. Rad ove jedinice često koristi najveću energiju, kako prilikom slanja, tako i prilikom primanja podataka. Ukoliko je komunikaciona jedinica stalno u aktivnom stanju (spremna za slanje ili prijem podataka), ona koristi energiju čak i kada ne šalje niti prima podatke (u stanju pripravnosti), zbog čega je važno postaviti ovu jedinicu u režim spavanja kada se ne šalju podaci i ne očekuje se prijem podataka. Postoje različiti algoritmi za sinhronizaciju komunikacije među bežičnim senzorskim modulima, po kojima modul

može odrediti kada tačno treba da očekuje prijem podataka, i da u skladu sa tim aktivira RF komunikacionu jedinicu. Rastojanje na kojem je moguće izvršiti komunikaciju između dva bežična senzorska modula je određeno jačinom izlaznog signala, kao i osetljivošću prijemne strane RF komunikacione jedinice, pojačanja antene, itd. Kako bi bežični senzorski moduli mogli da komuniciraju sa ostatkom bežične senzorske mreže, za RF komunikaciju se obično koriste omnidirekzione antene putem kojih moduli mogu da komuniciraju podjednako u svim pravcima, iako bi se usmerenim antenama mogla postići veća rastojanja za komunikaciju. Brzina prenosa podataka (engl. bitrate) od 10 do 100 Kbps je zadovoljavajuća u bežičnim senzorskim mrežama, pri čemu veće brzine prenosa podataka zahtevaju kraće intervale u kojima je komunikaciona jedinica aktivna, čime se povećava energetska efikasnost.



Bežični senzorski moduli se često napajaju AA baterijama, međutim životni vek ovakvih modula je obično samo par dana ukoliko se ne koriste neki od metoda za uštedu energije. Budući da je u većini sistema neophodan duži životni vek

modula, istražuju se i mnoge druge mogućnosti, kao što je upotreba solarnih ćelija ili sistema koji koriste energiju vetra ili pokreta, korišćenje baterija većeg kapaciteta ili većeg broja baterija, korišćenje komponenti unutar modula koje troše minimalnu količinu energije, itd, kao i implementacija režima spavanja za određene komponente koje u datom trenutku nisu neophodne za funkcionalnost modula. Ograničen izvor napajanja u velikoj meri utiče na principe rada u bežičnim senzorskim mrežama, kako na rad pojedinačnog modula, tako i na načine prenosa podataka među modulima, gde se često mora žrtvovati kvalitet prenosa podataka i količina podataka kako bi se uštedela energija.

7.2. Senzorske pločice

Senzorske pločice su dodaci za bežične senzorske module, koji mogu da se postave na modul i povežu se sa njim, a na sebi mogu da sadrže različite senzore, kao i dodatke za izradu prototipova gde se mogu povezati dodatni korisnički senzori. Neki senzorski moduli imaju već ugrađene senzore na sebi, i kod takvih modula obično nije moguće povezivanje dodatnih senzorskih pločica. Među najčešće senzore koji se koriste u bežičnim senzorskim mrežama spadaju senzori za: temperaturu, vlažnost vazduha, pokret, osvetljenje, pritisak, sastav zemljišta, nivo buke, prisustvo objekata, brzinu, smer kretanja objekta, kao i mnogi drugi.

U zavisnosti od konkretne aplikacije postoji mnogo vrsta senzorskih pločica koje je moguće primeniti sa nekim bežičnim čvorom, a među medju često korišćenim su:

- MTS 300 i MTS 310 – za višenamenske aplikacije
- MTS 420 i MTS 400 – za aplikacije za praćenje okoline
- MDA 100 – razvojna pločica.

MTS300 senzorska pločica je jedna od najpopularnijih pločica, zahvaljujući tome što poseduje senzor za temperaturu (termistor), senzor za jačinu osvetljenosti (fotoresistor), senzor zvuka (mikrofon), kao imali zvučnik. MTS 310 se razlikuje od prethodno navedene pločice po tome što poseduje dvoosni senzor ubrzanja (akcelerometar) i dvoosni magnetni senzor.

MTS 420 i MTS 400 se najčešće koriste za aplikacije za praćenje fizičkih veličina okoline. Ono što je karakteristično za ove pločice je što poseduju senzore za relativnu vlažnost vazduha I senzore za merenje atmosferskog pritiska. MDA 100 razvojna pločica se preporučuje za aplikacije za samostalni razvoj.

7.3. Principi rada u bežičnim senzorskim mrežama

Bežični senzorski moduli koji pripadaju bežičnoj senzorskoj mreži su raspoređeni u prostoru u kojem se mere određeni senzorski podaci. Svaki modul ima mogućnost da meri i prikuplja podatke iz svoje okoline, kao i da ih šalje prema centralnoj upravljačkoj jedinici sistema, koja je povezana sa posebnim bežičnim modulom koji se naziva i kolektor podataka (engl. sink, gateway) . Kako bi se podaci prosledili od udaljenog bežičnog senzorskog modula do kolektora podataka, obično je neophodan prenos podataka u više skokova (engl. multi-hopping) , odnosno prenos podataka preko više usputnih bežičnih senzorskih modula. Dakle, bežični senzorski moduli imaju dve funkcije, merenje i slanje podataka iz svoje okoline, i prosleđivanje podataka izmerenih na drugim bežičnim senzorskim modulima, koji su u nekom od skokova tokom prenosa ka kolektoru podataka stigli do modula. Takođe, prilikom prenosa podataka, moduli mogu i da obrađuju podatke, vrše fuziju senzorskih podataka, kako bi odstranili podatke sa greškama, ili izvukli zaključke iz dobijenih podataka sa više senzora ili tokom određenog vremenskog perioda, a zatim da ovakve obrađene podatke prosleđuju ka kolektoru podataka i centralnoj upravljačkoj jedinici sistema. U okviru bežične senzorske mreže, neki od modula mogu da imaju ulogu prikupljanja podataka iz određenog dela prostora, pri čemu oni služe kao kolektori podataka za taj deo prostora, skupljaju podatke od modula u okolini i vrše agregaciju primljenih senzorskih podataka, koje zatim prosleđuju ka glavnom kolektoru podataka i centralnoj upravljačkoj jedinici sistema . Na ovaj način izbegava se višestruko slanje istih ili sličnih podataka od više modula koji se nalaze u određenom delu prostora, čime se štedi energija i količina podataka za prenos. Bežični senzorski moduli mogu biti raspoređeni u prostoru na tačno određene pozicije, ili mogu biti nasumično raspoređeni (npr. razbacani u polje iz aviona), pri čemu moraju da imaju sposobnost samoorganizacije u bežičnu senzorsku mrežu, kao i pronalaženja puteva za komunikaciju od modula do kolektora podataka i centralne upravljačke jedinice. Kada su podaci spremni za slanje, prvo se izvršava neki od MAC protokola (engl. media access control, kontrola pristupa medijumu) na nivou veze OSI (eng. Open Systems Interconnection) modela, koji obezbeđuje da bežični senzorski moduli mogu da šalju i primaju podatke bez konflikta sa susednim modulima. Ovi protokoli određuju pravila i raspored komunikacije, budući da u jednom trenutku samo jedan par modula može

da komunicira na određenoj frekvenciji, u svom dometu. Zatim, neki od protokola za rutiranje na nivou mreže OSI modela pronalazi optimalnu putanju kojom se podaci šalju do krajnje destinacije, obično do kolektora podataka i centralne upravljačke jedinice sistema.

U bežičnim senzorskim mrežama se razvijaju posebni protokoli za rutiranje, kod kojih bežični senzorski modul na početku komunikacije obično osluškuje okolinu i formira tabele susednih modula, pri čemu beleži na kojoj udaljenosti se određeni sused nalazi, koliko ima preostale energije, koliko je kašnjenje pri komunikaciji preko tog suseda, kao i procenu kvaliteta veze sa susedom, a zatim pri komunikaciji odlučuje kako da komunicira na osnovu formiranih tabela. U okviru komunikacije, izuzetno je važna i vremenska sinhronizacija između pošiljaoca i primaoca podataka, kako bi se obezbedila mogućnost što bolje raspodele vremena između režima spavanja i aktivnog režima u bežičnom senzorskom modulu i omogućila maksimalna ušteda energije. Među najčešće frekvencije radio talasa koje se koriste u bežičnim senzorskim mrežama spadaju: 433 MHz (npr. mica2, Cricket, BTnode), 868 MHz (npr. mica, mica2, EyesIFX), 916 MHz (npr. WeC, rene, rene2, dot, mica2, BTnode, TEHU-1121), i 2,4 GHz (npr. micaz, TelosB/Tmote, SHIMMER, Sun SPOT, IRIS, V-Link, TEHU-1121, NI WSN-3202, Imote, Imote2, Stargate).

8. Najčešće korišćene senzorske platforme u bežičnim senzorskim mrežama za medicinu

8.1. BSN Node

BSN Hardverska platforma je dizajnirana tako da bude korišćena zajedno sa i u različitim zdravstvenim sistemima gde je potrebno prikupljanje više informacija o stanju osobe. Posедуje 8MIPS procesor, radio frekvencijski link koji je zasnovan na ZigBee platformi, 512k EEPROM i stek dizajn. „BSN node“ obezbeđuje platformu



Slika 11. BSN Node

koja je mala, visoko sposobna, niske potrošnje, koja služi za razvijanje prožimajućih fizioloških i kontekstualnih senzora.

„BSN node“ u aktivnom modu koristi 300 mikroAmpera, i 1.1 mikroAmpera StandBy modu, a 0.2 mikroAmpera u spavajućem ili „sleep“ modu.

Napajanje BSN senzorskog čvora je obezbedjeno preko specijalno dizajnirane baterijske ploče. „BSN Node“ je kompatibilan za rad sa TinyOS sistemom. Na **slici 11** se nalazi primer izgleda BSN

Node-a.

8.2. Crossbow Iris

Iris omogućava bežičnu komunikaciju na frekvenciji od 2.4 GHz (po standardu IEEE 802.15.4), i koristi Zigbee komunikacioni protokol stek „. Kao kod većine savremenih bežičnih čvorova, kao i kod Irisa je veoma bitan factor niska potrošnja energije. Iris bežični senzorski čvor poseduje tri glavne komponente:

- Procesor sa periferijama
- „Logger Flash“ za čuvanje podataka
- Primopredajni radio čip



Slika 12. Crossbow Iris bežični senzorski čvor sa dodatnom senzorskom pločicom

Procesor Iris čvora je osmootbitni mikrokontroler ATmega1281, koji podržava radnu frekvenciju od 8 MHz. Mikrokontroler sadrži programsku fleš memoriju od 128 KB, operativnu memoriju od 8 KB i EEPROM memoriju za čuvanje parametara za podešavanje i konfiguracije od 4 KB. Kao svaki savremeni kontroler, ATmega1281 poseduje razne periferije, kao što su digitalni ulazi/izlazi, A/D konvertori (ADC) i serijski komunikacioni interfejsi (UART, I2C i SPI).

„Logger Flash“ je fleš memorija veličine 512 KB, koja služi za čuvanje izmerenih podataka u toku akvizicije.

Treća komponenta Iris čvora je RF CMOS radio primopredajno integrisano

kolo. Ovaj primopredajnik je predviđen za aplikacije bazirane na standardu IEEE 802.15.4. Veoma velika prednost ovog integrisanog kola je podrška za hardversko određivanje RSSI vrednosti.



Slika 13. Tmote i TelosB senzorski čvor

8.3. TelosB, T mote, Sky Mote

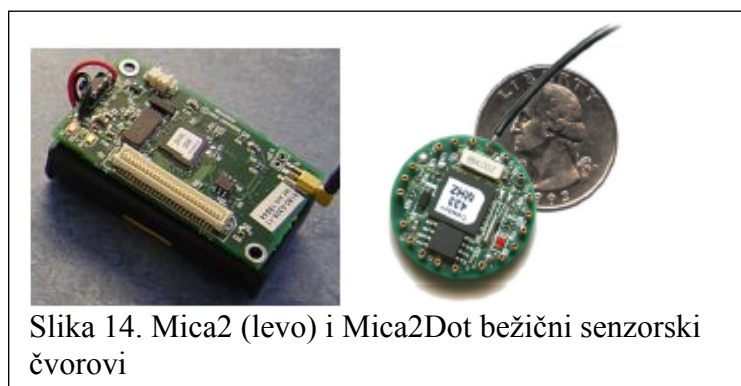
TelosB, T mote i Sky Mote uređaji su razvijeni na Berkliju (University of California). Oni predstavljaju novi dizajn senzorskih čvorova (zahvaljući zasnovanom iskustvu prethodnih generacija senzorskih jedinica). Istraživači su dizajnirali TelosB, T mote, Sky Mote kako bi imali minimalnu potrošnju energije, jednostavnost upotrebe, i povećanu softversko/hardversku robustnost. Dodavanjem MSP430 procesorske jedinice, TelosB, T mote, i Sky Mote su dobili mogućnost potrošnje jedne desetine energije u odnosu na svoja prethodna izdanja.

Ovi čvorovi imaju integrisanu mogućnost opažanja vlažnosti okoline, temperature i svetlosnih senzora. a takodje poeduju i 16-to pinsku podršku za dodavanje opcionih uređaja i mogućnosti, a takodje je moguće dodati i opcioni SMA antenski konektor. Ovi čvorovi koriste radio modul Chipcon CC2420 zvan na 802.15.4 protokolu, a poseduju i integrisanu antenu sa dometom od 50 metara u zatvorenom prostoru, i do 125 metara u otvorenom prostoru.

Sa MSP430F1611 procesorskom jedinicom dolazi i 10 Kbyte RAM-a i 46 Kbyte flash memorije. Tu se nalazi i do 8 Mhz*8 kanala od 12 bit-a A/D. Ovaj processor se još odlikuje i izuzetno niskom potrošnjom energije za vreme neaktivnosti, i predstavlja jednu od često korišćenih uređaja u medicinskim aplikacijama koji se bave opažanjem pacijenata i sličnim pitanjima. Telos B, Tmote i Sky Mote koriste i ST M25P80 fleš memoriju za eksterne podatke i pohranjivanje koda, i tu ima proctor za 1024 kB informacija. Pitanje napajanja može biti rešeno sa dve AA baterije, što je i planirano dizajnom kućišta ovih čvorova. Jačina snage ovih baterija ne sme biti manja od 2.7 V DC. U slučaju kada je neki od ovih senzorskih čvorova povezan sa USB portom, onda USB porta obezbeđuje energiju za ove čvorove. Ranije pomenuta 16-to pinska podrška se može upotrebiti za dobijanje dodatne energetske snage, pod uslovom da ne dodje do prelaska vrednosti od 3.6 V DC. Ovi uređaji (TelosB, T-Mote, Sky Mote) mogu funkcionisati i pod operativnim sistemima kao što su TinyOS, Mantis OS i Contiki.

8.4. MICA2, MICA2 dot, MicaZ

MICA2 je rešenje proizašlo iz MICA tehnologije razvijene na univerzitetu Berkeley. Sam MICA2 (Slika 7) je komercijalno rešenje kompanije Crossbow. On je delimično open source rešenje. Platforma u osnovi ne poseduje senzore. Zbog postojanja A/D I/O konektora moguće je lako proširivanje dodatnim senzorima i senzorskim modulima. MICA2 senzorski čvor predstavlja treću generaciju komercijalnih senzorskih čvorova. MICA2 svoju primenu često nalazi u okviru istraživanja i razvoja senzorskih mreža. Mica2 senzorski čvor je poboljšan u odnosu na prvobitni MICA čvor. Iako oba čvora imaju isti procesor (Atmel Atmega 128L), a SRAM i EEPROM memorija funkcionišu na istoj brzini (SRAM – 44 kbit/s, EEPROM 4 kbit/s), Mica2 upotrebljava operativni sistem TinyOS za kontrolu udaljenih senzorskih čvorova. Takodje, MICA2 poseduje i veću brzinu prenosa podataka od 38.4 kbit/s, a još je i povećan domet komunikacije na 500 metara. Na slici 2. možemo videti Mica2Dot senzorski čvor koji po veličini sličan jednom novčiću, a glavne razlike između ova dva čvora se odnose na veličinu baterije, i na razliku po pitanju I/O (ulazno/izlaznih) sposobnosti.



Mica2 i Mica2Dot pružaju i mogućnost svakom čvoru da ima funkciju usmerivača, a omogućeno je i reprogramiranje na daljinu (preko mreže senzora). Dve AA baterije su izvor energije ovim čvorovima, i uređaji imaju vek trajanja od godinu dana u zavisnosti od primene i

aplikacije.

Kod MicaZ senzorskog čvora jedna od glavnih razlika, u odnosu na svoja dva pandana predstavlja, je upotreba radio uređaja “Chipcon CC2420” koji funkcioniše u frekvencijskom rasponu od 2.4 GHz, po standardu IEE 802.15.4, sa mogućnošću razdaljine od 75 - 100m, a napajanje obezbeđuju dve AA baterije.

8.5. WeBee3

WeBee3 predstavlja minijaturni senzor koji radi na baterije, a cena mu je niska i iznosi manje od 10 evra. Srce ovog hardverskog čvora koji je zasnovan na IEEE 802.15.4/ZigBee standardu, je CC 2431 čip.

Sam senzor je sastavljen od ZigBee stek transivera koji dozvoljava potpunu integraciju WeBee3 senzora kao kranji uređaj u ad-hok meš mrežama. Značajno je pomenuti da WeBee3 može da radi preko 10 godina bez menjanja baterije.

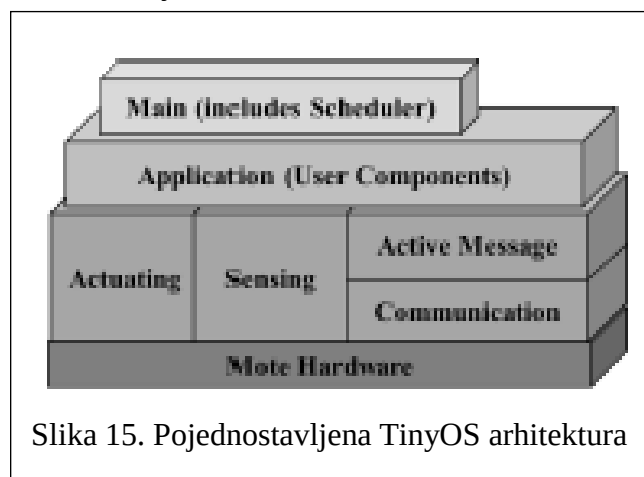
8.6. SunSPOT

SunSPOT je razvojni paket za WSN baziran na programskom jeziku Java. Razvila ga je kompanija SUN Microsystems. Osnovni paket sastoji se od tri uređaja. Prvi je bazna stanica (sink) koja se uz pomoć USB komunikacije povezuje sa računarom. U paketu se nalaze još dva identična SN. Svaki poseduje senzore za merenje temperature, svetlosti i pomeraja (objekta u prostoru). SunSPOT je potpuno open source rešenje.

9. Programiranje bežičnih senzorskih modula i operativni sistemi za bežične mreže

Programiranje bežičnih senzorskih modula se obično vrši preko namenskog programatora, koji može da koristi različite interfejsse za povezivanje sa računarom, kao što su Ethernet (engl. Ethernet), bežična mreža, USB (engl. Universal Serial Bus) i drugi serijski portovi. Pojedini bežični senzorski moduli mogu da se programiraju samo putem programatora, dok neki imaju i mogućnost direktnog programiranja povezivanjem sa računarom. Tokom godina, razvijeno je nekoliko softverskih platformi namenjenih za programiranje bežičnih senzorskih modula.

9.1. TinyOS

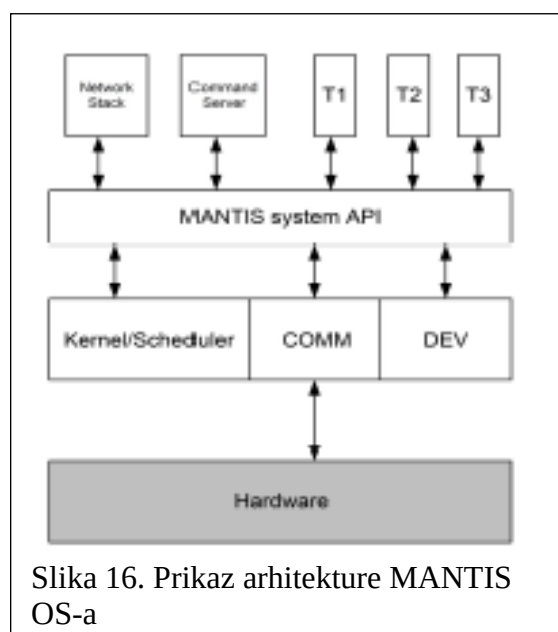


Slika 15. Pojednostavljena TinyOS arhitektura

Medju najprihvaćenijim operativnim sistema za bežične senzorske mreže je TinyOS. Kao što mu i naziv nagoveštava, TinyOS (engl. tiny operating system, sićušni operativni sistem) je dizajniran tako da zauzima što manje memorije, odnosno zauzima manje od 400 bajta memorije. Implementiran je u programskom jeziku NesC, koji je dijalekt programskog jezika c, u

kojem se programiraju i bežični senzorski moduli. TinyOS je operativni sistem otvorenog koda (engl. open source), razvijen na arhitekturi zasnovanoj na komponentama, koja minimizuje veličinu programskog koda i obezbeđuje fleksibilnu platformu za implementaciju novih komunikacionih protokola. Komponente mogu biti mrežni protokoli, distribuirani servisi, drajveri za senzore ili alati za akviziciju podataka. Postoji osnovni skup ugrađenih komponenti, koji se može i proširivati ili menjati u zavisnosti od potreba korisnika. TinyOS je operativni sistem zasnovan na događajima, što između ostalog omogućava korišćenje dobrih strategija za upravljanje potrošnjom energije u modulima.

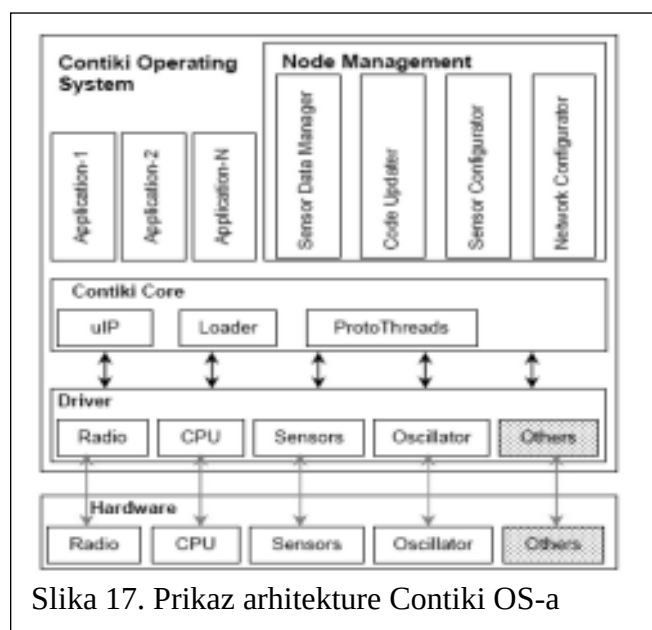
9.2. Mantis OS



Mantis operativni sistem (skraćeno od - Multimodal system for NeTworks of In-situ wireless Sensors) predstavlja novi multi-thread operativni sistem za bežične senzorske mreže. MANTIS predstavlja lak i energentski efikasan operativni sistem koji ima otisak od 500 bita, u kome se nalazi kernel, rasporedjivač i mrežni stek. Jedna od glavnih prednosti ovog sistema je ta što je on portabilan preko više platformi, tj. MANTIS aplikacije se mogu testirati na PDA uređajima ili na PC računaru.

Nakon toga aplikacija može biti portovana ili prebačena na senzorski čvor. Mantis OS takođe podržava udaljeni menadžment senzorskih čvorova kroz dinamičko programiranje. Mantis OS je napisan u programskom jeziku C i podržava razvoj aplikacija u C programskom jeziku. Mantis OS prati slojeviti arhitektonski dizajn kao što možemo videti na slici 16. Servisi koje pruža Mantis su implementirane u lejerima tj. slojevima. Svaki sloj deluje kao poboljšana virtualna mašina za slojeve iznad.

9.3. Contiki OS



Slika 17. Prikaz arhitekture Contiki OS-a

Contiki OS je operativni sistem čija je namena prevashodno pravljenje bežičnih senzorskih mreža, iako se može koristiti i kao embedded OS opšte namene. On podržava mnoge platforme (bežične senzorske sisteme). Podržanim platformama je pokriven dobar deo mikrokontrolerskih arhitektura kao i solidan broj radio čipova. Zahvaljujući toj činjenici, relativno je jednostavno portovati Contiki OS na neku novu platformu.

Prva verzija Contiki OS-a izašla je 2002. godine kao delo švedskog inženjera Adama Dankelsa (Adam Dunkels). Kako je projekat otvorenog koda, u njegovom razvoju danas učestvuju stručnjaci sa poznatih univerziteta širom sveta, preduzeća i etnuzijatsi.

Treba napomenuti da je za nagli razvoj, u prethodnih par godina, doprinela aktuelizacija tzv. IoT (Internet of Things) tehnologija koje u suštini sprežu tehnologije sa embedded svetom. "Pametne kuće" su tipičan i popularan primer primene IoT tehnologija. Za pojam pametna kuća se veže upravljanje kućnim uređajima kao i posmatranje kućnog okruženja kroz isčitavanje senzorskih podataka. Tako bi u pametnoj kući uz pomoć mobilne aplikacije bilo moguće: otvarati kapiju, upravljati osvetljenjem, regulisati zagrevanje, pročitati trenutnu potročnju električne energije, a takodje je moguće implementirati veze sa medicinskim sistemima na ljudskom telu.

9.4. LiteOS

LiteOS je operativni sistem sličan UNIX operativnom sistemu, koji je dizajniran za bežične senzorske mreže. Napravljen je u Univerzitetu Ilinoisa u Urbana-Šamplejnu.

Neki od glavnih ciljeva prilikom pravljenja LiteOS-a bili su da se obezbedi operativni sistem za bežične senzorske mreže koji je sličan Unix-u, da se programerima obezbedi poznata programerska paradigma (tj. programerski mod zasnovan na nitima tj. thread-based programerski mod, iako omogućava podršku registracije upravljača događajima koristeći povratne tj. "callback" funkcije), da se ponudi hijerarhijski fajl sistem, i da se omogući podrška za objektno-orijentisano programiranje u Lite C++ formi, i "shell" koji je sličan Unix operativnom sistemu.

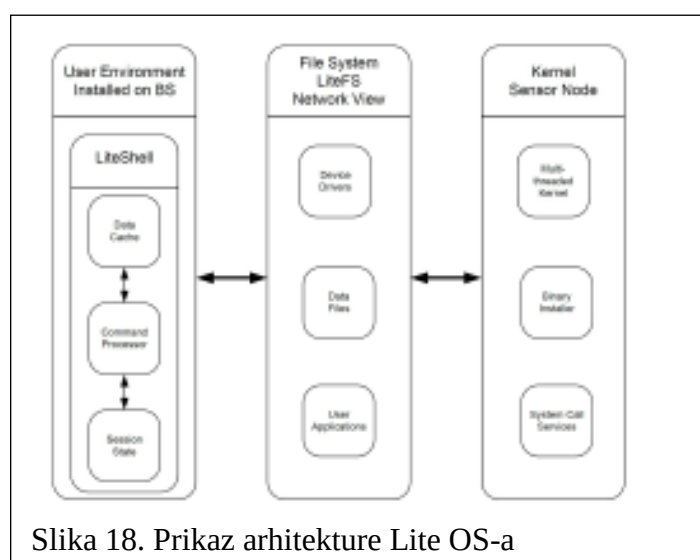
LiteOS sistem je dovoljno mali, pa može da funkcioniše na čvorovima koji imaju procesor od 8 Mhz, 128 bita programskog heša i 4 kilobita RAM-a.

LiteOS prati modularni arhitektonski dizajn i podeljen u 3 podsistema : LiteShell, LiteFS i Kernel.

LiteShell predstavlja "shell"(školjku) koja omogućava podršku za menadžment procesa, otklanjanje grešaka, uređaje, i "shell" komandama za menadžment nad fajlovima.

LiteFS postavlja i predstavlja sve susedne senzorske čvorove kao fajlove. LiteFS postavlja senzorsku mrežu kao direktorijum i onda lista sve "one-hop" senzore kao fajlove. Jezgro (kernel) LiteOS-a omogućava konkurentnost u formi višenitnosti (multi-threadinga), obezbeđuje podršku za dinamičko učitavanje, koristi "round-robin" i prioritetno raspoređivanje, dozvoljava programerima da registruju kontrolore dogajaja kroz povratne (callback) funkcije, i omogućava sinhronizacijsku podršku.

Kroz korišćenje LiteOS-a moguće je razvijati specijalne programe za senzorske čvorove. Najnovija verzija LiteOS sistema je 2.0. Lite OS funkcioniše na sledećim platformama - Windows XP/Vista/7, MicaZ senzorske čvorovi, i MIB510/MIB520 (pločice za programiranje).



Slika 18. Prikaz arhitekture Lite OS-a

Slika 18. prikazuje arhitekturu Lite OS-a.

9.5. Android platforma

Da bi se poboljšao kvalitet života pacijenta, potrebno je da pacijent može da pristupi telemedicinskoj aplikaciji sa bilo kog mesta i bilo kada. Razvojem novih otvorenih tehnologija, otvorena su i vrata razvoja ovakvih aplikacija i sistema. Mobilni telemedicinski sistemi predstavljaju kombinaciju naprednih uređaja za daljinsko nadgledanje, inovativnog softvera i hardvera koji daju mogućnost pružanja medicinskih servisa. Za izradu jedne telemedicinske aplikacije potrebno je odabrati adekvatno okruženje za rad. Internet, kao rezultat konvergencije razvoja računara i telekomunikacija, predstavlja najčešći izbor za komunikaciju aplikacija. U skladu sa tim, koriste se web-orijentisana okruženja za realizaciju telemedicinskih sistema. Tipičan primer su zdravstveni i telemedicinski portali, specijalizovani za konkretnu kliničku namenu. Razvoj ugradne mobilne tehnologije i informacione tehnologije (IT)

u medicini doneo je napredak u telemedicini i pružanju telemedicinskih servisa udaljenom korisniku. Mobilnim telefonom omogućen je pristup internetu, čime je olakšano praćenje stanja pacijenta od strane lekara. Spajanje interneta i mobilnog računarstva pruža velike potencijale i stvara nove izazove u oblasti telemedicine.

Pacijent putem interneta može da pošalje izmerene vrednosti i podatke sa svog mobilnog telefona na udaljeni personalni računar lekara ili staratelja. Ovo je samo jedan primer razmene medicinskih podataka u okviru telemedicinskog sistema. Razvoj telemedicinskih sistema upotrebom otvorenih rešenja nalazi svoju primenu u nadgledanju pacijenta. Mobilni uređaj postaje mobilni pristupni terminal za pružanje usluga monitoringa pacijentu. Ovlašćeni korisnici, bilo da je to pacijent, staratelj ili medicinsko osoblje, uvek i u svako vreme mogu pregledati podatke na *web* aplikaciji. Danas, mobilne telemedicinske aplikacije dobijaju na sve većem značaju. Kako je mobilni telefon uređaj koji se obično nosi sa sobom, platforme koje su orijentisane za razvoj aplikacija na mobilnim telefonima su postale veoma popularne. Ovo važi i za druge slične uređaje, kao što su tablet računari. Postoji više raspoloživih platformi za rad (iOS (*iPhone OS*), *Windows Mobile*, *RIM Blackberry OS* i druge), među kojima je u poslednje vreme sigurno jedna od najistaknutijih Android platforma. Android platforma omogućava visok stepen prilagođavanja i slobode pri realizaciji namenskih aplikacija. Uređaji koji su izgrađeni na Android platformi, kao i njihov korisnički interfejs, svako može da prilagodi svojim zahtevima. Kada se pametni mobilni telefon (*smartphone*) koristi kao pristupni terminal za pružanje monitoring usluga pacijentu, on je povezan sa biosenzorskim uređajem koji beleži fiziološke parametre pacijenta. Podaci se mogu preuzeti iz senzorskog uređaja i prikazati na Android telefonu i/ili u okviru *web* aplikacije na radnoj stanici (računaru).

Pored Android platforme, na raspolaganju su i druge platforme pogodne za programiranje aplikacija, među kojima su operativni sistemi iOS (*iPhone*) i *Windows Mobile*.

Android platforma se i dalje razvija, prihvata nove tehnologije i predstavlja pogodno okruženje za razvoj telemedicinskih aplikacija. Brzi razvoj Androida omogućile su jake kompanije koje predstavljaju sastavni deo OHA, ali i otvorenost koda i dobra organizacija. Platforma će se razvijati sve dok OHA bude zainteresovana za inovacije. Android je projekat otvorenog koda (*open source*), koji je besplatan i prilagodljiv aplikacijama za konkretne namene u zdravstvu. Sadrži operativni sistem, međuopremu (*middleware*) i ključne mobilne aplikacije. Međuoprema predstavlja softver koji omogućava servise aplikaciji koji nisu raspoloživi od strane operativnog sistema. Programerima (*software developers*) međuoprema dosta znači u cilju uspostavljanja komunikacijskih servisa, pa njihova pažnja može biti usmerena ka samoj realizaciji aplikacije, odnosno njenoj nameni.

Arhitektura Android-a sastoji se od nekoliko slojeva (lejera). Osnovna arhitektura Android-a je prikazana na **slici 19**. Najniži nivo je zapravo *Linux kernel 2.6*, koji predstavlja sloj softvera koji razdvaja fizički nivo (*hardware*) od ostatka softvera. Sastoji se od skupa upravljačkih programa (*drivers*) (ukupno 8), među kojima su:

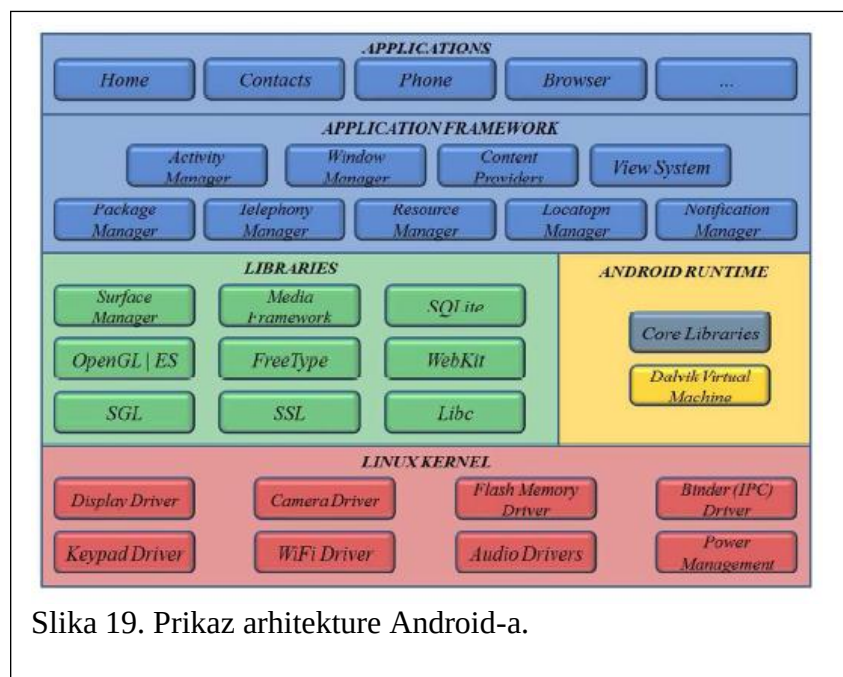
- upravljački program za prikaz (*Display Driver*),
- upravljački program za tastaturu (*Keypad Driver*),
- upravljački program za kameru (*Camera Driver*),
- upravljački program za Wi-Fi (*Wi-Fi Driver*),
- upravljački program za fleš memoriju (*Flash Memory Driver*),

- upravljački programi za audio (*Audio Drivers*),
- upravljački program za međusobnu komunikaciju (*Binder (IPC) Driver*) i
- upravljački program za kontrolu napajanja (*Power Management*).

Upravljački program za međusobnu komunikaciju, *Binder* ili *IPC (Inter-process communication)* upravljački program, služi za razmenu podataka u *on-line* komunikaciji (između različitih aplikacijskih entiteta) ili *off-line* komunikaciji (unutar entiteta).

Naredni, viši sloj platforme predstavljaju C/C++ biblioteke (ukupno 9):

- Surface Manager*,
- OpenGL | ES*,
- SGL*,
- Media Framework*,
- FreeType*, *SSL*,
- SQLite*,
- WebKit*,
- libc*.



Slika 19. Prikaz arhitekture Android-a.

Surface Manager predstavlja biblioteku koja upravlja prikazom grafičkog interfejsa. *OpenGL | ES (Open Graphics Library | for Embedded Systems)* i *SGL (Scene Graph Library)* su biblioteke koje opisuju rad sa trodimenzionalnom, odnosno dvodimenzionalnom računarskom grafikom. U slučaju trodimenzionalne računarske grafike, česta je potreba za renderovanjem (*rendering*), kojim se grafički prikaz realizuje na osnovu modela. Za potrebe snimanja i reprodukovanja audio i video formata služi *Media Framework*. *FreeType* i *SSL (Secure Sockets Layer)* su biblioteke za regulisanje fonta i sigurnost pri komunikaciji, respektivno.

WebKit (engine) je dizajniran za *web* pretraživače (i renderovanje *web* stranica). *Libc* predstavlja sistemsku biblioteku za sisteme koji su zasnovani na Linux-u.

Jedan od najvažnijih delova za funkcionisanje Android platforme je *Android Runtime*, koji se sastoji od biblioteka koje su neophodne za funkcionisanje programskog jezika Java (*Core Libraries*) i virtuelne mašine *Dalvik* (*Dalvik Virtual Machine*). *Dalvik* predstavlja sastavni deo Androida koji je optimizovan za rad na platformi predviđenoj za mobilne telefone i tablet računare. Fajlovi koji su kompatibilni sa Java virtualnom mašinom se često konvertuju u *Dalvik* kompatibilne fajlove pre instalacije programa na uređaj. Taj program je pisan na Java programskom jeziku.

Treći sloj Android platforme odnosi se na aplikacijski okvir (*Application Framework*). Sastoji se od servisa koji:

- omogućavaju upravljanje aktivnostima (*Activity Manager*),
- omogućavaju upravljanje prozorima (*Window Manager*),
- omogućavaju pribavljanje sadržaja (*Content Providers*),
- omogućavaju prikazivanje (*View System*),
- omogućavaju manipulisanje instaliranim paketima (*Package Manager*),
- omogućavaju upravljanje izvorima podataka (*Resource Manager*) i lokacijama izvora (*Location Manager*),
- kao i servisima za potrebe telefonije (*Telephony Manager*) i obaveštavanja (*Notification Manager*).

Najviši sloj u arhitekturi Androida je aplikacijski sloj (*Applications*). On sadrži aplikacije koje su vidljive krajnjem korisniku, među kojima su:

- glavni meni (*Home*),
- imenik (*Contacts*),
- telefon (*Phone*),
- pretraživač (*Browser*), itd.

One imaju funkcionalnost kao i kod drugih platformi koje odgovaraju mobilnim telefonima i tablet uređajima. Osim osnovnih aplikacija i/ili aplikacija koje su ugrađene (poruke, kalendar, kamera itd.), u ovom sloju se nalaze i ostale opcione aplikacije instalirane od strane korisnika, među kojima se najčešće podrazumevaju preuzete aplikacije sa mreže (*Android Market*-i, *Google Play*).

Do sada je izašlo nekoliko verzija Android-a. Imena su dobijale po slatkišima i to po abecednom redu: *Donut* (verzija 1.6), *Eclair* (2.1), *Froyo* (2.2), *Gingerbread* (2.3-2.3.2, 2.3.3-2.3.7), *HoneyComb* (3.1-3.2), *Ice Cream Sandwich* (4.0.3-4.0.4), *Jelly Bean* (poslednje verzije 4.1, 4.2). API (*Application Programming Interface*) nivo predstavlja broj koji jedinstveno određuje okvir API revizije koja je predložena verzijom platforme. Novi okviri za API su dizajnirani tako da ostaju kompatibilni sa prethodnim verzijama platformi.

Odabir Android platforme za mobilne uređaje u okviru telemedicinskih sistema nije isključiv. Ovde je ova platforma izabrana, jer danas sigurno predstavlja jednu od najotvorenijih platformi za realizaciju telemedicinskih aplikacija. Scenario koji uključuje mobilni uređaj, kao što je mobilni telefon i/ili tablet računar i predstavlja vezu korisnika, odnosno pacijenta sa predajne strane i korisnika/lekara sa prijemne može postati deo svakodnevnice. Pacijent u svom svakodnevnom okruženju uz pomoć senzorske mreže, AD konverzije, može obaviti prenos osnovnih zdravstvenih parametara. Akvizicija signala putem senzora može biti praćena dodatnim relevantnim podacima, kao što je informacija o tome gde se pacijent nalazi, putem

GPS-a (*Global Positioning System*). Android aplikacija realizovana za namensku akviziciju podataka (puls, krvni pritisak, elektrokardiogram, itd.) koristi se za prikaz raspoloživih podataka i dalji njihov prenos. Tehnologija za prenos do prijemnika zavisi od trenutnih okolnosti.

Osim pristupa koji uključuje razmenu podataka upotrebom raspoloživih sistema i tehnologija, kao što je upotreba interneta, mreže mobilne telefonije ili kablovske televizije, mogu se koristiti i tehnike za lokalni prenos do radne stanice (upotrebom *Bluetooth*, *Zigbee* ili *WLAN* pristupa). Podaci se direktno ili sa vremenskim kašnjenjem uz mogućnost dodatnih radnih stanica za analizu podataka šalju prijemnoj aplikaciji koja je sastavni deo sistema za monitoring (u okviru kućnog nadzora, određene lokalne ustanove (doma zdravlja), hitne pomoći, bolnice). Podaci mogu biti prenošeni i analizirani u okviru monitoringa u realnom vremenu ili češće u režimu sačuvaj-pa-prosledi (*store and forward*). Na prijemnom delu telemedicinskog sistema se može obaviti detaljna analiza pristiglih podataka (manuelna, poluautomatska, automatska).

Automatizovana analiza je moguća upotrebom odgovarajućih softvera za analizu podataka određenog tipa ili više tipova zajedno. Podaci koji su dostavljeni se čuvaju u arhivi pacijenta. U slučaju da analiza pokaže abnormalne rezultate postoji mogućnost hitne intervencije. Staratelj u okviru kućnog nadzora može kontaktirati specijalizovanu medicinsku ustanovu ili medicinska služba može direktno intervenisati s obzirom da je poznato gde se pacijent nalazi (GPS). Neophodno je imati na umu moguće slučajne okolnosti kao što je prestanak rada senzora (baterije), izmeštanje senzora (spadanje senzora sa tela pacijenta), itd. Zbog toga je upotreba dodatnih načina za audio/video monitoring takođe potrebna (npr. korišćenje kamere na mobilnom uređaju).

Telemedicinski sistem koji opisuje korisnika koji upotrebom pametnog mobilnog telefona upućuje zahtev za savet ili rezultate dijagnostike iz svog prirodnog okruženja predstavlja drugačiji scenario, ali opet sličan ovom.

Aspekt upotrebe platforme je drugačiji kod lekara, odnosno medicinskog osoblja. U sistemima za pacijente, obavlja se prikupljanje podataka, memorisanje, monitoring, eventualno pretraživanje na osnovu raspoloživih medicinskih podataka pacijenta, dok se u sistemima za lekare koristi razmena podataka u drugačije svrhe. Putem Android platforme, lekar je u mogućnosti da pristupi relevantnim podacima u okviru kućnog nadzora pacijenta, podacima koji su raspoloživi u udaljenim zdravstvenim ustanovama (konkretne baze podataka) ili da se usaglasi/konsultuje sa drugim stručnim licima.

Pametni telefoni i tableti predstavljaju sastavni deo savremenih telemedicinskih sistema. Od njih se očekuje da omoguće kontinuirano praćenje zdravstvenog stanja. Osnovna prednost Android aplikacija je da omogućavaju jeftino rešenje za univerzalni pristup podacima i njihovoj razmeni. Za potrebe ruralnih sredina često se razmatraju *cloud*-bazirani sistemi. Upotreba ovakvih rešenja pruža mogućnost za realizaciju brzih i isplativih telemedicinskih sistema.

Realno je očekivati da će se izbor Android aplikacija koje se mogu koristiti u konkretnim telemedicinskim sistemima proširiti, s obzirom na sve veći broj

raspoloživih digitalnih uređaja koji mogu učestvovati u mobilnoj kontroli zdravstvenog stanja (tablet računari, mobilni EKG, UV uređaji, odela opremljena fleksibilnim senzorima, i sl.).

U okviru servisa teleneg raspoložive su aplikacije (svaka sa svojim ograničenjima): za merenje pulsa, monitoring telesne težine, monitoring krvnog pritiska, kontrolu nivoa glukoze u krvi i drugih fizioloških parametara. Ovakve i slične aplikacije se mogu koristiti: za kućni monitoring, kontrolu u prirodnom okruženju, na poslu, za vreme fizičke aktivnosti (fityesa, sporta, fizičkog rada), itd. Softver se može koristiti kao pomoćno sredstvo za edukaciju, pri čemu bi važne informacije bile objašnjenje na ekranu. Može služiti za unos, prikaz i analizu medicinskih podataka i pre svega za njihovu razmenu.

Izbor raspoloživih telemedicinskih Android aplikacija, odnosno Android aplikacija koje se mogu preuzeti i iskoristiti u potrebe telemedicinskog sistema uglavnom nije odgovarajući i često je potrebno pristupiti razvoju aplikacije koja zadovoljava potrebe telemedicinskog servisa koji se želi pružiti. Pored toga, može se napomenuti da su aplikacije koje podržavaju *real-time* akviziciju medicinskog signala kao što je elektrokardiogram zahtevnije, zbog dodatne opreme koja je potrebna pored pametnog mobilnog telefona ili tablet računara. Kada se akvizicija fizioloških parametara obavlja nezavisnim sistemom, razvijene su aplikacije za njihov svakodnevni unos, ali i statistički prikaz i kontrolu tokom dužeg vremenskog perioda. Aplikacije za analizu podataka i implementaciju jednostavnih metoda za inicijalnu evaluaciju zdravstvenog stanja na osnovu unosa su takođe česti primeri upotrebe Androida. Ipak, u slučaju ozbiljnijih analiza i implementacije naprednih tehnologija neophodna je dvosmerna komunikacija mobilnog uređaja sa računarom ili računarskim sistemom. Osim aplikacija za potrebe akvizicije i analizu podataka, popularne su i aplikacije koje predstavljaju vodiče za pružanje medicinske nege (za bolničarke, prvu pomoć, itd.).

Granica mogućnosti Android-a se jednostavno može sagledati na primeru analize medicinske slike. Iako su razvijene aplikacije za inicijalni pregled DICOM slika (*Dicom Viewer-i*) uz upotrebu inicijalnih alatki (za poboljšanje kontrasta, zumiranje, merenje euklidskih rastojanja i sl.), one se ne mogu smatrati ozbiljnim medicinskim sredstvima za analizu. U tim slučajevima Android aplikacija se koristi za pružanje mogućnosti za osnovni pristup podacima ili osnovnu kontrolu nad ozbiljnijim udaljenim sistemom. Ali, Android aplikacije mogu poslužiti za obavljanje manjih aktivnosti, kao što je npr. "ping-ovanje" medicinske opreme ("echo" naredba DICOM standarda) da bi se testirala međusobna povezanost uređaja.

Kako ograničenja za dodatnu upotrebu medicinske opreme postoje, Android aplikacije koje se bave realnom akvizicijom nisu česte. Iz tog razloga, trenutno su popularne aplikacije za akviziciju pulsa, jer akviziciju obavljaју pomoću ugrađene kamere u okviru samog mobilnog telefona. Postavljanjem prsta korisnika na sočivo kamere meri se pulsiranje krvi u prstu na osnovu osetljivosti same kamere, kao što je to slučaj sa Android aplikacijom *Cardiograph*.

Osim pomenutih aplikacija, telemonitoring se razmatra i u slučajevima preciznijih tehnika merenja pulsa, praćenja naglih padova, kada je potrebna kontrola upotrebe lekova itd. Najčešći primeri ozbiljnijih telemedicinskih sistema koji su zasnovani na realnoj akviziciji signala i njihovom telemonitoringu upotrebom Android platforme su

oni koji se bave akvizicijom EKG-a. Ovde kvalitet EKG-a koji se dalje prenosi putem pametnog telefona i njegov prikaz predstavljaju dva osnovna izazova. Svaku od ovakvih aplikacija čekaju brojna pitanja za pružanje kontinualne i kvalitetne zdravstvene mobilne zaštite.

Najveći izazovi Android platformi u bliskoj budućnosti prete sa aspekta sigurnosti podataka koji se razmenjuju. Algoritmi i unapređenja koja nisu direktno vezana za telemedicinske aplikacije mogu biti ubuduće interesantne i za telemedicinske realizacije. S obzirom na početak ovakvih istraživanja, pitanja standardizovanih korisničkih interfejsa i dizajna odnose se samo na inicijalna razmatranja za potrebe razvoja Android telemedicinskih aplikacija. Upotreba otvorenih rešenja i mobilnih uređaja u telemedicinske svrhe u velikoj meri doprinose razvoju AAL (*Ambient Assisted Living*) aplikacija.

10. Medicinske bežične senzorske mreže na ljudskom telu

Skorijih godina tj. od nedavno dolazi do povećanja pojmova koje služe kako bi se opisale mreže senzora kako žičnih tako i bežičnih što je dovelo do konfuzije prilikom formulisanja različitih akronima koje opisuju slične sisteme. Često se dešava da slični akronimi opisuju sisteme koji su generalno veoma različiti. Tri takva akronima su Bežične senzorske mreže – WSN, telesne senzorske mreže BSN i mreže na ljudskom telu BAN.

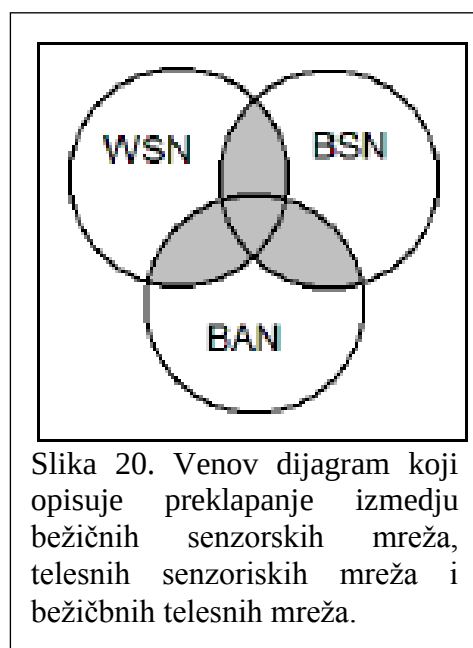
WSN – to su bežične senzorske mreže i ovaj pojam opisuje sisteme senzorskih nodova koji se konektuju i komuniciraju bežično u cilju formiranja distributivne senzorske mreže, što dozvoljava sveprisutno i prožimajuće opažanje i prikupljanje podataka. primene bežičnih senzorskih mreža variraju od upotrebe koje možemo da vidimo u ličnom networkingu, primera radi razmena informacija na kratkoj daljini koja služi samo za obične korisnike, pa onda imamo upotrebu u zdravstvu imamo upotrebu prilikom praćenja sportista ili generalno o detljima vezano za sport i imamo upotrebu prilikom nadgledanja industrijskih procesa i sredine i detalja vezano za čevokovu okolinu.

Generalno gledano gde god da žičani sistemi imaju problema u povezivanju ili u radu ili se pokaže kao nepraktičan njihov rad, bežične senzorske mreže mogu naći svoju kvalitetnu primenu. Veličina bežičnih senzorskih mreža može da se sastoji od nekoliko senzorskih modula do nekoliko stotina i više senzorskih uređaja i može da se prostire od samo jednog metra do stotinu metara.

BSN – body sensor networks takodje opisuju sisteme senzorskih čvorova ali specifično za primenu na i oko tela. Kao takve njihova unutrašnja komunikacija tj. komunikacija između čvorova je mala i zavisi od mesta gde se senzorski moduli nalaze i koja je njegova funkcija i samim tim bežična komunikacija ne mora da bude esencijalna tj. bitna. BSN je pojam koji može poslužiti za opis žične ili bežične senzorske mreže.

U sledećoj tabeli možemo pronaći različite izazove i potrebe koje se postavljaju pred WSN i BSN.

TABELA 1 - izazovi i potrebe koje se postavljaju pred WSN i BSN.		
Izazovi	WSN	BSN
Veličina mreže	Dovoljno velika da pokrije potrebno područje koje se nadgleda (metri/kilometri)	Velika kao ljudsko telo na kome se nalazi
Broj čvorova	Veći broj čvorova je potreban za precizno pokrivanje veće površine	Potrebni su manji čvorovi, veće preciznosti
Funikcija čvora	Više tipova senzora, svaki sensor određene zadatke	Senzori koji obavljaju više radnji odjednom
Preciznost čvora	Moguća smanjenost preciznosti se koriguje brojnošću čvorova uz moguću dodatnu validaciju podataka	Ograničen broj čvorova gde je za svakog potrebno da bude tačan i izdržljiv
Veličina čvora	Poželjna je mala veličina, ali to nije ograničavajući factor u mnogim slučajevima	Prožimajuće nadgledanje subjekta i potrebna minitimizacija čvorova
Dinamika rada i "radno okruženje" čvora	Izloženost ekstremnim vremenskim uslovima, buci, i nesinhronizaciji	Izloženost predvidljivim uslovima rada i predvidljivim okruženjem, sa izazovom kada je u pitanju kretanje
Detekcija događaja	Poželjna rana detekcija nepovoljnih događaja, greške su često reverzibilne	Od vitalnog je značaja rana detekcija nepovoljnih događaja
Promenljivost	Verovatnija je fiksna tj. Statična struktura	Biološke varijacije i kompleksnost podrazumevaju veću verovatnoću promenljive structure
Zaštita podataka	Potreban optimalan stepen zaštite, u zavisnosti od poverljivosti informacija	Potreban visok stepen poverljivosti podataka kako bi se zaštitile informacije o pacijentu
Napajanje	Dostupno i verovatno se može menajti lakše i češće	Teško ili nedostupno za promenu u situacijama gde su senzori ili čvorovi implantirani
Potrebno napajanje	Verovatno je potrebno veća količina energije za napajanje, budući da se energija lakše dostavlja	Naglasak je stavljen na manju potrošnju zbog teže dostave energije
Akvizicija energije	Solarna i energija vetra su najverovatniji kandidati	Pokret (vibracija) i termalna energija (toplota ljudskog tela) su najverovatniji kandidati
Pristup sensorima	Senzorima se može lakše prići i mogu se lakše zameniti	Implantiranim sensorima je teže prići, i veoma je poželjna biorazgradivost
Biokompatibilnost	Najčešće se ne uzima u obzir	Potrebna ili veoma značajna osobina. Najverovatnije dovodi do povećanja cene
Kontekstualna orijentisanost	Nije toliko bitna sa statičkim sensorima gde su okruženja valjano definisana	Veoma bitna stavka zato što je telesna fiziologija veoma osetljiva na promenu konteksta
Transfer podataka	Gubitak podataka tokom bežičnog transfera se najverovatnije može nadomestiti sa brojem senzorskih čvorova	Gubitak podataka može da bude značajan factor, i može da dovede do značajnih koraka u pravcu pribavljanja pravih podataka zarad održavanja visokog kvaliteta usluge



BAN – Mreže na ljudskom telu predstavljaju bežičnu komunikaciju na ili blizu tela. Kao takve one ne moraju da budu korišćene da bi opisale upotrebu senzora, ovaj termin je počeo da se koristi od 2007. godine kada je IEEE formirao posebnu grupu – 6 koja je proizvela standard koji funkcioniše na kratkim razdaljinama i koji je specifično napravljen za primenu na ljudskom telu.

U odnosu na sve ove kratke opise koji su gore navedeni, može se primetiti da se preklapaju primene ove tri mreže. Kroz jedan primer venovog dijagrama prikazan je pregled ove tvrdnje (slika 20).

Same zasebno, svaka mreža se razlikuje od ostalih po nekom aspektu delovanja ili po primeni, a kada dodje do preseka primene neke od barem dve mreže, nailazi se na sistem koji se koristi za istu stvar primera radi –nagledanje telesnih parametara.

Primer koji navodi venov dijagram – ono što je osenčeno generalno može opisivati sistem bežične mreže senzora koji se mogu postaviti na telo.

Prvi zadatak koji se postavlja pred inženjere prilikom dizajniranja WBAN za primenu u zdravstvu jeste da se nadje pogodno bežična platforma na osnovu koje je moguće da se bazira ovaj sistem. Tokom razmatranja pogodnih bežičnih standarda nekoliko elemenata se trebaju uzeti u obzir.

Prilikom presudjivanja o prigodnosti bežičnog standarda za primenu u okviru BSN-a ili WBAN-a, uzima se u obzir količina podataka koja je potrebna da se prosledi i uzima se u obzir vremenski period koji je potreban da bi se tako nešto izvelo. To su neke od najbitnijih stvari koje se uzimaju u obzir prilikom stvaranja nove zdravstvene aplikacije.

Application	Target data rate	No. of nodes	Topology	Setup time	P2P latency	BER	Duty cycle	Desired battery lifetime
Deep brain stimulation	1 Mb/s	2	P2P	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-3}	< 50%	> 3 years
Hearing aid	200 kb/s	3	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 10%	> 40 hours
Capsule endoscope	1 Mb/s	2	P2P	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 50%	> 24 hours
Drug dosage	< 1 kb/s	2	P2P	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 1%	> 24 hours
ECG	72 kb/s (500 Hz sample, 12-bit ADC, 12 channels)	< 6	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 10%	> 1 week
EEG	86.4 kb/s (300 Hz sample, 12-bit ADC, 24 channels)	< 6	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 10%	> 1 week
EMG	1.536 Mb/s (8 kHz sample, 16-bit ADC, 12 channels)	< 6	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 10%	> 1 week
O ₂ /CO ₂ /BP/ temp/respiration/ glucose monitoring, accelerometer	< 10 kb/s	< 12	Star	< 3 s	< 250 ms	< 10^{-10}	< 1%	> 1 week
Audio	1 Mb/s	3	Star	< 3 s	< 100 ms	< 10^{-5}	< 50%	> 24 hours
Video/med imaging	< 10 Mb/s	2	P2P	< 3 s	< 100 ms	< 10^{-3}	< 50%	> 12 hours

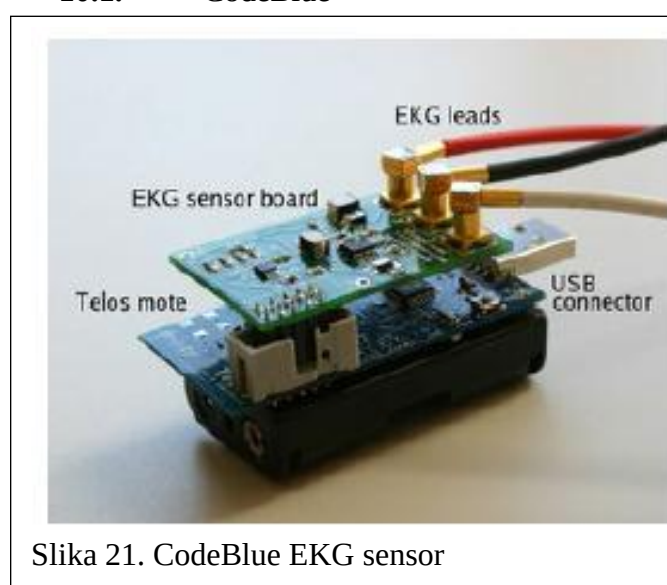
Tabela 2. Tehničke potrebe za mreže na ljudskom telu

Pouzdanost i smanjenje smetnji tj interferencija su takodje bitni da se uzmu u obzir zato što mreža koja je postavljena na ljudskom telu ne može da sebi dozvoli luksuz koje velike WSN mogu da dozvole a to je primera radi ispadanje nekog čvora iz funkcije, zbog toga što svaki čvor ima jednu ili više posebnih parametara koje treba da meri, i njegovo ne funkcionisanje ili gubitak podataka može da rezultuje time da neka bitna informacija nije dostupna samom sistemu. Veličina i broj čvorova i konzumacija

energije su esencijalni faktori kod mreže koja je uglavnom fokusirana na praćenje telesnih događanja tj. to su esencijalni faktori koji su fokusirane na samo telo. Konzumacija energije samim tim utiče na veličinu samoga čvora i na trajanje baterije. Samim tim se ograničava izbor napajanja za sam čvor. Za bežični sistem prikupljanja podataka, vremenska sinhronizacija između čvorova je veoma bitna zbog pravovremenog i istovremenog prikupljanja bitnih informacija iz spoljašnjih opažanja. Tipične potrebe za bežičnu telesnu senzorsku mrežu se mogu naći na tabeli 2-2 (Patel i Wang 2010).

Potencijani kandidati za bežične standarde su sumalizovani tj. objedinjeni u sledećem redovima i uzimaju se u obzir u odnosu na njihovu održivost i primenu i praktičnost u zavisnosti od potrebnog rešenja.

10.1. CodeBlue



Slika 21. CodeBlue EKG sensor

CodeBlue je jedno od mnogobrojnih WSN rešenja koje je svoju primenu našlo u medicinske svrhe (Slika 21). Prvobitno je bio usmeren ka unapredjenju procesa trijaže u momentima velikih nesreća ili prirodnih katastrofa, ali je svoju primenu takodje našao i u medicinskih centrima. Sistem je razvio Harvard Sensor Networks Lab. Jezgro ovog uređaja predstavljaju dva nezavisna senzora (pulse oximeter i bežični two-lead EKG) koji komunikaciju

obavljaju preko radio uređaja koji imaju za osnovu standard IEEE 802.15.4. Ovi uređaji prikupljaju: frekvenciju rada srca (HR-heart rate), saturaciju kiseonika u krvi (SpO2) i EKG. Ovi uređaji i slični u okiru iste CodeBlue mreže su sposobni da vrše funkciju bežičnih čvorova. Očitanim podacima se može pristupiti preko računara, PDA-uređaja, bolničkih terminala, a dodatno je moguća i dalinska kontrola senzora. Pacijenti sa CodeBlue monitorima mogu se pratiti i lokalizovati korišćenjem tehnika lokalizacije zasnovanim na radio frekvencijama. Svi uređaji se mogu isprogramirati tako da različito obrađuju informacije od interesa (definisanje raznih vrsta tajmera i trigeri). Baziran je na otvorenoj softverskoj platformi TinyOS. CodeBlue je potpuno open source rešenje.

10.2. MEDiSN

MEDiSN adresira slične ciljeve kao CodeBlue (npr unapredjenje procesa praćenja hospitalizovanih pacijenata i žrtava nesreće) ali koristeći drugačiju arhitekturu mreže. Za razliku od ad-hoc mreže korišćene u CodeBlue, MEDiSN koristi bežičnu mrežu-okosnicu sa lako uključivim relejnim tačkama (RT). RT su pozicionirane na fiksnim lokacijama i samoorganizuju se u šumu ukorenjenu na jednom ili više gateway-a (kao PC koji se konektuje na Internet) koristeći varijaciju Collection Tree Protocol (CTP), prilagođenog za veliki protok podataka. Čvorovi koji prikupljaju vitalne znake,

poznati kao miTags (miSense) (**slika 22.**) povezuju se sa relejnim tačkama da pošalju svoja merenja ka gateway-u.



Slika 22. miTag/miSense

Posvećena backbone arhitektura koju MEDiSN poseduje značajno smanjuje potrošnju na rutiranje u poređenju sa mobilnom ad-hoc mrežnom arhitekturom i daje dve velike koristi. Prvo, dozvoljava mrežnom operateru da proširi pokrivenost i projektuje njene performanse menjajući broj i poziciju RT-ova u backbone-u mreze. Zatim, pošto miTag-ovi ne moraju da rutiraju podatke sa drugih čvorova, mogu značajno da koriste duty

cycle za čuvanje energije. MEDiSN koristi 128-bit AES-baziranu enkripciju i proveru identiteta da obezbedi sve fiziološke podatke.

10.3. ADZ

Intel Reseach iz Sijetla i Univerzitet u Vašingtonu su napravili prototip sistema koji moze da prepozna aktivnost dnevnog zivota (ADZ) pacijenta. U ovom sistemu, senzorne markere su postavljene na svakodnevne predmete kao što je četkica za zube ili šolja za kafu. Sistem prati pokrete označenih objekata pomoću čitača markera. Dugoročni cilj je da se razvije kompjuterizovani sistem koji pomaze u obavljanju ADZ za stariju populaciju.

10.4. Smart Medical Home

Univerzitet u Ročesteru je predstavio Smart Medical Home rešenje, koji je "kuća" sa pet soba opremljena infracrvenim senzorima, kompjuterima, bio-senzorima i video kamerama koje koristi istraživački tim koji prati subjekte dok testiraju koncepte i prototipove uređaja. Cilj je napraviti integrisani lični sistem zdravstvene zaštite koji prikuplja podatke 24 sata dnevno i prezentuje ih medicinskom osoblju.

10.5. Aware home

Georgia Tech je napravila Aware home kao prototip za pametni prostor. Ovaj prostor je ziva laboratorija koja je sposobna da prikuplja podatke o sebi i o različitim vrstama aktivnosti svojih zitelja. Aware Home kombinuje sveprisutne senzore koji prepoznaju kontekst, monitoring zasnovan na kompjuterskom vidu kao i akustička praćenja u zajedničko sveprisutno izračunavanje svakodnevni aktivnosti ostajući transparentan za svoje korisnike.

10.6. SHIMMER Platforma

SHIMMER je rešenje koje je proizvela Intel korporacija. U pitanju je mala, lako proširiva WSN platforma, prilagodjena kretanju subjekta (pacijenta) koji se posmatra, a uglavnom služi za telesna merenja.

SHIMMER platformu odlikuju i senzori za merenje fizioloških parametara (EKG, EMG) i kinematičkih vrednosti (akcelerometar, vibracioni senzor, žirosokop) koji vrše nadgledanje subjekta u realnom vremenu. Pored toga, SHIMMER poseduje i memorijsku karticu, a takodje može da funkcioniše u režimu niske potrošnje energije, kao i da prikuplja i prosledjuje podatke na duži vremenski period. Pored ovih mogućnosti, SHIMMER odlikuje i mala potronja u bežičnoj komunikaciji. Celo rešenje funkcioniše na operativnom sistemu TinyOS, a dolazi u pakovanju malih dimezija.

Karakteristike SHIMMER platforme možemo naći u tabeli 3:

I/O	• Akcelerometar na tri ose koristeći MMA7361 1.5/6 G MEMs • Tri LED diode • Jedno akcijsko dugme i dugme za reset • Pasivni vibracioni senzor za očuvanje radnog režima i baterije
Mikroprocesor	• MSP430F1611 • 10 Kb RAM, 48 Kb flash • 2 DAC • osam 12bit A/D ulaza • Niska potrošnja energije u neaktivnom režimu • Dokazana upotreba u medicinskoj elektronici
Memorija	• 2 Gb MicroSD kartica • Integrisan čitač kartice sa baznom stanicom • Softverska kontrola na hostu kada se poveže sa baznom stanicom
Komunikacija	• 802.15.4 Radio LR-WPANs • Klasa 2 Bluetooth radio • Modul RN-42 • Automatski režim rada
Platforma	• Mobilna • Veličina 53mm x 32mm x 15 mm • Prilagodljiva okruženju
Baterija i radni režim	• 280 mAh baterija • Integrisan punjač preko bazne stanice i USB porta • Merenje napona i struje za notifikacije u radu • Automatsko gašenje i prijavljivanje niskog baterijskog nivoa

Tabela 3 – karakteristike SHIMMER platforme

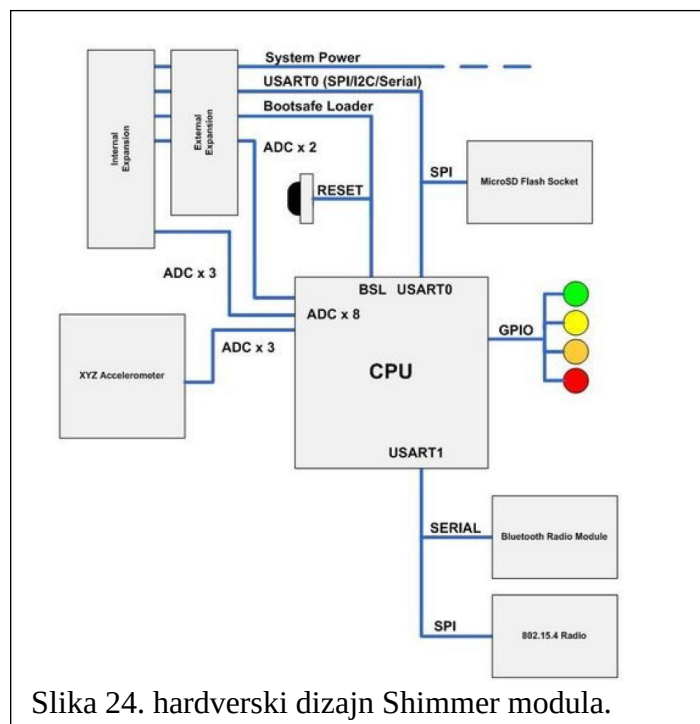
Shimmer modul se sastoji od mikroprocesora MSP430F1611. Preko ovog mikroprocesora izvršavaju se naredbe i kontrolišu se operacije modula. Sistem se kontroliše i podešava preko I/O pinova. U slučaju da se modul nalazi na bazi, određeni pinovi menjaju svoju funkciju. Centralna procesorska jedinica koristi integrisane dvanaesto-bitne analogno-digitalne konvertore za prikupljanje informacija o EKG-u, EMG-u, GSR-u, kretanju, stanju baterije itd. Preko eksternih konektora može se ostvariti komunikacija ka modulu i od modula, uz upotrebu baze, koja poseduje svoje COM portove koji su emulirani preko USBa. Na samom modulu se nalazi MicroSD slot na kome se mogu skladištiti dodatni podaci kada sistem radi van realnog vremena. Pored toga na modulu se nalaze i tri LED diode koje služe za indikaciju koje se mogu dodatno konfigurisati i koristiti po potrebi i u zavisnosti od dodeljene funkcije. SHIMMER modul ostvaruje bežičnu vezu preko Bluetooth modula i uz pomoć radio modula koji je zasnovan na protokolu 802.15.4 (Sličan ZigBee-ju).

Sam modul nije pogodan za oduzimanje ili dodavanje hardverskih funkcija, i proizvođač zahteva da se sa njim prvobitno ostvare konsultacije kako bi se radile bilo



Slika 23. izgled Shimmer modula.

kakve izmene. Na **slici 23.** je prikazan izgled Shimmer modula, dok je na **slici 24.** prikazan hardverski dizajn SHIMMER modula. Cela platforma je dizajnirana tako da se ostvari što veća minimalizacija i integracija. Operativni sistem platforme je TinyOS koji je pouzdan u radu i pritom je softver otvorenog koda što ga čini lako izmenljivim.



Slika 24. hardverski dizajn Shimmer modula.

10.7. Alarm-Net

Tipični kućni sistem zdravstvene zaštite zasnovan na bežičnim senzorskim mrežama je AlarmNet. Razvijen je na Univerzitetu u Virdžiniji. ALARM-Net je skraćenica od "Assisted-Living and Residential Monitoring Network for pervasive, adaptive healthcare" (u slobodnom prevodu - mreža za rezidencijalni nadzor i život uz asistenciju u cilju temeljne i adaptivne zaštite zdravlja). Predstavlja senzorsku mrežu za nadgledanje i pružanje pomoći pacijentima u njihovom svakodnevnom životu.

AlarmNet je sistem zasnovan na proširivoj heterogenoj mrežnoj arhitekturi i targetira ad-hoc, široku skalu primene. Alarm Net hardversko okruženje uključuje prilagođene

senzore, korisničke čvorove i ugrađeni gateway uređaj i bazu podataka sa različitim programima za analizu. Alarm-net je zasnovan na MicaZ i Telos Sky senzorima koji komuniciraju između sebe bežičnim putem ka Startgate čvoru koji vrši funkciju AlarmGate uređaja. Alarm-Net je zasnovan na operativnom sistemu TinyOS. Korisnici mogu da pristupe Alarm Net platformi preko interneta koristeći desktop računare, ili preko PDA i drugih nosivih uređaja bežičnim putem.

Integriše fiziološke senzore i senzore za životnu sredinu u okviru prilagodljive, proširljive heterogene arhitekture. Alarm Net sistem poseduje kontekstualno upravljanje napajanjem, dinamičke polise privatnosti, Sistem ima upravljanje kontekstualnog snage, dinamične politike privatnosti, kao i sposobnost pridruživanja podataka. Komunikacija i prenos osetljivih medicinskih i operativnih informacija je osigurana kroz end-to-end zaštitu. Senzori koji se nalaze na AlarmNet platformi su komercijalno dostupni senzori koji mogu da izmere intenzitet svetla, vlažnost, i ubrzanje. Takođe, AlarmNet platforma podržava mogućnost dobijanja dodatnih neophodnih podataka sa drugih uređaja kao što su senzori pokreta, vaga za merenje težine, merač krvnog pritiska, merač količine prašine, kao i dodatni LCD moduli koji mogu prikazati potrebna merenja.

ALARM-NET prati ekološke i fiziološke podatke pojedinaca, i podržava strimovanje podataka u realnom vremenu, sa fokusom na medicinske detalje i pruža ispomoć u svakodnevnim aktivnostima. Za razliku od drugih sistema, ALARM-NET u sebi sarži analizu aktivnosti cirkadijalnog ritma, tj. prati ovaj ritam na osobi. Sistem uključuje protokole koji prepoznaju kontekst koji dobijaju rezultate analize rada cirkadijalnog ritma za bolje raspolaganje električnom energijom. Cirkadijalni ritam je biološki ritam u organizmu čoveka, koji reguliše brojne neurohumoralne procese u mozgu i na taj način kontroliše i usklađuje dnevno noćne i brojne druge funkcije svih najvažnijih organa u organizmu.

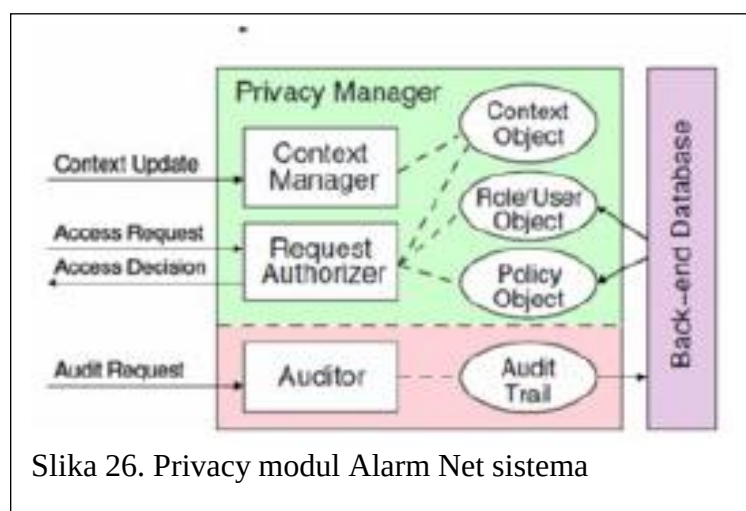
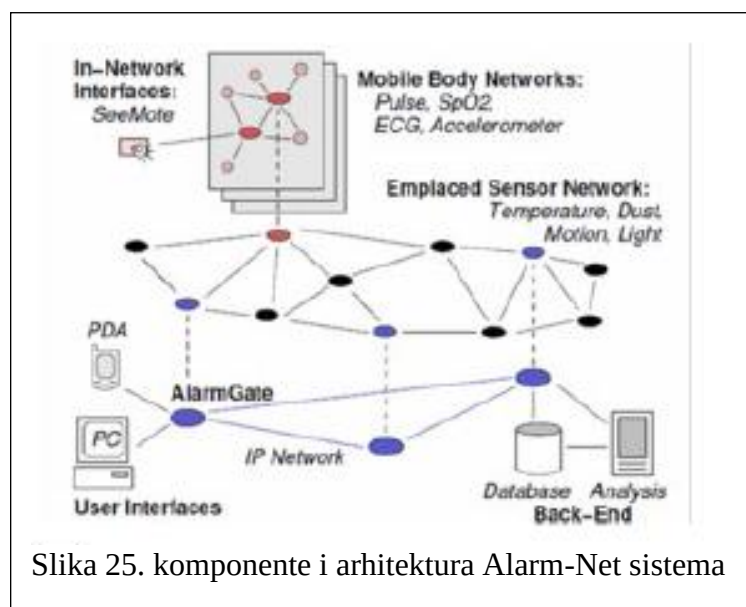
Modul koji prati ove aktivnosti u okviru Alarm-Neta uči obrasce svakodnevnog života pojedinaca, i utiče na protokole sistema i mreža za upravljanje napajanjem i za privatnost.

Ovo rešenje takođe poseduje i sistem zaključivanja koji prepoznaje nepravilna događanja ili potencijalne indikatore zdravstvenih problema. Primera radi, pravila konfiguracije dinamične privatnosti se menjaju u hodu kada pojedinac ispoljava ponašanje koje je od ključnog značaja za njegovo zdravlje, i tada sistem omogućava nadležnom medicinskom osoblju pristup vitalnim podacima, koja su inače skriveni ili dostupnu samo za anonimne statističke svrhe.

Kao dodatna opcija - praćenje cirkadijalnog ritma omogućava napredno upravljanje napajanjem kroz predviđanje toga koji senzor treba da bude aktivan, a koji će privremeno biti onemogućen za dostavljanje informacija, kako bi se uštedelo napajanje, a sve to u skladu sa navikama pojedinca.

Kontrola privatnosti je zasnovana na listama kontrole pristupa i svi upiti se automatski beleže. Pristup na AlarmGate preko korisničkih interfejsa je ograničen samo ovlašćenim korisnicima sistema, koji moraju da se autorizuju pre nego nastave rad u okviru sistema.

Upiti za podatke sa senzora su ovlašćeni prema administrativnoj konfiguraciji politike privatnosti i u skladu sa kontekstom. Nakon što se klijent poveže i autentifikuje na sistem, komunikacija između njega i AlarmGate-a na IP mreži je kodirana, pogotovo kad god se objavljuju senzorski podaci. Sve poruke su enkriptovane da bi se osigurala poverljivost podataka. Sigurnost AlarmNeta obezbeđuje SecureComm, link-sloj sigurnosni paket, koji je razvijen na Univerzitetu u Virdžiniji za MICAz i TELOS čvorove koja koristi AES enkripciju.



10.8. HealthGear

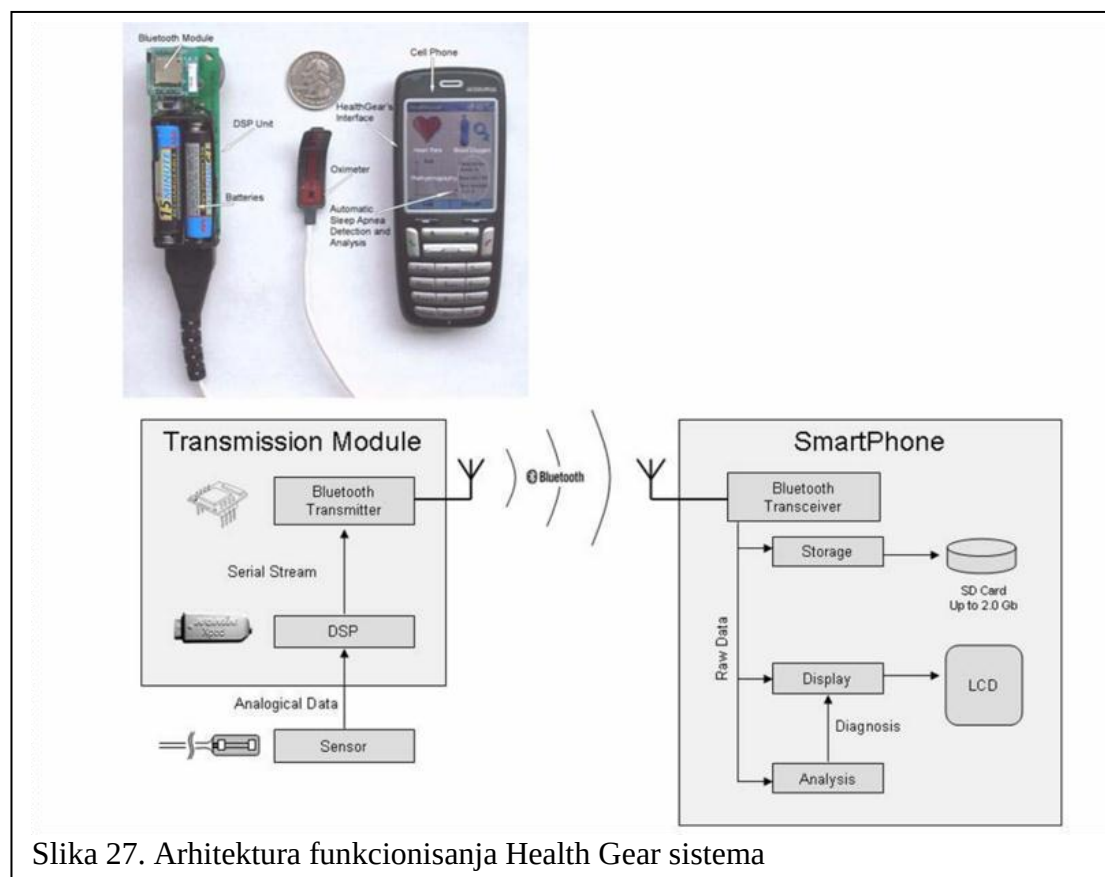
HealthGear je nosivi sistem za praćenje zdravstvenog stanja pacijenta u realnom vremenu. Dizajnirao i napravio ga je Microsoft, i cilj mu je detekcija "sleep apnea" sindroma tj. poremećaja disanja u toku spavanja.

HealthGear se sastoji od seta fizioloških senzora koji su povezani bežičnom konekcijom preko Bluetooth veze sa telefonom koji je opremljen Bluetooth-om.

HealthGear koristi pulsni-oksimeter kako bi stalno pratio i analizirao nivo kiseonika u krvi korisnika (SpO2), a pored tog prati i srčani ritam i pletizmografske signale.

Dobra osobina HealthGear sistema leži u implementaciji lake nosive arhitekture za praćenje stanja pacijenta u realnom vremenu koja deluje neograničavajuće od vrste i prirode senzora. Nakon toga, bežično se prenose fiziološki podaci do mobilnog telefona.

Dodatne osobine ovog sistema su skladištenje podataka u realnom vremenu, vizuelizacija i analiza fizioloških podataka na mobilnom telefonu i implementacija dva algoritama za automatsku detekciju "sleep apnea" sindroma iz oximetrije krvi.



Sistem je potvrđen kao uspešan (hardver i softver) u studiji sa 20 učesnika. Rezultati - opstruktivnu "Sleep Apnea" (OSA) su prepoznali i identifikovali svi detekcioni algoritmi sa tačnošću od 100%. Detektovan je "sleep apnea" poremećaj u 3 slučaja (2 slabijeg intenziteta, dok je 1 jačeg intenziteta) među učesnicima koji su sumnjali da bi mogli da pate od ovog stanja, ali koji pre toga nisu prošli nikakvu medicinsku dijagnozu; 100% ispitanika je reklo da su spremni da nose HealthGear da prate svoj san na redovnoj osnovi. Na **slici 27.** se nalazi prikaz arhitekture funkcionisanja HealthGear sistema.

10.9. „MyHeart“ projekat

MyHeart (u prevodu – moje srce) ima za cilj borbu protiv kardiovaskularnih bolesti, a način borbe su preventivan zdrav životni stil, i rana dijagnoza bilo kojih srčanih poremećaja. Za kontinuirano merenje vitalnih parametara osobe/pacijenta koji se posmatra, razvijeni su senzori i elektronski sistemi koji su ugrađeni u „funkcionalnu“ tkaninu. U slučaju kontinuiranog nadgledanja elektrokardiograma (EKG), razvijene su



Slika 28. MyHeart prslok na kome se vide mesta senzora i dzepa za procesor

alternativne aplikacije u odnosu na standardnu potrebu za gelom, i cilj je bio implementirati srebrno-hloridne elektrode.

Umetci i senzorske podloge koji su bili zasnovani na gelu, su pružali daleko bolje performanse nego gumeni ili tekstilni umetci. Ipak umetci koji treba da se stave na ljudsko telo nisu toliko praktični u situacijama gde dolazi do mnogo pomeranja ili znojenja. Tekstilni telesni

kontaktni umetci i slično, su takodje problematični jer o na njih utiče pokret i telesno držanje.



Slika 29. MyHeart procesor

U standardnim primenama postoji problem smanjenja kvaliteta signala u zavisnosti od određenog pokreta kao i od toga koliko je prijatan i dobro smešten tekstilni kontakt na telu. Kako bi se poboljšala situacija, tesnija odeća je neophodna što opet sa druge strane može da dovede do neprijatnosti prilikom nošenja, pa to onda čini celu odeću glavnim problemom. Kreatori MyHeart projekta su imali sve ove detalje u vidu, i kroz ovaj projekat su pokušali pronaći pristup koji bi omogućio komfornu odeću i

praktičnost tekstilnih senzora, ali sa kvalitetnim i jakim signalom, kao što je to slučaj sa sistemima koji koriste gel.

MyHeart projekat meri EKG, disanje i ubrzanje preko senzora i elektronike koje se nalazi na telu. Telesno procesuiranje ovih signala se koristi kako bi se dobili bitne crte i detalji pre nego što se podaci tj. bitne informacije uskladište ili pre nego što se isporuče sa tela. Analogno-digitalna konverzija senzorskih signala mora biti obavljena što bliže senzoru kako bi se optimizovao kvalitet signala, kako bi se obezbedila veća pouzdanost i optimizovala transmisijske veze i upotreba širokopojsnog opsega.

MyHeart koristi elektronski system koji je smešten u džep koji se nalazi sa strane same odeće. Ovaj system je neophodno ukloniti pre pranja tekstila. Ovaj pristup ima prednost u smislu da elektronika ne zahteva vodootporni pečat, ipak potreban je konektor ka sensorima koji su na odeći, koji su podesni za rukovanje čak i od neutreniranih korisnika, tako da se može reći da je ovo rešenje i praktično i korisno.

10.10. Eco: Ultra-Wearable and Expandable Wireless Sensor Platform (Ultra nosiva i proširiva bežična senzorska platforma)

ECO je sistem koji je razvijen na Kalifornijskom Ervajn univerzitetu. U pitanju je nezavisna, proširiva, nosiva bežična senzorska platforma ispod 1cm³, I predstavlja samo 15% veličine Mica2DOT senzora. Jedno vreme je ECO sistem predstavljao rešenje u kome su se nalazili najmanji senzorski čvorovi, a ta njihova mala površina nije uticala na performanse I proširivost sistema. Mera senzora je iznosila 13mm x 10mm x 8mm = 1040mm³ i to sve zahedno sa baterijama i sa težinom manjom od dva grama. ECO sistem je našao čestu upotrebu kod nadzora novorođene dece i dece uopšte, kao i kod profesionalnog plesa i drugih scenskih umetnosti.



Slika 30. primer senzora na ECO platformi



Slika 31. upotreba ECO platforme za nadgledanje novorođenčadi

U slučaju kada se ECO sistem koristi za nadgledanje novorođenčadi ili dece uopšte. Eco platforma može da posluži za nadgledanje pokreta dece koja su rođena pre vremena. Jedan od načina kako se ovoj deci može pomoći da dobiju na težini I na koštanoj snazi, jeste da vežbaju, tj. da im se pruži asistencija prilikom vežbanja, ali je potrebno da se ovakav proces pažljivo nadgleda kako ne bi došlo do sporednih efekata. Samim tim, doktorima su potrebni metodi za nadgledanje ovakve dece koji su neinvazivni i koji su nenametljivi. Mala forma (mala veličina) I lakoća senzora omogućava da se

ECO sistem postavi na udove dece kako bi doktori mogli da nadgledaju njihove pokrete u realnom vremenu, bez neprijatnosti koje donose žičani senzori ili nepreciznosti tehnika koje su zasnovane isključivo na video detaljima.



Slika 32. Primer ActiS senzora koji se koristi za rehabilitaciju

10.11. ActiS

ActiS senzor je zasnovan na standardnoj bežičnoj senzor platformi, i prilagodjenoj senzorskoj ploči sa jednokanalnim biopojlačalom i dva akcelerometra.

Kao srčani senzor, ActiS može da bude korišćen da nadgleda srčanu aktivnost i položaj gornjeg dela tela. Isti senzor može da bude iskorišćen da nadgleda aktivnot

gornjih i donjih ekstremiteta, u zavisnosti od položaja senzora na telu. Nosivi sistem sa ActiS senzorima takodje može da bude korišćen da proceni metabolički ritam i kumulativnu potrošnju energije kao vredan parametar u rukovodjenju u nadgledanju mnogih medicinskih stanja.

Rana verzija ActiS senzora je bila zasnovana na posebno razvijenom bežičnom inteligentnom senzoru i prilagodjenim bežičnim protokolima u okviru ISM frekvencijskom rasponu.

Actis senzor je razvijen specijano za upotrebu na nosivim mrežama na ljudskom telu koje imaju za cilj rehabilitaciju lica. ActiS se sastoji od standardne Telos platforme. Na sledećoj slici dat je primer primene Actis Senzora kao senzora pokreta na članku noge, sa ciljem merenja ugaone pozicije i brzine, a sve u cilju procesa rehabilitacije lica koje ove senzore nose.

10.12. Vivometrics Lifeshirt

Lifeshirt je jakna koja pristanja uz telo i koja visoko kvalitetno prikuplja podatke i neinvazivna je alternativa za pouzdano testiranje pacijenata na "Sleep apnea" sindrom na klinici ili kod kuće. LifeShirt pruža analizu obrazaca disanja kao pomoć u klasifikovanju ranije pomenutog sindroma. Proizvodi skoro identične rezultate kao laboratorijski PSG za dijagnozu "Sleep apnea" sindroma.

10.13. Lifeguard

Nasa Ames istraživački centar (Astrobionics) i Stenford Univerzitet su aktivno radili na ostvarenju projekta pod imenom "LifeGuard" čiji je cilj bio da kvalitetno zadovolji sve aspekte sigurne, pouzdane, visoko kvalitetne telesne senzorske mreže, koja će moći da posluži vojnim i običnim korisnicima (za pregled zdravstvenog stanja u kući i za pozivanje medicinske pomoći), pored toga što će moći da posluži astronautima za praćenje svih njihovih vitalnih funkcija.

Ideja je bila da "LifeGuard" poseduje fiziološke senzore (EKG i odeljak za praćenje disanja, pulsni-oksometar, monitor krvnog pritiska), mali nosivi računar (naziva CPOD, za uređaj ekipe ljudi koji bi se bavili fiziološkim posmatranjem ili. Crew Physiological Observation) sa unutrašnjim senzorima (sa aktivnošću preko tro-osnih akcelerometara i temperature kože), i prikazni uređaj (Tablet).

10.14. Nike + iPod Rock and Run

Ovo je još jedan primer nosivog senzorskog sistema orijentisanog na lični trening, potrošnju kalorija i motivaciju. Ima jednostavan senzor postavljen u Nike patiku za trčanje. Komunicira bežično sa Apple iPod Nano uređajem i beleži daljinu, brzinu, kalorije itd. Može se slušati lični izbor muzike kao i motivacione poruke. Kada se završi trening podaci se mogu skinuti na Apple Mac ili PC kao deo lične istorije treniranja.

10.15. iShoe



Slika 33. Prikaz iShoe test rešenja

"iShoe" rešenje dolazi sa Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology. Student Erez Lieberman je razvio ovu tehnologiju kao praktikant u NASA. Trenutni "iShoe" model je opremljen da dijagnostikuje probleme sa ravnotežom a buduće verzije bi mogle pomoći u rešavanju tog problema davanjem senzorske

stimulacije stopalima kada korisnik izgubi ravnotežu. Originalno ova tehnologija je razvijena za praćenje problema sa ravnotežom koju imaju astronauti kada se vrate iz svemira. Postoji mogućnost mnogo šire primene, npr. kod populacije starijih sa rizikom od lomljenja kuka. Unutrašnjost cipele bi merila i analizirala raspored pritiska stopala pacijenta i slala izveštaj lekaru. Tu bi mogao i da se nađe uređaj koji obaveštava porodicu pacijenta ako dođe do pada.

10.16. Vibering



Slika 34. Prikaz Vibering rešenja

Kreiran od Min Hee Kim i Hyun Jung Kim je aparat koji ima detekciju zvuka i sistem identifikacije koji se nosi kao par prstenova i ručni sat. Kada se prstenovi nose na na obe ruke i na ušima, mere udaljenost, poziciju i vibriraju u skladu sa izvorom. Sat automatski sluša i interpretira ključne fraze kao što je ime korisnika ili zvuk sirene kola.

10.17. Bike Net

Bike Net projekat je u upotrebi za merenje okruženja i aktivnosti na biciklu u pokretu, a SNAP je arhitektura je fokusirana na sigurnost.

Ovde su bezicni senzori postavljeni na pacijenta. Informacije se prosleđuju preko bežičnih relejnih čvorova kroz ceo prostor bolnice.

10.18. Vital Jacket

Vital Jacket je nosiva odeća koja stalno prati otkucaje srca i EKG talase za razne upotrebe u medicini i fitnessu. U isto vreme podaci mogu biti poslani kroz Bluetooth do PDA (Personal Digital Assistant) i pohranjene u memoriji. Ubimon (sveprisutno praćenje okruženja za nosive i implantabilne senzore) rešava probleme vezane za nosivi distribuisani mobilni monitoring tako da prolazne ali životno opasne abnormalnosti mogu biti detektovane i rešene. Koristi ad-hoc mrežu da rešava različite probleme.

10.19. AutoSense

AutoSense meri lično izlaganje stresu i alkoholu, a informacije prikuplja u prirodnom okruženju posmatranog subjekta. Izvestan broj bežičnih senzora meri otkucaje srca, promene u radu srca, ritam disanja, ponašanje i temperaturu kože, arterijski krvni pritisak i koncentraciju alkohola u krvi. Iz čitanja podataka iz senzora koje sledi posle inicijalne validacije i čišćenja i slanja pametnom telefonu, potencijalni psihosocijalni stres i moguća pojava alkoholizma se izračunavaju u realnom vremenu. Prikupljene informacije se onda dele istraživačima koji traže odgovore na pitanja iz bihejvioralnih istraživanja, a tiču se stresa, zavisnosti i veze između njih. Pored toga, prikupljanjem informacija o fizičkoj aktivnosti subjekta, socijalnom kontekstu i lokaciji, faktori koji vode ka stresu mogu se predvideti i ova informacija se može upotrebiti da se pruži personalizovano vođenje ka smanjenju stresa.

10.20. PALMS

Portabilni sistem PALMS (Physical Activity and Location Measurement System) razvijen je na Univerzitetu Kalifornija, San Diego. PALMS cilja na monitoring subjekata u svakodnevnom životu na period dovoljno dug da bi se detektovali obrasci u fizičkoj aktivnosti i potrošnji energije. Ove informacije, prikupljene od senzora koji mere otkucaje srca i senzora koji beleže pokret i lokaciju (sa GPS uređaja) se sabiraju u prirodnom okruženju učesnika u studiji. Sistem pomaže da se odgovori na pitanja u vezi sa količinom energije koju osoba troši tokom različitih aktivnosti kroz svoj dan i varijacije među učesnicima studije. Sinhronizovane informacije o geolokaciji omogućuju da shvatimo kako fizička aktivnost i potrošnja energije variraju u zavisnosti od lokacije i kako na njih utiče urbana sredina, kriminal, dostupnost parkova i rekreacionih uslova, ili sam teren/geografija.

11. Zaključak

Na osnovu činjenica i podataka navedenih u ovom radu, dolazi se do zaključka da primena senzora i senzorskih mreža u medicini veoma utemeljena i da postoji kvalitetan osnov za stalnu uspešnu i efikasnu nadogradnju i rast medicinskih aplikacija. Takođe se primećuje velika posvećenost i aktivnost u radu na polju adaptacije senzorskih mreža za medicinsko polje delovanja. U skladu sa tim, nova komercijalna rešenja kao i istraživački projekti su usmereni ka tome da se veliki broj senzora koristi za merenje bitnih detalja u vezi zdravlja posmatranog pojedinca/pacijenta, kako bi se donela ispravna dijagnoza i kako bi se pravovremeno reagovalo u hitnim slučajevima. U narednom periodu će mogućnosti senzorskih mreža

sigurno rasti, sa povećanjem dostupnih opcija kako za pacijenta, tako i za medicinsko osoblje.

12.Literatura

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Network_topology
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared>
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN>
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband>
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Clock_synchronization
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Reference_Broadcast_Time_Synchronization
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network
- [13] http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TinyOS_Documentation_Wiki
- [14] MANTIS OS - link.springer.com/article/10.1007%2Fs11036-005-1567-8
- [15] www.contiki-os.org
- [16] <https://www.linuxliteos.com/>
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/Android_\(operating_system\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Android_(operating_system))
- [18] <https://en.wikipedia.org/wiki/IOS>
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Windows_Phone
- [20] www.capsil.org/capsilwiki/index.php/BSN_Node
- [21] www.capsil.org/capsilwiki/index.php/IRIS
- [22] capsil.org/capsilwiki/index.php/TELOSB/T-Mote/Sky_Mote
- [23] <http://www.capsil.org/capsilwiki/index.php/MICAz>
- [24] <http://www.capsil.org/capsilwiki/index.php/MICA2>
- [25] www.willow.co.uk/html/mpr5x0-_mica2dot_series.php
- [26] www.capsil.org/capsilwiki/index.php/WeBee

- [27] https://en.wikipedia.org/wiki/Sun_SPOT
- [28] tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Shimmer
- [29] <http://capsil.org/capsilwiki/index.php?title=CodeBlue&oldid=5861>
- [30] <http://capsil.org/capsilwiki/index.php/ALARM-NET>
- [31] <http://capsil.org/capsilwiki/index.php/Actis>
- [32] <http://capsil.org/capsilwiki/index.php/HealthGear>
- [33] <http://capsil.org/capsilwiki/index.php/Lifeguard>
- [34] http://capsil.org/capsilwiki/index.php/Eco:_Ultra-Wearable_and_Expandable_Wireless_Sensor_Platform