

III predavanje

1. Bežične senzorske mreže
 - 1.1 Istorijat nastanka
 - 1.2 Senzorske Ad-hoc mreže
2. Faktori koji utiču na razvoj BSM
 - 2.1 Hardverska realizacija
 - 2.2 Potrošnja el.energije
 - 2.3 Softverska realizacija
 - 2.4 Ušteda energije na nivou softvera
 - 2.5 Medijumi za prenos i odgovarajući protokoli
3. OSI referentni nivo

2.1.1 Pojam i osnovni principi

- Verovatno da **ne postoji ni jedno područje na polju elektrotehnike i računarstva** koje je zadnjih godina izazvalo toliku pažnju istraživača.
- Veliki napredak u **razvoju mikro elektro-mehaničkih sistema** (*Micro Electro-Mechanical Systems*-MEMS) i **bežičnih komunikacija**, doprinele su da vizija mnogih naučnika - BSM postanu realnost.
- BSM predstavljaju **samostalne mreže** koje se sastoje od velikog broja malih i jeftinih inteligentnih jedinica **ograničenih računarskih mogućnosti**, senzorskih čvorova (SČ) – **sensor node** (SN).
- Oni su raspoređeni u širokom geografskom području i sposobni su da **potpuno samostalno formiraju mrežnu infrastrukturu**, preko koje kontinuirano **prate pojave u prirodi**, obrađuju prikupljene podatke i **distribuiraju ih bežičnom komunikacijom**.
- Njihova **glavna prednost** je sposobnost da budu primenjene na bilo kom području i u bilo kojim uslovima.
- Upravo ta sposobnost učinila je da bežične senzorske mreže postanu jedno od **najinteresantnijih područja za razvoj i istraživanje** danas.

2.1.1 Pojam i osnovni principi

➤ Ovo područje je tako **kompleksno**, **raznorodno**, i u sebi, na jednom mestu **objedinjuje** toliki veliki broj različitih pravaca istraživanja da se opravdano postavlja pitanje:

Da li uopšte postoji neki deo sa područja elektronike koji nije sadržan u ovoj oblasti?

- od čisto **hardverskih metoda** koje podrazumevaju izbor optimalnih komponenata SČ i njegovog SoC (*System on Chip*) dizajna
- izbor odgovarajućeg napajanja
- primena *power management* metoda
- izbora **odgovarajućeg operativnog sistema**,
- izbora **optimalne modulacije** i **frekvencije** kod slanja podataka,
- **zaštite i enkripcije podataka**,
- izbor **mrežnih tehnologija** i **distribuiranih algoritama**
- **projektovanje odgovarajućih energetski efikasnih protokola** rutiranja
- Projektovanje **transportnih protokola** za prenos podataka
- Projektovanje, pisanje i instaliranje **aplikacije**

2.1.1 Pojam i osnovni principi

- Ono što fascinira kod razvoja BSM je njihov **stalni napredak i primena** u gotovo svim sferama ljudskog delovanja.
- Povezivanje ovih mreža sa najvećom mrežom svih mreža, Internetom, otvara još jedno sasvim novo poglavlje njihovog razvoja a to je ***Internet of Things*** (IoT).
- IoT podrazumeva **veliki broj objekata, životinja ili ljudi koji imaju svoju jedinstvenu identifikaciju**, a koji su u mogućnosti da potpuno samostalno prikupljaju, obrađuju i putem bežine komunikacije razmenjuju raznorodne podatke bez ičije pomoći, **putem Interneta**.
- Mogućnost stvaranja mreže malih, gotovo nevidljivih senzorskih čvorova, koji će **neprekidno prikupljati informacije iz realnog sveta** i trenutno te informacije slati na Internet, omogućava neslućene primene ove tehnologije.
- Zato i ne čudi mišljenje mnogih naučnika koji tvrde da će ova tehnologija u budućnosti u **potpunosti izmeniti čovekov život** i doprineti da on bude mnogo **ugodniji i bolji**, tj. **podići kvalitet življenja na znatno veći nivo**.

3.1 Pojam BSM

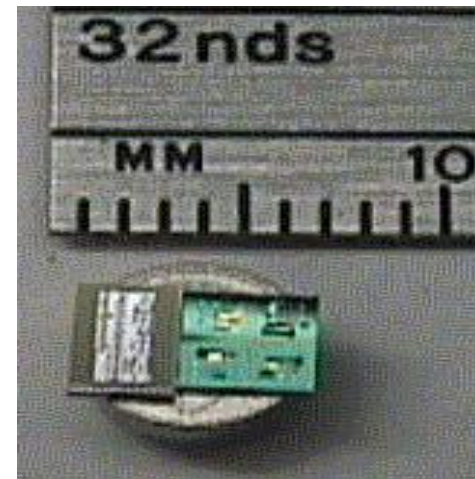
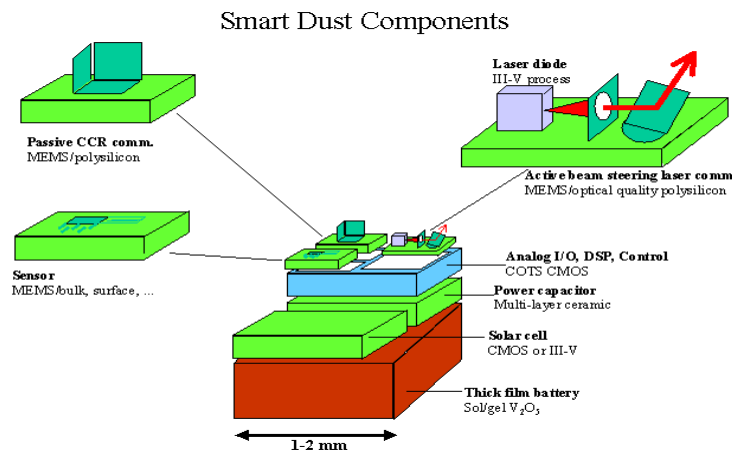
- Međutim, veliki broj raznorodnih tehnika koje treba međusobno povezati predstavljaju i **otežavajući faktor** kod proučavanja BSM
- Od istraživača se zahteva **veliko poznavanje raznorodnih tehnika**.
- Sa druge strane to predstavlja i prednost jer se velikom broju istraživača **daje sloboda** da se iskažu na raznim poljima.
- Jedan od najvećih problema sa kojim se razvoj ovih aplikacija susreće je njihova **energetska efikasnost**, koja predstavlja **možda jedini bitni ograničavajući faktor** u njihovoj primeni.
- U osnovi svake BSM aplikacije nalaze se bežični SČ, koji se raspoređuju u **širem geografskom regionu**, u kome najčešće postoje mnoge **fizički nepristupačne lokacije**.
- Osnovni snabdevač el.energijom gotovo svih SČ je **baterija**, koja ima strogo **limitirane kapacitete**.
- Kako **vek trajanja SČ** zavisi od **raspoloživog izvora energije**, potrebno je obezbedi što efikasnije iskorišćenje raspoložive energije.
- Povećanje **kapaciteta nije moguće**, **punjenje je dosta otežano**, a **fizička promena** kompletne baterije predstavlja **jako komplikovan zadatak**.

3.1.1 Istorijat nastanka BSM

- Kao i sa mnogim drugim tehnologijama koje su **prvo primenjivanje isključivo za vojne svrhe** slično je bilo i sa BSM.
- Prva bežična mreža koja nosi bilo kakvu stvarnu sličnost sa modernim BSM je *Sound Surveillance System* (SOSUS), razvijen od strane vojske Sjedinjenih Američkih Država 1950-ih.
- 1978 god., DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) organizovala **Radionicu distribuiranih senzorskih mreža** (*Distributed Sensor Nets Workshop*, DAR 1978), i se na **tehnologije** koje su omogućavale **umrežavanje velikog broja senzora, tehnike obrade signala** (*signal processing*) i **distribuirane algoritme**.
- DARPA takođe uvodi ***Distributed Sensor Networks*** (DSN) program početkom 1980-ih, a zatim i ***Sensor Information Technology*** (SensIT).
- U saradnji sa Rockvell Science Centrom, Univerzitet Kalifornije u Los Angelesu predložio je **koncept bežičnih integrisanih mrežnih senzora ili WINS-a**
- Kao rezultat tog koncepta proizašao je ***Low Power Wireless Integrated Microsensor*** (LWIM), proizveden **1996, samo u jednom čipu**

3.1.1 Istorijat nastanka BSM

- Ovaj inteligentni senzor bio je zasnovan na **CMOS čipu** i u okviru njega izvršeno je integrisanje **više senzora**, IC za **povezivanje**, IC za **digitalnu obradu signala**, **RF primopredajnik** i **mikrokontroler**
- Nedugo zatim sledio je projekat pod nazivom **Smart Dust** koji je realizovan na Berkeley, sa jednim ciljem: da se napravi inteligentni senzor **ekstremno malih gabarita**, svega nekoliko mm^2 , nazvan **Mote**.
- Ovaj projekat je predstavljao pravu malu revoluciju u razvoju malih inteligentnih bežičnih senzora, jer je pokazao da se mogu napraviti kompletni nezavisni senz.sistemi koji nisu veći od veličine zrna peska
- Smatra da je to i početak **nastanka Bežičnih senzorskih mreža**.



3.1.1 Istorijat nastanka BSM

- Samo godinu dana kasnije u okviru projekta PicoRadio, koji se radi na Berkeley Wireless Research Center (BWRC), dolazi do razvoja novog SČ kod koga je cilj bio da se **smanji njegova električna potrošnja na najmanju moguću meru** kako bi se omogućilo da se energija za napajanje ovog čvora **uzme iz prirodne sredine**, pre svega da se iskoristi **solarna i vibraciona energija**.
- Važan je i projekat MIT μ AMPS (micro-Adaptive Multidomain Power-aware Sensors) koji se takođe bavio razvojem hardvera sa što manjom energetsom potrošnjom (**korišćenje mikrokontrolera koji je omogućavao dinamičko skaliranje napona**).
- Ovde su primenjene i **softverske tehnike** koje su vršile restrukturiranje algoritama za obradu podataka radi smanjenja elek. potrošnje u SČ.
- U poslednjoj deceniji sve se više pojavljuju i veliki broj **komercijalnih institucija** koje nude svoja rešenja (**Crossbow, Sensoria, Worldsens, Dust Net-works i Ember Corporation**).
- Sve ove kompanije nude **nost kupovine različitih inteligentnih senzorskih uređaja**, kao i različite **alate za programiranje**.

3.1.2 Senzorske Ad Hoc mreže

- Ad Hoc mreže predstavljaju mreže dinamičkih autonomnih mrežnih čvorova (*network node*), koji međusobno samostalno komuniciraju.
- Na taj način oni formiraju višeskokovitu (*multihop*) radio mrežu u jednoj decentralizovanoj strukturi, održavajući povezanost bez obzira na broj i poziciju čvorova (*motes*).
- Topologija mreže je promenljiva jer se ovde broj SČ dinamički menja.
- Oni mogu da ispadnu iz mreže zbog uništenja, neispravnosti, smanjenja ili gubitka el. energije.
- Sa druge strane moguće je ovakvu mrežu 'osvežiti' novim čvorovima i na taj način u potpunosti promeniti topologiju novonastale mreže.
- Jedna od osnovnih karakteristika senzorskih Ad Hoc mreža je da one ne zahtevaju bilo kakvu fiksnu infrastrukturu za njeno funkcionisanje.
- Poruke se prenose između čvorova u više skokova (*multihop*).
- Na taj način je omogućeno da SČ mogu da komuniciraju na mnogo većim rastojanjima nego što je domet jednog čvora.
- Broj čvorova kao i prostor koji oni treba da pokrivaju zavisi od karakteristika medijuma kao i primenjenih protokola rutiranja.

3.1.2 Senzorske Ad Hoc mreže

- Mnogi parametri utiču na kvalitet komunikacije između čvorova pa samim tim i na izbor odgovarajućeg rutinog protokola.
- Neki od tih parametara su: **potrošnja el. energije**, **vrste bežičnog prenosa** kao i **primenjene modulacije**, **promenljiv kvalitet linka**, **uticaj interferencije i fadinga**, **slabljenje u prostiranju signala**.
- Da bi se uticaj svih ovih parametara sveo na najmanju moguću meru, potrebno je da mreža **bude dinamički konfigurisana**, kako bi bila sposobna da samostalno pronađe odgovarajuće putanje rutiranja.
- U zavisnosti od konkretnih uslova i okruženja u kome se čvorovi nalaze, **oni treba da budu sposobni da pronalaze adekvatne konekcije** i da iste **dinamički menjaju**.
- Jednu efikasnu bežičnu senzorsku mrežu **karakterišu sledeće osobine**:
 - 1. Dinamička topologija** – broj čvorova je promenljiv i oni su mobilni tako da vrlo brzo menjaju svoju poziciju a samim tim uzrokuju i promenu topologije.

3.1.2 Senzorske Ad Hoc mreže

- Ograničeno napajanje** – kako se radi o nezavisnim čvorovima njihovo napajanje se vrši putem baterija koje imaju ograničen rok trajanja i limitirani kapacitet.
- Ograničen domet** – zbog malih gabarita i ograničene snage domet ovakvih uređaja je relativno mali (10-50 m).
- Ograničena brzina prenosa** – nisu omogućene neke velike brzine prenosa podataka a zbog uštede električne energije ni velike količine podataka. Brzine se obično kreću od nekoliko Kbps pa do nekoliko Mbps.
- Višestruki skokovi** (*multihop*) – zbog smanjenog dometa ovih uređaja koristi se tehnika višestrukih skokova kako bi se domet povećao, što prouzrokuje povećanu potrošnju na nivou mreže.
- Višestruka uloga čvorova** – upravo zbog *multihop* tehnike čvorovi u okviru mreže imaju ulogu i hostova i rutera jer je potrebno da prihvate podatke i preusmere saobraćaj na neke druge čvorove.

3.2 Faktori koji utiču na BSM

- 1. Dinamička promena topologije**-SČ-ovi moraju da imaju sposobnost da potpuno samostalno uspostave međusobnu mrežnu komunikaciju
- Topologija ovih mreža je podložna stalnim promenama bilo da se radi o mobilnim ili stacionarnim SČ-ima.
 - Broj SČ-ova u jednoj BSM je relativno veliki, a kako oni rade u jako otežanim uslovima, često se događa da neki od njih otkažu.
 - Više razloga dovodi do toga: SČ-ovi su **osetljivi na fizičke i prirodne promene** kojima su izloženi, česta **mehanička oštećenja ili uništenja**, zbog svoje male cene SČ-ovi se sastoje od hardverskih komponenata koje su **slabijih kvaliteta**, pa su zato **podložni češćim kvarovima**, raspoložu **strogo ograničenim količinama električne energije**, problemi oko međusobnog uspostavljanja veze ili **jako otežano komuniciranje** u uslovima u kojima rade.
 - U toku konfigurisanja mrežne topologije mogu se **uočiti 3 različite faze**:
 - a) **inicijalna faza** pre i za vreme konfigurisanja mreže,
 - b) **faza normalnog rada** nakon konfigurisanja mreže i
 - c) **faza dopune/mreže** nakon pripajanja novih SČ-ova u BSM. .

3.2 Faktori koji utiču na BSM

- 2. Ograničen domet** - zbog malih gabarita i ograničene snage radio primopredajnika koji se koriste u SČ-ima, domet ovakvih uređaja je relativno mali, od nekoliko metara pa do 100 m.
 - Sa jedne strane to je dobro jer se izbegavaju pojave ometanja drugih SČ-ova (manji broj kolizija), ali se zato javljaju drugi problemi u vidu skrivenih SČ-ova, asimetričnih veza između pojedinih SČ-ova kao i angažovanju većeg broja SČ-ova kod prenosa podataka od izvornog SČ do odredišnog SČ (*multi-hop* prenos).
- 3. Višestruki skokovi** (*multi-hop*) – zbog smanjenog dometa ovih uređaja koristi se tehnika višestrukih skokova kako bi se domet povećao.
 - Upravo zbog toga svi SČ-ovi u okviru BSM imaju dvostruku ulogu: hostova i rutera, jer je sa jedne strane potrebno da detektuju promenu i pošalju podatke drugim nadređenim SČ-ima, a sa druge strane da prihvate podatke koji im drugi SČ-ovi šalju i da ih preusmere dalje prema krajnjem odredištu. Loša strana ovakvog načina rada je znatno povećana potrošnja električne energije kao i nemogućnost primene standardnih protokola usmeravanja

3.2 Faktori koji utiču na BSM

4. Neravnomerna zastupljenost - SČ-ovi se raspoređuju u nadgledanom regionu najčešće proizvoljno.

- Njihov broj nije svuda ravnomeran i kreće se od nekoliko SČ-ova po do nekoliko hiljada na istom prostoru.
- Uz to mogu da postoje velike razlike u gustini raspoređivanja SČ-ova po jedinici površine, na primer od nijednog pa do više od 20 SČ/m²
- To prouzrokuje da veliki broj SČ-ova detektuju gotovo iste podatke, pa se samim tim nepotrebno angažuje veći broj SČ-ova koji sada više štete nego koriste, jer pojačavaju komunikacioni saobraćaj u BSM.
- Sa druge strane to može da izazove i da potrošnja u nekim SČ-ima, koji su opterećeniji, bude znatno izraženija nego kod drugih.
- Ova konstatacija naročiti važi za hijerahijsku strukturu BSM, kod koje su SČ-ovi oko glavnog SČ (*sink*) znatno opterećeniji, u pogledu komunikacije, nego SČ-ovi koji se nalaze na periferiji.

3.2 Faktori koji utiču na BSM

- 5. Skalabilnost** - Broj SČ-ova koji očitavaju jedan fizički fenomen može biti od jednog SČ-a pa do nekoliko stotina ili hiljada SČ-ova.
- Velike gustine raspoređivanja SČ-ova obezbeđuju veću redundantnost BSM-e i poboljšavaju njenu toleranciju na greške, ali na drugoj strani stvaraju probleme skalabilnosti.
 - Tokom rada BSM-e, usled otkaza SČ-ova ili dopunjavanja novim SČ-ima, dolazi do čestih promena u broju SČ-ova u pojedinim regionima.
 - Zbog toga, komunikacioni protokoli, mehanizmi upravljanja i algoritmi obrade podataka razvijeni za ove mreže, treba da budu dinamički prilagodljivi, kako bi bili u stanju da se trenutno prilagode novonastaloj situaciji i pronađu energetski efikasne rešenja bez obzira na broj SČ-ova.
- 6. Ograničena brzina prenosa** - u ovim mrežama ne koriste se neke velike brzine prenosa podataka, a zbog jako ograničene količine energije ni velike količine podataka.
- Brzine se obično kreću od nekoliko kbps do nekoliko Mbps, dok su veličine okvira koji se šalju od 64 bajta do 128 bajta.

3.2 Faktori koji utiču na BSM

7. Mobilnost senzorskih čvorova - pasivna ili aktivna mobilnost.

- **Pasivna mobilnost** SČ-ova je rezultat prirodnih činilaca (vetar, voda, ...) ili neplaniranog pomeranja objekta na kojima se nalaze SČ-ovi.
- **Aktivna, planska mobilnost** se ostvaruje u cilju presmeštanja SČ-ova u interesne regione, boljeg pokrivanja, energetske efikasnosti, otklanjanja nedostataka početnog rasporeda ili praćenja pojava u regionu
- Mobilnost SČ izaziva promenu topologije i ruta kojima idu podaci u mreži, pa postavlja dodatne probleme komunikacionim protokolima.

8. Adresibilnost SČ - u većini aplikacija u BSM nije potrebno da SČ-ovi imaju jedinstvenu adresu već se slanje podataka odvija na principu emitovanja svima (*broadcast*) koji ne zahteva jedinstvene adrese SČ-a.

9. Ograničeni resursi - ovo je osobina koja verovatno najviše otežava primenu standardnih komunikacionih protokola u ovim mrežama.

- Ograničena količina energije, mala memorija, smanjeni računarski kapaciteti kao i mali gabariti, predstavljaju glavne odlike SČ-a.
- Ove osobine doprinele su da cena ovih jedinica bude jako mala, ali su sa druge strane jako ograničile njihove mogućnosti.

3.2 Faktori koji utiču na BSM

10. Energetska efikasnost – jedan od najvažnijih faktora BSM-e.

- Kako je izvor električne energije ovde obično limitiran, u vidu baterije ograničenog kapaciteta ($<0,5$ Ah, 1,2 V), a u većini slučajeva je otežana zamena istog, jasno je da je životni vek SČ-a, a samim tim i cele BSM, direktno zavistan od količine energije kojom on raspolaže.
- U višeskokovitim BSM-a ovaj faktor još više dolazi do izražaja zbog dvostruke uloge svakog SČ-a.
- Sve to zahteva dodatnu potrošnju el.energije koja opet može proizvesti prekid rada novih SČ, tj. u krajnjoj istanci, do potpunog prekida rada.
- Energetska efikasnost je primaran zadatak kod projektovanja BSM.

11. Mala cena senzorskog čvora - pošto se BSM sastoje od velikog broja SČ-ova, cena jednog SČ-a veoma je značajna kod donošenja odluke o ekonomskoj isplativosti jedne BSM aplikacije.

- Ona mora da bude mala jer se SČ-ovi tretiraju kao potrošna roba.
- Mala cena SČ-a diktira i ugradnju jeftinih komponenta koje češće otkazuju, tako da SČ-ovi postaju još više podložni većoj nestabilnosti
- Trenutne cene SČ još uvek su dosta velike (1-300 eura).

3.2 Faktori koji utiču na BSM

12. Tolerancija na otkaze - hardverska ograničenja dovode do toga da SČ često ne mogu da odgovore na svoje zadatke

- enja, smetnjama u komunik. kanalu ili zbog problema u softveru.
- Prestanak rada nekih SČ-ova može da prouzrokuje prekid dobijanja podataka od većeg broja SČ, što dovodi do pogrešnog zaključka
- Od BSM se zahteva da prestanci rada pojedinih SČ-ova ne bi trebalo da utiču na ukupno funkcionisanje BSM.
- Nivo greške koja može da se dopusti a da BSM nesmetano nastavi da obavlja svoje funkcije, definiše nivo tolerancije te BSM, tako da nivo greške direktno zavisi od vrste BSM aplikacije.

13. Kvalitet servisa - QoS u BSM-a ima sasvim drugačiji značaj u odnosu na klasične mrežne strukture.

- Specifična primena BSM određuje osnovne QoS zahteve, energetska efikasnost pri radu, ograničenje vremena trajanja prenosa podataka, verovatnoću gubitka paketa pri prenosu i sl.
- Pri tome, mora se obavljati usklađivanje ovih zahteva na nivou mreže.

3.2.1 Hardverska realizacija

- Kod projektovanja BSM, bez obzira da li se tu radi o hardverskoj ili softverskoj komponenti, prvi uslov koji treba ispuniti je **najmanja moguća potrošnja električne energije**.
- SČ se raspoređuju u nepristupačnim oblastima, tako da je teško izvršiti zamenu, a nekad i potpuno nemoguće izvora napajanja u tim SČ-ima.
- Kada je u pitanju hardverska realizacija SČ, projektovanje arhitekture SČ svodi se na izbor komponenti koje su manje energetske zahtevne.
- Od tipičnog SČ očekuje se da može da uradi sledeće radnje: registruje događaj koji prati, izvrši odgovarajuće procesiranje signala, grupiše dobijene podatke, izvrši njihovu konverziju i pripremu za slanje i da te iste podatke putem bežične komunikacije prosledi do sledećeg čvora.
- U standardnoj konfiguraciji jednog SČ-ora možemo da prepoznamo sledeće osnovne celine: integrisanu (*on-chip*) senzorsku jedinicu, procesorsku jedinicu za obradu podataka, komunikacionu jedinicu za bežični prenos i jedinicu napajanja.
- SČ mogu da imaju i neke druge specifične celine: mobilizator, jedinicu za određivanje prostorne lokacije ili generatora električnog napajanja.

3.2.2 Potrošnja elekt.energije

- Jedan od najbitnijih faktora bežičnih senzorskih mreža po kome se one razlikuje od ostalih bežičnih mreža je upravo **potrošnja el. energije**.
- Kako je izvor el. energije ovde obično limitiran ($<0,5$ Ah, 1,2 V) i u većini slučajeva je onemogućena zamena istog, jasno je da je životni vek senzorskog čvora direktno zavistan od potrošnje el. energije.
- U višeskokovitim senzorskim mrežama ovaj faktor još više dolazi do izražaja. Ovde svaki čvor ima dvostruku ulogu jer je potrebno da prikuplja podatke i da istovremeno vrši preusmeravanje podataka koje dobija od drugih senzora.
- Problemi u funkcionisanju nekog od čvorova u mreži (do koga može doći zbog gubitka el.energije) može dovesti do velike promene u mrežnoj topologiji, a samim tim to zahteva ponovnu organizaciju mreže kao i novom rutiranju podataka.
- Sve to zahteva dodatnu potrošnju ele.energije koja opet može proizvesti prekid rada novih čvorova tj. u krajnjoj istanci do potpunog prekida rada mreže. .

3.2.2 Potrošnja elekt.energije

- Glavni zadatak senzorskog čvora u senzorskom polju je da detektuje događaj, brzo obradi podatke i da iste prosledi dalje.
- Shodno ovome uštedu električne energije možemo posmatrati kroz tri različita nivoa:

1.očitavanja podataka - potrošnja el.energije kod očitavanja senzora prvostepeno zavisi od prirode aplikacije.

- Sporadično očitavanje senzora sigurno troši manje energije od konstantnog očitavanja.
- U otežanim uslovima očitavanja senzora, gde postoji veći nivo smetnji-šuma, sigurno je potrošnja veća.
- Jedan od načina da se na ovom nivou uštedi energija, svodi se na primeni optimalnog algoritma očitavanja koji smanjuje broj sukcesivnih koraka kod A/D konvertora tj. smanjivanju vremena koje je potrebno da se analogni podatak sa senzora prevede u digitalnu informaciju.

3.2.2 Potrošnja elekt.energije

- 2. procesorska obrada podataka** - energija koja je potrebna da se podaci obrade je znatno manja nego što je potrebno da se oni pošalju.
- SČ približno potroši istu energiju za prenos 1Kb na rastojanju od 100 m, kao i za izvršavanje 3 miliona instrukcija na CPU brzine 100 MIPS
 - Ovaj primer nam ilustruje odnos potrošnje, i praktično minimizuje sve optimizacije koje bi se radile na algoritmu za obradu podataka.
 - Međutim na ovom nivou moguće su neke druge optimizacije potrošnje el.energije koje su predmet istraživanja i one se odnose pre svega na: **D**ynamic **P**ower **M**anagement) i **D**ynamic **V**oltage **S**caling.
 - **DPM** predstavlja jednu strategiju upravljanja potrošnjom el.energije za vreme dok čvor normalno radi tako što se isključuju neki delovi SČ
 - **DVS** vrši dinamičku promenu napajanja i frekvencije na kojoj radi SČ.
 - Za sve poslove koje procesor obavlja nisu uvek potrebni najoptimalniji uslovi za rad, gde se misli pre svega na veliku brzinu rada koja zahteva veću frekvenciju, veći napon napajanja a samim tim i veću potrošnju.

3.2.2 Potrošnja elekt.energije

- 3. primopredaja podataka** - na ovom nivou SČ troši najveći deo svoje energije, pa prema tome ovde se i mogu postići i najveće uštede.
- Ovde je važno napomenuti da kod izračunavanja ukupne potrošnje treba pored aktivne potrošnje, uzeti u obzir i početnu potrošnju (*start-up power*) koja se odnosi na potrošnju el. energije koja je potrebna za uspostavljanje normalnog rada pri uključenju čvora.
 - Ta potrošnja nije velika ali ako se RF jedinicom šalju ili primaju mali paketi, tako da se RF više puta uključuje i isključuje, može se desiti da ukupna početna energija znatno premaši aktivnu energiju.
 - Pronalaženje efikasnih algoritama koji će optimalno rešavati ove probleme je još jedno interesantno područje na kome se radi.

$$P_c = N_T [P_T (T_{on} + T_{st}) + P_{out} (T_{on})] + N_R [P_R (R_{on} + R_{st})]$$

- $P_{T/R}$ - potrošnja predajnika/prijemnika,
 P_{out} - izlazna snaga predajnika,
 T_{on}/R_{on} - aktivno vreme predajnika/ prijemnika,
 T_{st}/R_{st} - početno vreme predajnika/prijemnika
 $N_{T/R}$ - broj uključenje/isključenja predajnika/prijemnika u jedinici vremena.

3.2.3 Softverska podrška

- Veliki deo današnjih istraživanja na polju senzorskih mreža svodi se na pronalaženje **adekvatnog softvera** koji će, sa gledišta potrošnje električne energije, **optimalno iskoristiti skromne resurse SČ**, i tako produžiti njihovo pravilno funkcionisanje.
- Kompleksnost neke aplikacije u BSM ogleda se **u objedinjavanju velikog broja različitih softverskih disciplina** koje moraju da se poznaju kako bi sistemski omogućili ispravnost rada te aplikacije.
- To se pre svega misli na:
 - izbor odgovarajućeg operativnog sistema,
 - konstrukciju odgovarajuće strukture za pamćenje podataka koji se sakupljaju,
 - formulisanje odgovarajućih upita,
 - poznavanje mrežnih funkcija,
 - primene odgovarajućih protkola i algoritama
 - poznavanje načina rada distribuiranih sistema.

3.2.3 Softverska podrška

- 1. Razvoj operativnih sistema** – kod primene BSM postavljaju se različiti zahtevi koje je **vrlo teško realizovati** zbog ograničenih resursa SČ-a.
- Uzimajući u obzir sve to jasno je da standardni OS kao što su Windows i Linux **nisu primenljivi**.
 - Mnogi OS koji su **razvijeni za *embedded* sisteme i *ad hoc* mreže** (*QNX, WinCE, Ariel, MagnetOS*) takođe nisu pogodni.
 - Neophodno je da se razviju **potpuno novi, odgovarajući OS** koji će sa jedne strane **uspešno upravljati smanjenim resursima** SČ-a, a sa druge strane **efikasno omogućiti modularnost i robusnost** jedne BSM-e.
 - Glavna karakteristika jednog takvog OS je da omogući što **jednostavnije razvijanje aplikacija** za BSM-u, bez obzira na različite SČ arhitekture koje se primenjuju i bez poznavanja hardvera SČ.
 - Do današnjeg dana razvijeni su mnogi novi OS za rad SČ-ova u BSM: ***TinyOS, Contiki, MANTIS, LiteOS, Nano-RK, eCos, SOS, SenOS, EYES, kOS, DCOS, Bertha, Jallad, Mate, Accent, Chimes II, RetOS,***
 - U najpoznatije OS ove vrste spadaju: **TinyOS** (81 % zastupljenosti), **Contiki** (9%), **Mantis** (8%), **SOS** (1%) i ostali (1%).

3.2.3 Softverska podrška

- Kod izbora OS preporučuje se da se izabere neki *open-source OS* koji je lako prilagodljiv različitim SČ arhitekturama uz **minimizovanje potrebnog koda** za njegovo izvršavanje.
- Jedan od najpopularnijih takvih OS, koji je i **najviše zastupljen** u senzorskim mrežama, je ***Tiny OS***.
- Predstavlja otvoreni, (*open source*) **višekomponentni OS koji uključuje upravljanje memorijom, upravljanje jedinicama SČ, upravljanje zadacima i upravljanje protokolima**.
- Koristi programski model koji se zasniva na **dogadajima (*event*)** koji jedino mogu da prekinu **zadatke (*task*)** koji se izvršavaju.
- Zbog svojih **karakteristika**, kao i **primenljivosti na gotovo svim poznatim hardverskim platformama** za SČ-ove, predstavlja OS koji se i najviše koristi na **polju istraživanja i aplikacija** za BSM, pa je zato postao **sinonim** za BSM.
- Kolika je popularnost ovog operativnog sistema govori podatak da kada bi se sakupili svi ostali razvijeni OS za BSM, **ne bi dostigli toliku primenljivost i rasprostranjenost u aplikacijama** kao ***TinyOS***.

3.2.3 Softverska podrška

- **TinyOS** počiva na **komponentnoj arhitekturi** kod koje su i jezgro (*kernel*) OS i aplikacija smeštene **u jednu celinu**, koja predstavlja više međusobno povezanih komponenti.
- **Ne postoji klasična podeljenost** na jezgro OS koje je nezavisno i izvršava različite, nezavisne aplikacije, već je to **jedinstvena celina**.
- Pri kompajliranju aplikacije **sve neophodne komponente**, i **TinyOS komponente**, i **komponente potrebne za aplikaciju**, smeštaju se u jednu jedinstvenu izvršnu komponentu.
- Sada se **samo ta komponenta instalira na SČ** i ona izvršava sve potrebne zadatke koji se od aplikacije zahtevaju.
- Svaku komponentu karakteriše njeno **stanje** (*state*) kao i **zadaci** (*tasks*) koji se izvršavaju.
- Komponente međusobno komuniciraju **putem funkcijskih poziva** koji mogu da budu **komande** (*commands*) i **događaji** (*events*).
- Komponenta koristi **komande da inicira neku akciju** i one se inicijalno šalju prema drugim komponentama od kojih se zahtevaju specifi. akcije
- Komponenta kada završi **putem događaja obaveštava nadređenu komp.**

3.2.3 Uporedni pregled OS

Mogućnosti	TinyOS	Contiki	MANTIS	SOS	LiteOS
Hardverske platf.	Gotovo sve	MSP430 AVR	Mica2, TelosB mica2dot	Mica2,Micaz XYZ	Micaz,IRIS, AVR CPU
ROM	432 B	3874 B	12 kB	20 kB	2080 B
RAM	46 B	> 250 B	500 B	>2 kB	104 B
Programski jezik	nesC	C	C	C	LiteC++
Izvršni model	Događaj Komponente	Događaj Nit	Nit	Moduli	Moduli, Multi Threading
Učenje	Složeno	Srednje	Lako	Lako	Lako
Komunikacija	Active messages	lwIP μIP	COMM DEV	Sensor API	File-Assisted
Zaštita memorije	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
Rekonfigurabilni	Da	Da		Da	Da
Real-time podrš.	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Kontrola potroš.	Da	Da		Da	
Kontrola greške		Da	Da	Da	
Multitasking		Da	Da	Da	Da
Prioritet raspore.		Da	Da	Da	Da
Promen.konteksa	Da				Da
Interni simulator	TOSSIM				AVRORA
Godina nastajanj	2000	2004	2005	2005	2008

3.2.3 Softverska podrška

- 2. Drajveri SČ** – predstavljaju softverske module koji obavljaju osnovne funkcije oko funkcionisanja SČ-a.
 - Mogu biti modularnog tipa (*plug-in*) i zavise od vrste, konfiguracije i stepena inteligencije SČ-a.
 - Omogućuju aplikaciji da nesmetano komunicira sa hardverom SČ-a.
- 3. Komunikacioni programi** – upravljaju međusobnom komunikacijom između SČ-ova i omogućuju izvršavanje različitih protokola.
 - Zaduženi su za: energetski efikasno usmeravanje paketa, pamćenje i prosleđivanje paketa, staraju se o pravovremenom pristupu medijumu za prenos, upravljaju topologijom BSM-e, vrše šifrovanje podataka i vrše kontrolu njegove ispravnosti.
- 4. Komunikacioni drajveri** – ovaj softverski modul zadužen je da na fizičkom nivou upravlja kodiranjem linijskog signala koji se šalje.
 - Zadužen je da upravlja prenosnim bežičnim kanalom, uključujući noseću frekvenciju signala i njihovu sinhronizaciju, kodiranjem linijskog signala, detekcijom i korekcijom greške, određivanje nivoa snage predajnog signala kao i njegovom modulacijom.

3.2.3 Softverska podrška

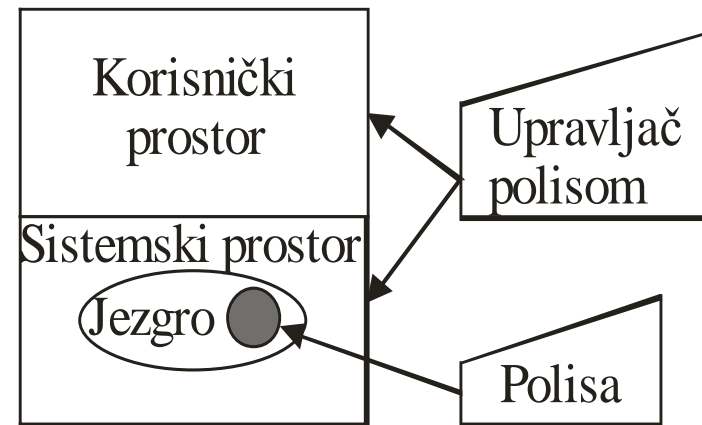
5. **Programi za obradu podataka** – to su numerički programi za obradu podataka, memorisanje nivoa snage predajnog signala i ostale bazične aplikacije od kojih su najvažnije **agregacija** i **selekcija** podataka.
6. **Razvoj aplikacija** – prikupljanje podataka koje vrše BSM ne bi dalo efekta ukoliko se ti podaci ne bi **predstavili krajnjem korisniku**.
 - Glavna istraživanja koja se danas rade je upravo **približavanje relativno malih senzorskih mreža prema mreži svih mreža**, a to je **Internet**.
 - Spajanjem ovih mreža omogućujemo korisniku da sa **bilo kog računara, bilo kada i bilo gde**, dođe do potrebnih podataka (**Sensor Web**)
 - Ova veza je bitna jer omogućuje i **suprotni smer** tj. mogućnost delovanja na SČ u vidu davanja komandi za promenu njegovog rada.
7. **Razvoj simulatora senzorskih mreža** - potrebno je **proveriti ispravnost rada jedne BSM** pre nego što je postavimo i pustimo u rad.
 - Većina današnjih simulatora svodi svoj rad na **simuliranju saobraćaja** između čvorova a malo njih se bave **simulacijom potrošnje** i aspektom **očitanja podataka sa izvorišta**.
 - Nido, Ns-2, OMNet++, GloMoSim, SENSE, BOIDS, Shawn, TOSSIM

3.2.4 Ušteda energije na nivou softvera

- Performanse BSM u mnogome **zavise i od vrste primenjenog OS**
- OS ima ključnu ulogu sa različitih aspekata: **kontroliše potrošnju el. energije u SČ, određuje brzinu reagovanja sistema, kvalitet i sigurnost rada, definiše brzinu komunikacije tj. razmene poruka, i td.**
- Osnovni ciljevi svih njih su da obezbede **robustan i pouzdan rad**, ali tako da **dinamički prilagode trenutnu potrošnju energije.**
- OS koji uspe da izvrši operacije uz minimalnu potrošnju energije a da pri tome ne izgubi na kvalitetu functionisanja aplikacije, sigurno će dobiti primat u izboru i primeni u BSM.
- Odgovornost OS je da obezbedi potrebne mehanizme kako bi se trošenje energije optimizovalo, sve u cilju produženja životnog veka.
- **Periodično spavanje** SČ predstavlja jedan od tih mehanizama
- CPU može da radi u različitim režimima rada, obično četiri režima: **active, idle, sleep i stop**, od kojih većina njih spadaju u režime sa smanjenom potrošnjom električne energije.
- Na tržištu se mogu pronaći savremeni 16/32 bitni CPU koji imaju **više različitih režima rada** a samim tim i više mogućnosti za uštedu energije

3.2.4 Ušteda energije na nivou softvera

- Takvi CPU ugrađuju se u **multimedijalne SČ-ove** koji su namenjeni za prikupljanje multimedijalnih podataka kao što su zvuk i slika.
- Kako ovakvi SČ-ovi imaju **povećanu potrošnju** ($>100\text{mW}$ u aktivnom režimu rada) potrebno je primeniti **složenije šeme uštede energije** od jednostavnog režima **uključenja/isključenja**.
- **DPM** (*Dynamic Power Management*) je jedna od **osnovnih tehnika koja se koristi**.
- Ona podrazumeva da se upravljanje potrošnjom energije **vrši dinamički i to u toku rada same aplikacije**.
- Kako kod SČ **ne postoji tradicionalni BIOS sistem**, dinamičko upravljanje potrošnjom energije **prelazi u nadležnost OS**.
- OS vodi računa o potrošnji energije na taj način što se svakog trenutka **prilagođava zahtevima aplikacije/procesa** koji se trenutno izvršava.
- Uz pomoć **ranije definisanih polisa upravljanja** potrošnjom energije, OS **uključuje/isključuje pojedine elemente SČ**, **povećava ili smanjuje frekvenciju sistemskog kloka**, ili **kontrolise upis/čitanje u/iz memorije**.



3.2.4 Programska kontrola DPM

- Polisa upravljanja nalazi se u samom jezgru OS a strategija upravljanja nalazi se u korisničkom tj. aplikativnom prostoru.
- DPM polisa ne predstavlja samostalni drajver, već je to jedna struktura podataka koja vrši veoma finu, preciznu kontrolu nad stanjem sistema.
- Podaci koji se nalaze u njoj opisuju hardverske komponente SČ, kao i njihovo dinamičko ponašanje, sa gledišta potrošnje energije.
- Kako su ti podaci najbliži hardveru, pre svega zbog efikasnosti, ona se i instalira u samom jezgru OS.
- Polazimo od činjenice, da za svaki SČ koji radi, možemo u određenom trenutku da definišemo karakterističnu radnu tačku (*operating point*).
- Ta tačka definisana je trenutnim stanjem sistema, potrebnim naponom napajanja, frekvencijom CPU-a i magistrale, stanjem perifernih jedinica i na jedinstven način definiše režim rada SČ-a.
- Jedna aplikacija može da definiše više ovakvih radnih režima.
- Uloga DPM sistema je da na osnovu nekog događaja efikasno komutira sistem iz jednog režima rada u drugi.
- Zato i kažemo da DPM sistem predstavlja skup pravila i procedura

3.2.4 Programska kontrola DPM

- Savremeni CPU, kao i naponska i frekventna kontrola komponenti u SČ-u, omogućavaju da **definišemo više radnih režima**.
- Na taj način omogućeno nam je i da se **formiraju više polisa**.
- Sa druge strane, **upravljač DPM polise** (*DPM policy manager*) predstavlja izvršni program koji je zadužen da **aktivira polis**.
- **Svaka polisa ima svoje ime** i u jednom SČ možemo da imamo više različitih polisa koje možemo da koristimo.
- Polisa se izvršava i u **sistemskom i u korisničkom** prostoru što zavisi od **strategije uštede energije** koju definiše aplikacija
- Kada je jednom DPM sistem inicijalizovan i aktiviran, **on će uvek izvršavati neku DPM polis** koja se nalazi u samom jezgru OS.
- Jako je teško reći **koji OS daje bolje energetske karakterisitke** u pogledu uštede jer to zavisi od mnogih parametara i vrste aplikacije.
- Neki eksperimenti su pokazali da **OS Mantis daje bolje rezultate** za aplikacije koje se odnose **na praćenje determinističkih događaja** koji se retko događaju, tj. postoji duži neaktivni period između njih.
- U slučajevima kada nam je energetska efikasnost na prvom mestu, a **prate se nedeterministički događaja**, **TinyOS** predstavlja bolji izbor.

3.2.5 Medijumi za prenos/protokoli

- U višeskokovitim (*multihop*) senzorskim mrežama, komunikacija između SČ može se ostvariti putem **radio, infracrvene i optičke** veze.
- Većina današnjih SČ, koji su komercijalno dostupni, **koriste RF vezu**.
- Da bi mogla da se **uspostavi globalna mreža koristi se medijum** koji je besplatan u većini zemalja a to je ISM područje.
- Kako se ovde radi o malim SČ koji **imaju veoma malu snagu emisije**, izbor noseće frekvencije je sveden na **UHF** (*Ultra High Frequency*).
- Protokoli koji se koriste kod BSM mogu se podeliti na tri grupe:
 - **MAC** (*Media Access Control*) protokoli – kao što samo ime kaže ovo su protokoli koji rade na nivou veze (*link layer*) i osnovna uloga im je da uspostave sigurnu i stabilnu vezu između čvorova rešavajući osnovni problem kolizije između SČ.
 - **Ruting protokoli** – predstavljaju protokole koji se odvijaju na mrežnom nivou i zaduženi su za usmeravanje podataka.
 - **Transportni protokoli** – protokoli kojima je osnovni zadatak da omoguće kontrolisani prenos paketa od izvorišta do odredišta. Jako važni protokoli sa gledišta uštede el.energije.

3.3 OSI referentni nivo

- Osnovni komunikacioni proces sastoji se od slanja podataka od izvora do odredišta
- U suštini ovde se radi o dve nezavisne aplikacije, koje se izvršavaju na različitim mestima, a koje su uzajamno povezane i razmenjuju podatke
- Zadatak predajne aplikacije je da izvrši pripremu podataka za slanje (kodiranje, kompresija, zaštita) i pošalje ih na medijum preko koga je ostvarena veza sa drugim računarom.
- Aplikacija na drugom računaru prihvata te podatke izvrši njihovo dekodiranje i smesti ih na odgovarajuće mesto.
- Očigledno je da se ceo ovaj proces može podeliti u više nivoa koji su identični i na predajnoj i na prijemnoj strani.
- U naučnim krugovima već se odomaćilo da kad god se razgovara o nekom mrežnom komunikacionom procesu kao referentni model se uzima OSI
- Danas se ovaj model koristi samo kao referentni model u poređenju različitih komunikacionih procesa.
- Do toga je došlo jer se komunikacija dosta menjala i napredovala zadnjih godina tako da standardni OSI model nije primenjiv svuda.

3.3 OSI referentni nivo

OSI

Nivo aplikacije

Nivo prezentacije

Nivo sesije

Transportni nivo

Mrežni nivo

Nivo veze

Fizički nivo

TCP

Nivo aplikacije

Socket povezivanje

Transportni nivo
TCP UDP

Mrežni nivo
IP ICMP

Nivo veze
ARP,RARP,NDIS

Fizički nivo

BSM model

Nivo aplikacije

Nivo srednjeg sloja
Operativni sistem

Transportni nivo

Mrežni nivo

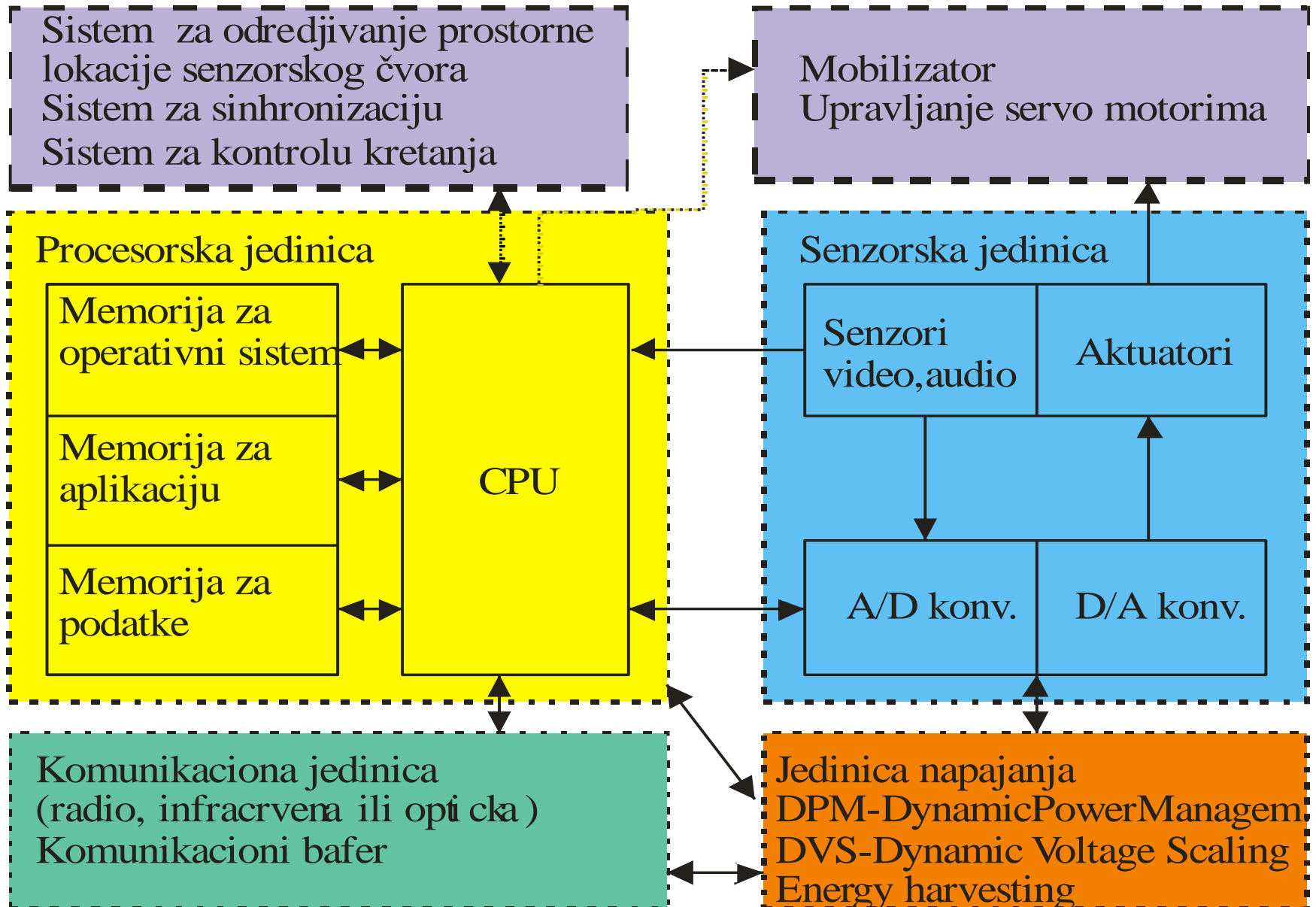
Nivo veze

Fizički nivo

3.3 Fizički nivo - I sloj

- Predstavlja osnovnu sponu sa komunikacionim medijumom i njegova osnovna uloga je da **obezbedi nesmetanu razmenu signala između SČ**.
- Bez obzira da li se tu radi o hardverskoj ili softverskoj komponenti, prvi uslov koji treba ispuniti je **najmanja moguća potrošnja el.energije**.
- Kada je u pitanju hardverska komponenta projektovanje SČ se svodi na izbor komponenti **koje manje troše električnu energiju**.
- Od tipičnog SČ očekuje se da može da uradi sledeće: **registruje događaj** koji prati, **izvrši odgovarajuće procesiranje** registrovanog signala, **grupiše dobijene podatke** i **izvrši njihovu konverziju** i **pripremu za slanje** i da te iste podatke **prosledi do sledećeg čvora**.
- Na osnovu ovoga proizilazi i standardna konfiguracija jednog SČ:
 1. integrisana senzorska jedinica,
 2. procesorska jedinica za obradu podataka,
 3. komunikaciona jedinicu za bežični prenos
 4. jedinica napajanja.
- Mogu da se jave i neke druge specifične celine: **mobilizator, jedinicu za određivanje prostorne lokacije** ili **generatora električnog napajanja**.

3.3 Blok šema senzorskog čvora



3.3 Fizički nivo - I sloj

- 1. Detekciju signala** - predstavlja pronalaženje optimalnog mehanizma koji treba da osluškuje fizički kanal i sprečava komunikacione kolizije tj. višestruke istovremene pristupe prenosnom medijumu. **CCA** (*Clear Channel Assessment*) predstavlja jedan od mehanizama koji se koristi.
- 2. Vremenska sinhronizacija signala** - vrlo bitna funkcija koja treba da obezbedi potpunu sinhronizaciju između predajnog i prijemnih SČ-a kako bi se postigla maksimalna ušteda električne energije.
- 3. Izbor odgovarajućeg frekvetnog opsega** - komunikacija između SČ može se ostvariti putem radio, infracrvene i optičke veze.
 - Najčešće se koristi RF veza i talasno područje koje je besplatno u većini zemalja: **ISM** područje (*Industrial, Scientific and Medical bands*).
 - Kako se ovde radi o malim SČ koji imaju veoma malu snagu emisije, izbor noseće frekvencije je sveden na **UHF** (*Ultra High Frequency*).
 - U Evropi obično kao noseća frekvencija koristi se **433MHz** a u Americi **915MHz**, a zadnjih godina još 2 ferkvencije: **2,4GHz** i **5GHz**
 - Postoji slobodan veliki spektar oko ovih frekvencija (**433.05-434,79 MHz**, **902-928 MHz** i **2400-2483,5MHz**), što olakšava izbor protokola.

3.3 Fizički nivo - I sloj

4. Tehnike za prenos i modulisanje signala – istraživanja su se svela na tri glavne tehnologije koje se koriste kod BSM i to su:

- a) usko-pojasna (*Narrow-Band*),
- b) tehnika širokog spektra (*Spread Spectrum*)
- c) ultra široko pojasna tehnika (*Ultra-njide Band*).

- Sa gledišta energet. efikasnosti tehnika **širokog spektra je najisplativija**
- Kod nje se koriste dve dobro poznate tehnike: FHSS i DSSS
- U okviru svake od ovih tehnika poseban problem predstavlja izbor odgovarajućih mehanizama za istovremeni pristup kanalu
- Najveće interesovanje poklanja se sledećim metodama:

- 1. Carrier Sense Multiple Access**-najstarija tehnika ne sprečava koliziju
- 2. Frequency Division Multiple Access**-svaki kanal ima sopstvenu frekv.
- 3. Time Division Multiple Access**-podaci se smeštaju se u vremenske okvire tako da svakom SČ pripada jedan okvir.
- 4. Code Division Multiple Access**-svaki podatak se kodira ortogonalnim kodovima ili specijalnim uzorcima pa se tek onda šalje.

3.3 Fizički nivo - I sloj

5. Energetska efikasnost SČ - karakteristika koja je prisutna u svim nivoima komunikacionog steka i kojoj se zbog prirode BSM poklanja najviše pažnje.

- U okviru ovog nivoa istraživanja su **usmerena u nekoliko smerova**:
 - a) projektovanje SČ od komponenti **koje nisu zahtevne u pogledu energetske potrošnje**,
 - b) pronalaženju **optimalnih polisa** koje će upravljati različitim stanjima SČ u pogledu potrošnje električne energije,
 - c) minimiziranje tj. **smanjivanje vremena** koje potrebno kod **A-D konverzije** očitanih podataka
 - d) smanjivanju snage primopredajnika.

3.3 Nivo veze/podataka - II sloj

1. Multipleksiranje/demultipleksiranje podataka,
2. detekcija okvira,
3. obezbeđivanje nesmetanog pristupa medijumu za prenos,
4. korekcija greške,
5. fizičko adresiranje
6. uspostavljanje mrežne topologije
7. obezbeđivanje odgovarajućeg režima rada.

- Najpoznatiji protokoli na ovom nivou su: S-MAC (*Sensor MAC*), WMAC (*WiseMAC*), TRAMA (*Traffic-Addaptive MAC protokol*), i T-MAC/DSMAC (*Timeout-MAC /Dynamic Sensor-MAC*).
- Pored osnovne funkcije koja se svodi na to **da uspostave sigurnu i stabilnu vezu između SČ**, za razliku od standardnih protokola na ovom nivou, protokoli za BSM moraju da vode računa o dva bitna parametra: **potrošnja električne energije** i **velika gustina čvorova**.
- Kako je el.energija kojom raspolažu ovi SČ ograničena, jasno je od kolikog je značaja **da se ona svede na najmanju meru** tj. da se izabere energetski optimalniji režim rada. **Dve tehnike su ovde interesantne:**

3.3 Nivo veze/podataka - II sloj

1. Adaptive Duty Cycling - pažljivo se biraju SČ koji se isključuju vodeći računa da se kičma mreže sačuva za normalnu komunikaciju. Izbor tih SČ vrši se na osnovu podataka o količini el.energije kojom oni raspolažu kao i o pokrivenosti prostora koji oni drže. Izbor tih SČ se ciklično menja. Tipični protokoli su S-MAC, ASCENT i SPAN.

2. Wakeup on demand - zahteva da SČ imaju 2 primopredajnika koja rade na različitim frekvencijama. Primopredajnik male snage, služi samo da osluškuje medijum za prenos i aktivira primopredajnik veće snage, koji je sve vreme bio isključen, tek kada se javi neki zahtev. Tipični predstavnici su **STEM** i **Wake-on-Wireless**

- Razvoj dobrog MAC protokola za BSM treba da ispuni sledeće uslove
- mora da bude efikasan sa gledišta potrošnje električne energije
 - da bude skalabilan
 - lako se adaptira na promenu broja SČ, gustine SČ-a i topologije
 - moraju da imaju kratko vreme pristupa čvorovima (*latency*),
 - veliki protok podataka (*throughput*)
 - široki opseg slanja podataka (*bandwidth*).

3.3 Mrežni nivo - III sloj

- Osnovni zadatak protokola ovog nivoa je da izvrše **efikasno rutiranje**, koje će omogućiti da se prenos podataka od izvorišta-SČ, do kontrolnog računara (*sink*), izvrši **u što kraćem vremenskom intervalu** sa najmanjom mogućom potrošnjom električne energije.
- Kako su dometi u BSM **vrlo mali a gustina SČ velika**, to se proces pronalaženja optimalnih ruta dosta komplikuje.
- Ovde se javljaju **tri bitna detalja** koja **eliminiraju korišćenja standardnih protokola rutiranja** u bežičnim mrežama:

1.implozija (*implosion*) - ovde više SČ ima isti podatak koji treba da se šalje pa se nepotrebno troše resursi čvorova, šalje se dupla poruka

2.preklapanje (*overlap*) - to je pojava kada dva ili više SČ šalju isti podatak jer nadgledaju isto područje.

3.upravljanje resursima – protokoli rutiranja se ovde zasnivaju na raspoloživosti i veličini resursa kojim pojedini SČ raspolaže i na osnovu toga oni donose odluku o izboru odgovarajuće rute.

3.3 Mrežni nivo - III sloj

- Uopšteno, sve protokole rutiranja, u zavisnosti **kako se poruka upućuje** od pošiljaoca do primaoca, možemo podeliti u 3 velike grupe:
 - 1.proaktivne** (*proactive*)-rutiranje se vrši po unapred upamćenim rutama
 - 2.reaktivne** (*reactive*) - rutiranje vrši prema trenutnoj potrebi
 - 3.mešovite** – kombinacija prethodne dve grupe.
- Očigledno je da se rutiranje **kod BSM vrši sa reaktivnim protokolima**
- On **načina kako SČ međusobno komuniciraju** ruting protokole delimo:
 - 1.direktna** – svi SČ šalju direktno podatke do *sink-a*,
 - 2.ravnomerna** (*flat*) – svi SČ u mreži su ravnopravni i podaci se prenose od čvora do čvora (*multi hop*). Tipični predstavnici ovih protokola su: **SAR** (*Sequential Assigment Routing*), **DD** (*Directed Diffusion*), **SPIN** (*Sensor Protocols for Information via Negotiation*)
 - 3.Klaster** - u okviru jedne mreže **formiraju manje grupe SČ – klasteri**, u okviru kojih postoji **jedan glavni čvor – bazni čvor**, sa kojim ostali SČ iz te grupe komuniciraju. Najpoznatiji protokoli iz ove grupe su:
 - a) LEACH** (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*),
 - b) TEEN** (*Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol*),
 - c) PEGAGIS** (*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems*)

3.3 Mrežni nivo - III sloj

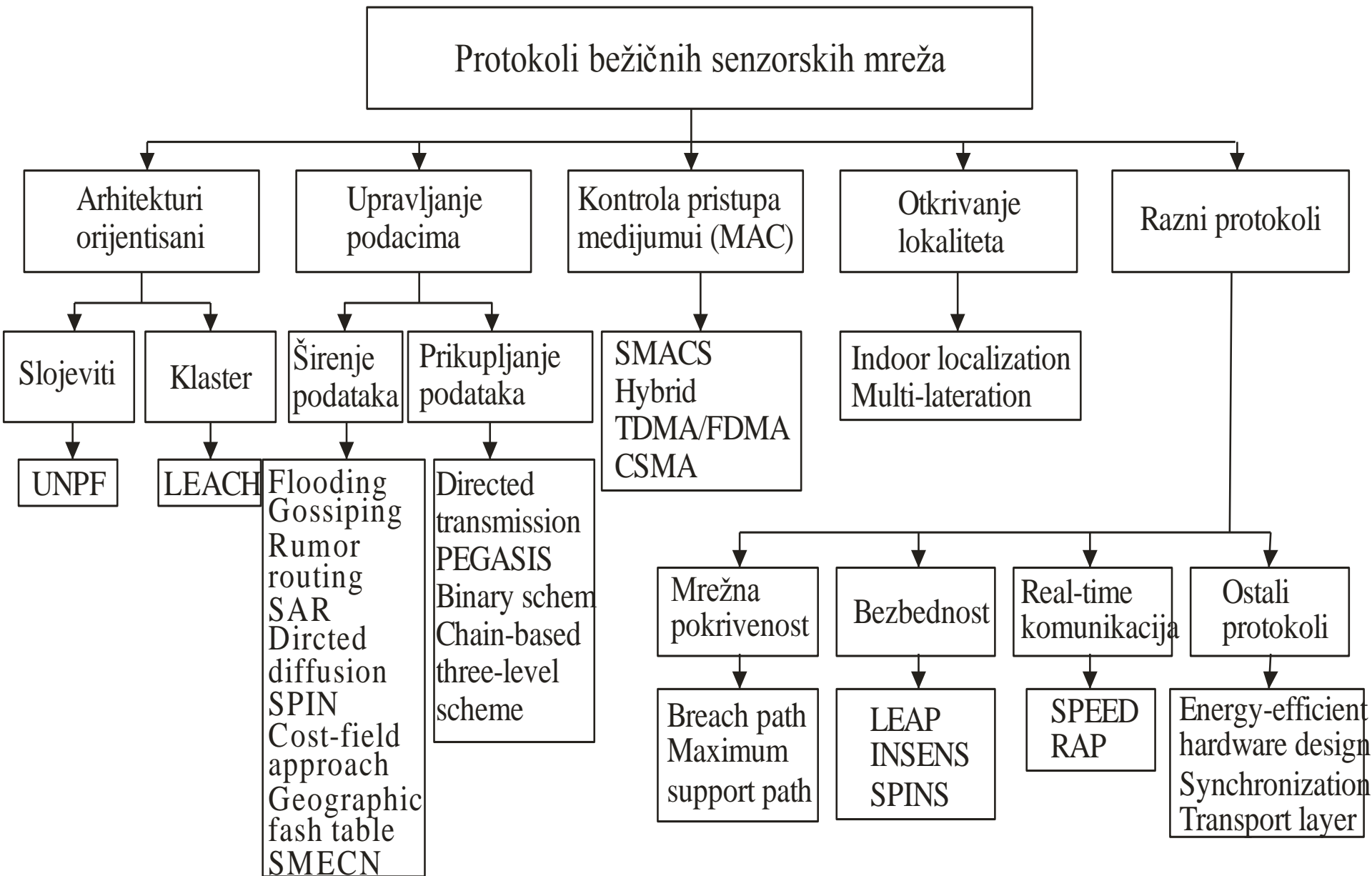
- Pored ove podele rutin protokole možemo podeliti i na osnovu podataka koje dobijamo iz aplikacionog sloja kao što su: veličina i broj aktivnih SČ, njihovo grupisanje, kapaciteti tih SČ, lokacijsko mesto, vrsta i veličina podataka koji se sakupljaju, kvalitet pojedinih veza i td.
- To spadaju sledeće grupe protokola:

1. Protokoli za grupisanje podataka- veliki broj SČ uticao je na znatno povećanje količine i različitost podataka koji se prikupljaju. Gledano globalno u jednoj BSM imamo sve više podataka koji su redundantni. Nameće zadatak da se ti nepotrebni podaci koji opterećuju mrežu izbace. Sada se postavljaju pitanja kada, gde i kako izvršiti grupisanje podataka i kako rasporediti SČ da bi se dobile optimalne performanse.

2. Protokoli bazirani na lokaciji – baziraju svoje rutiranje na unapred poznatoj poziciji SČ. Ukoliko nam je poznata pozicija svakog SČ moguće je znatno smanjiti vreme pristupa svakom čvoru a samim tim znatno uštedeti utrošak el.energije (MENC, SMENC i GAF protokoli)

3. QoS bazirani protokoli –zasnivaju svoje rutiranje na tkz. kvalitetu uspostavljanja veze. Odluku o rutiranju podataka u BSM donose na osnovu: kašnjenja, prolaznosti, širine opsega ili količine el.energije SČ

3.3 OSI referentni nivo



3.3 Transportni nivo - IV sloj

- Ovaj nivo je zadužen za **isporuku paketa od jednog do drugog korisnika bez obzira na medijum koji je iskorišćen za povezivanje.**
- U žičanim mrežama sigurno jedan od najčešće korišćenih transportnih protokola je TCP koji **nije pogodan za primenu u BSM.**
- Kako je TCP postao standardni protokol na Internetu, jasno je da su sva istraživanja bila **uperena da se ovaj problem nekako eliminiše.**
- U tu svrhu koriste se **različite šeme**, čija uloga je da smanje broj prenosa između prijemnika i predajnika i smeštene su u tri grupe:

1. Protokoli koji dele konekciju (*split connection protocol*) - predstavljaju protokole koji sasvim sakrivaju BSM od žičanih mreža.

- Klasičan TCP prenos se ovde završava u baznoj stanici koja je sa jedne strane povezana žičanom vezom a sa druge bežičnom vezom sa SČ
- To znači da se svaka TCP veza između prijemnika i predajnika deli na dva dela i to baš u baznoj stanici:
 - a) jedna veza je klasična TCP komunikacija između bazne stanice i "žičanog" računara,
 - b) druga je modifikovana TCP veza između bazne stanice i SČ.

3.3 Transportni nivo - IV sloj

2. Protokoli na nivou veze (*link-layer protocol*) – ova vrsta protokola odvaja klasičnu TCP vezu korišćenjem kombinacije lokalnih retransmisija koje su prilagođene bežičnom medijumu.

3. Protokoli end-to-end – ovi protokoli uključuju verziju modifikovanog TCP koja je više prilagođena bežičnom medijumu.

- Od te verzije se zahteva da vodi računa o izgubljenim paketima koristeći se metodama selektivnog potvrđivanja i tačne notifikacije izgubljenih okvira (*Explicit Loss Notification*).

- Razvoj efikasnog transportnog protokola predstavlja bitan element u jednoj BSM **gledano i sa aplikativne strane**.

- U zavisnosti od tipa aplikacije, od svakog SČ zahtevaju se neka **lokalna izračunavanja** u pogledu **izbora pojedinih podataka**, njihovog **grupisanja**, **kriptovanja** i **slanja**.

- BSM su poznate kao **nesigurne mreže** u kojim je **% loše primljenih paketa veliki (30-70%)** izbor transportnog protokola još više značajan

- Treba pomenuti da i klasične metode potvrde prijema paketa (**ACK** i **NACK**) ovde takođe **nisu primenljive zbog povećane aktivnosti SČ**

3.3 Transportni nivo - IV sloj

- Već smo pomenuli da standardni TCP protokol **ne odgovara zbog veličine i načina prenosa** podataka (okvir je minimalne veličine od **28 byte + podaci** i **trostrano** usaglašavanje prenosa).
- Realnije je očekivati da se ovde primeni **jednostavniji i brži UDP** (*User Datagram Protocol*) bez obzira što je to nepouzdan jednosmeran protokol.
- Problem gubljenja okvira a samim tim i podataka, ovde ne bi trebalo da bude **nepremostiv** sa obzirom da imamo **veliki broj SČ** koji mogu da daju te iste podatke.
- Pravci razvoja transportnih protokola kreću se u **dva smera** i to:
 1. razvoj protokola u okviru sa **postojećim mrežnim ili ruting protokolima** kao što je protokol **RMST** (*Reliable Multi-Segment Transport*)
 2. projektovanje potpuno **nezavisnih transportnih protokola** kao što su
 - a) **PSFQ** (*Pump Slowly, Fetch Quickly*),
 - b) **ESRT** (*Event-to-Sink Reliable Transport Protocol*)
 - c) **STCP** (*Sensor Transmission Control Protocol*).

3.3 Srednji (Middleware) nivo

- Većina BSM ne mogu da rade **same za sebe**.
- One moraju da budu povezane u **složenu mrežnu infrastrukturu** preko koje će **dobijati zadatke**, kao i da prikupljene podatke **proslede do računara** koji će te podatke obrađivati i prezentovati.
- Pojam srednjeg sloja upravo se odnosi **na softverski sloj** koji se nalazi između OS i BSM aplikacije sa jedne strane i distribuirane mrežne aplikacije koja se obraća SČ preko mrežnog interfejsa.
- Predstavlja **referentni nivo** koji se kao poseban sloj izdvojio zadnjih godina i trenutno je jedan od **atraktivnijih područja istraživanja**
- Osnovni zadatak ovog nivoa je da **”sakrije” složenost mrežnog okruženja** i **oslobodi aplikaciju** od upravljanja mrežnim protokolima, deljenju memorijskih resursa, mrežnoj funkcionalnosti i uporednom izvršavanju zadataka.
- Da bi sve te zadatke uspešno izvršio srednji sloj mora da bude:
1. Skalabilan - da prepozna resurse kojima raspolaže i da optimalno prilagodi aplikaciju njima.

3.3 Srednji (Middleware) nivo

- 2. Generativan** – korišćenje jednog srednjeg sloja u više različitih aplikacija zahteva od njega da ima **veliki broj složenih interfejsa** a to povećava veličinu tog sloja što kod BSM **nije dobro**.
- Zato se od njega zahteva da bude **generički prilagodljiv**, tj. da se interfejs prilagodi aplikaciji a ne aplikacija interfejsu.
- 3. Adaptivan** – mobilnost čvorova kao i izmenljivost topologije BSM zahteva od ovog sloja da bude **uvek dinamički promenljiv** i sposoban da izvršava različite komponente.
- 4. Reflektivan** – pokriva sposobnost sistema **da razume i menja svoje ponašanje samostalno** bez intervencije sa strane.
- Dva mehanizma su ovde dostupna i to **inspekcija** i **prilagođenje**.
 - **Inspekcija** pokriva načine za analizu ponašanja čvora u različitim situacijama,
 - **Prilagođavanje** dozvoljava modifikaciju u okviru internog nivo tj. promenu podatka koji se daju aplikaciji.
 - Kao primer možemo navesti **izmenu rutin strategije** kod mobilnih čvorova kada čvorovi sami biraju neku drugu rutu.

3.3 Srednji (Middleware) nivo

- Ovde treba dodati i **sve veće interesovanje** za implementaciju TCP/IP protokola u okviru BSM.
- Zbog ograničavajućih faktora u komunikaciji, sigurno je da **standardni TCP/IP nije prikladan** i nije primenljiv.
- Međutim, niko još **nije osporio činjenicu** da je i njegova primena potpuno nemoguća, pa je potpuno razumljivo veliko interesovanje istraživača za ovaj problem.
- Sa obzirom na orgoman razvoj Internet-a suvišno je i govoriti o **kakvim se mogućnostima radi** ako se uspe da se neka vrsta TCP/IP implementira na senzorske čvorove - ***Internet of things***.
- U primeni senzorskih mreža postavljaju se **različiti zahtevi** koje je vrlo teško realizovati zbog mnogih ograničenja koje imaju SČ.
- Zato je neophodno razviti **odgovarajući operativni sistem** koji će sa jedne strane uspešno upravljati **smanjenim hardverskim mogućnostima SČ**, a sa druge strane efikasno omogućiti **modularnost i robusnost** jedne senzorske mreže.
- Ovde nije moguće izvršiti **podelu OS** na serverski i klijentski OS

3.3 Aplikacioni nivo

- Ovaj nivo je jedan od **najmanje istraženih delova** BSM
- Velika primena BSM u različitim aplikacijama daje mogućnost da se razvijaju **mnogi upravljački protokoli** koji će se **prilagođavati datoj aplikaciji** i tako optimizovati parametre mreže.
- Osnovna uloga ovog sloja je **da približi softver i hardver** sa nižih nivoa mrežnoj aplikaciji.
- Neki od protokola koji se izvršavaju na ovom nivo i koji sigurno mogu da budu područja na kojima će se u budućnosti dosta raditi su:
 1. *Sensor Management Protocol* (**SMP**),
 2. *Task Assignment and Data Advertisement Protocol* (**TADAP**),
 3. *Sensor Query and Data Dissemination Protocol* (**SQDDP**)
- U okviru ovog sloja možemo svrstati i **razvoj simulatora za BSM**
- Dobar simulator omogućio bi da **unapred proverimo ispravnost rada** jedne takve mreže pre nego što je postavimo i pustimo u rad.
- Zbog prirode WSN jasno je od kolike je to koristi jer **testiranje u realnim uslovima je gotovo nemoguće**.
- Nido, Ns-2, OMNet++, GloMoSim, SENSE, BOIDS, Shawn, TOSSIM.

Hvala na pažnji !!!



Pitanja

? ? ?