

V Struktura senzorskog čvora

1. Karakteristike senzorskog čvora

2. Senzorski podsistem

2.1 Potrošnja energije

3. Procesorski podsistem

3.1 Potrošnja energije

4. Komunikacioni podsistem

4.1 Tehnologija prenosa

4.2 Arhitektura komunikacione jedinice

4.3 Potrošnja energije

5.1 Struktura senzorskog čvora

- Osnovni gradivni elementi svake BSM su SČ-ovi, koji zbog svoje multifunkcionalne uloge **imaju različitu strukturu**.
- Pred njima su postavljeni **jako složeni zadaci** koje oni trebaju da urade.
- Oni trebaju da budu sposobni da potpuno samostalno **formiraju mrežnu infrastrukturu, prikupljaju informacije, procesiraju te informacije**, međusobno ih **razmenjuju i šalju** prema nadređenim SČ
- Da bi to mogao da obavi potpuno samostalno, svaki SČ mora da poseduje **minimum hardverskih komponenti** koje bi mu to omogućile.
- Raznolikost aplikacija u kojima se primenjuju SČ-ovi, zahtevaju dosta **različitih hardverskih komponenti** kako bi oni bili sposobni da to urade
- Zahtevi aplikacija predstavljaju **odlučujući faktor** kod izbora hardverskih komponenti od kojih treba da se sastoji SČ.
- Smatra se da jedan SČ ne bi trebalo da je veći od **1cm³**, težine do **100g**, maksimalne potrošnje do **100μV** i da ne bude skuplji od **1\$**
- U većini aplikacija veličina SČ i nije toliko bitna u poređenju sa potrošnjom tj. **životnim vekom** tog SČ kao i **cenom** SČ

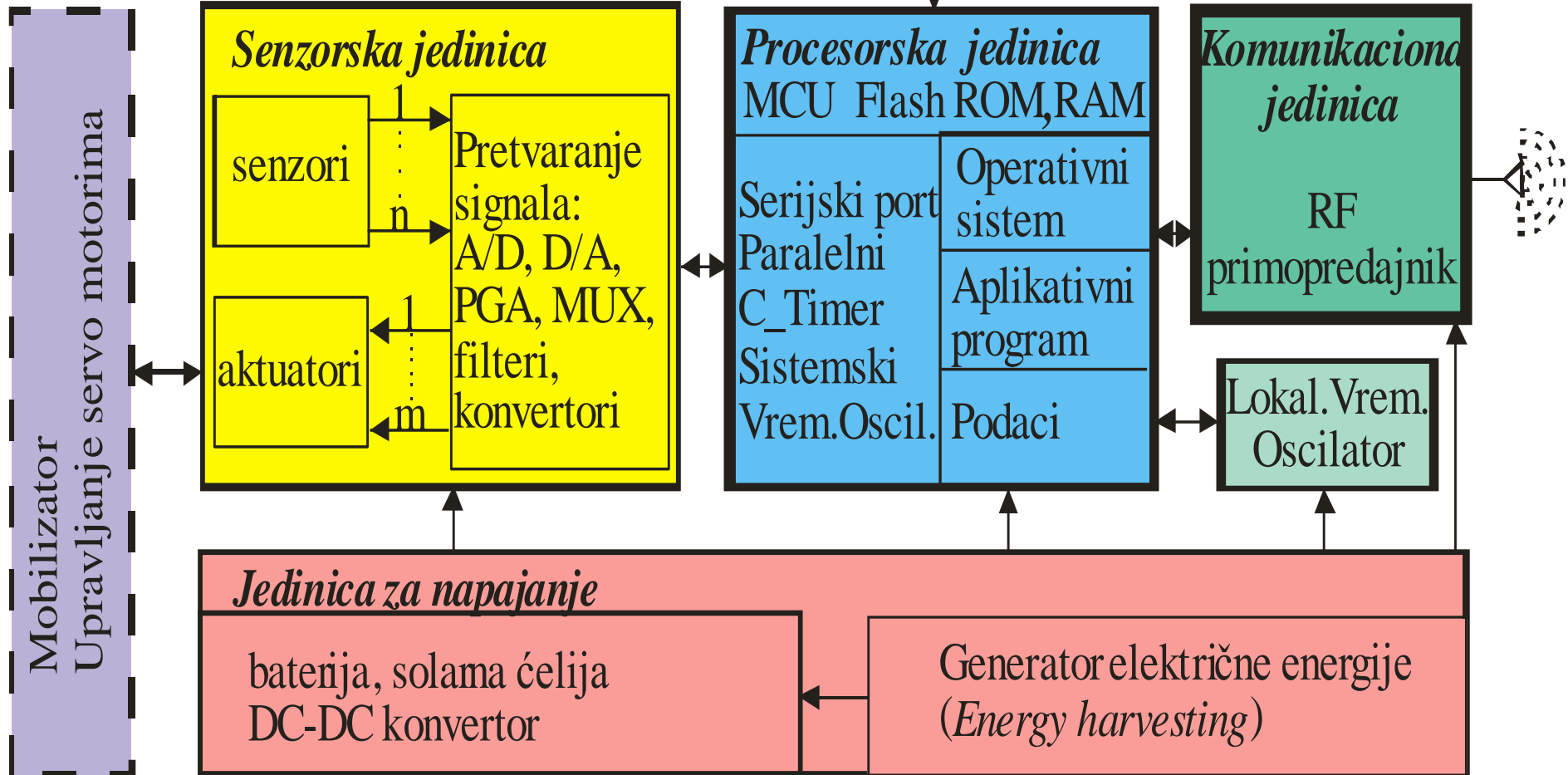
5.1 Struktura senzorskog čvora

- Ne postoji **jedan jedinstven standard** arhitekture SČ, mada je i pitanje da li bi takav standard mogao da podrži sve aplikacije za BSM
- Mogu se prepoznati neke **osnovne komponente** od kojih se on sastoji:
 - I. senzorskog podsistema** koji se sastoji od različitih senzorskih elemenata zaduženih da prikupljaju podatke u nagledanom regionu ili pojavi i/ili aktuatora koji izvršavaju neke radnje/akcije u nadgledanom regionu;
 - II. računarskog podsistema** koji se sastoji od mikroprocesora ili mikrokontrolera (MCU – *Micro Controller Unit*);
 - III. komunikacionog podsistema** koji je realizovan bežičnim primopredajnikom kratkog dometa i
 - IV. lokalnog energetskeg podsistema** u kome se nalazi baterija i DC-DC konvertor.
- U zavisnosti od funkcije koju obavljaju oni mogu biti prošireni i opcionim komponentama kao što su: **mobilna jedinica, jedinica za koordinaciju, memorijskog podsistema, sistema za sinhronizaciju vremena, generatora električne energije** i td.

5.1 Struktura senzorskog čvora

Sistem za određivanje prostorne lokacije senzorskog čvora

Sistem za sinhronizaciju vremena
Sistem za kontrolu kretanja



5.1 Struktura senzorskog čvora

- Trenutne tipične dimenzije većine komercijalnih SČ kreću se od **veličine kutije šibica**, pa do dimenzija reda **1cm³** i manjih
- Dalji razvoj tehnologije trebalo bi da omogući **dalje smanjivanje veličine SČ**, pa se očekuje da on dostigne dimenzije manje od **1 mm³**
- U jednoj BSM možemo da razlikujemo **dva osnovna tipa SČ-ova**:
 - I. Standardne SČ-ove** kojih imamo u najvećem procentu i koji su zaduženi za neposredno prikupljanje podataka od senzora
 - II. Glavne ili *master* SČ (*sink*)** koji su zaduženi da prihvataju veliku količinu podataka od standardnih SČ-ova, i iste proslede prema nekom nadređenom sistemu, na primer Internetu.
- Osnovne karakteristike standardnih SČ-ova su **jako ograničeni resursi** u pogledu računarske snage i količine energije kojom raspolažu, **mogućnost samostalnog prilagođenja** okruženju, **visoka integracija elektronskih komponenti**, mogućnost **autonomnog rada** bez održavanja i jako **mala cena** jer oni najčešće predstavljaju **potrošne uređaje**
- **Master SČ-ovi** predstavljaju znatno **složenije uređaje**, većih su **dimenzija** i imaju **veće mogućnosti obrade podataka i komunikacije**.

5.1 Najpoznatiji senzorski čvorovi

mica



mica2



mica2dot



micaz



telos



telosb



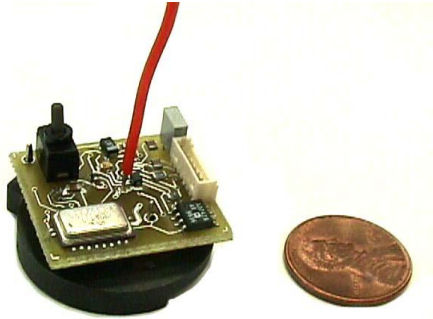
rene2



Iris



5.1 Komercijalni SČ



weC Mote



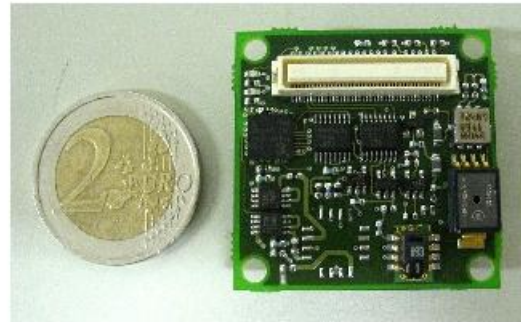
BTNode



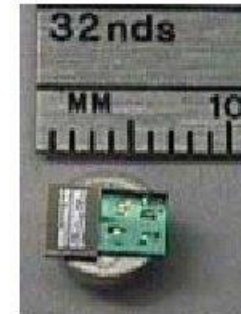
Eyes



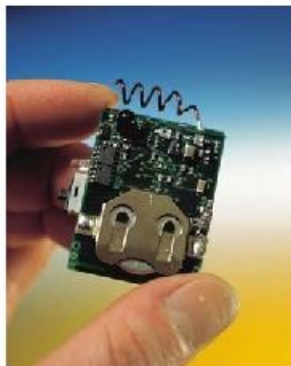
UC Berkeley: COTS Dust



CWC: WIRO



UC Berkeley: Smart Dust



VTT Electronics
SoapBox

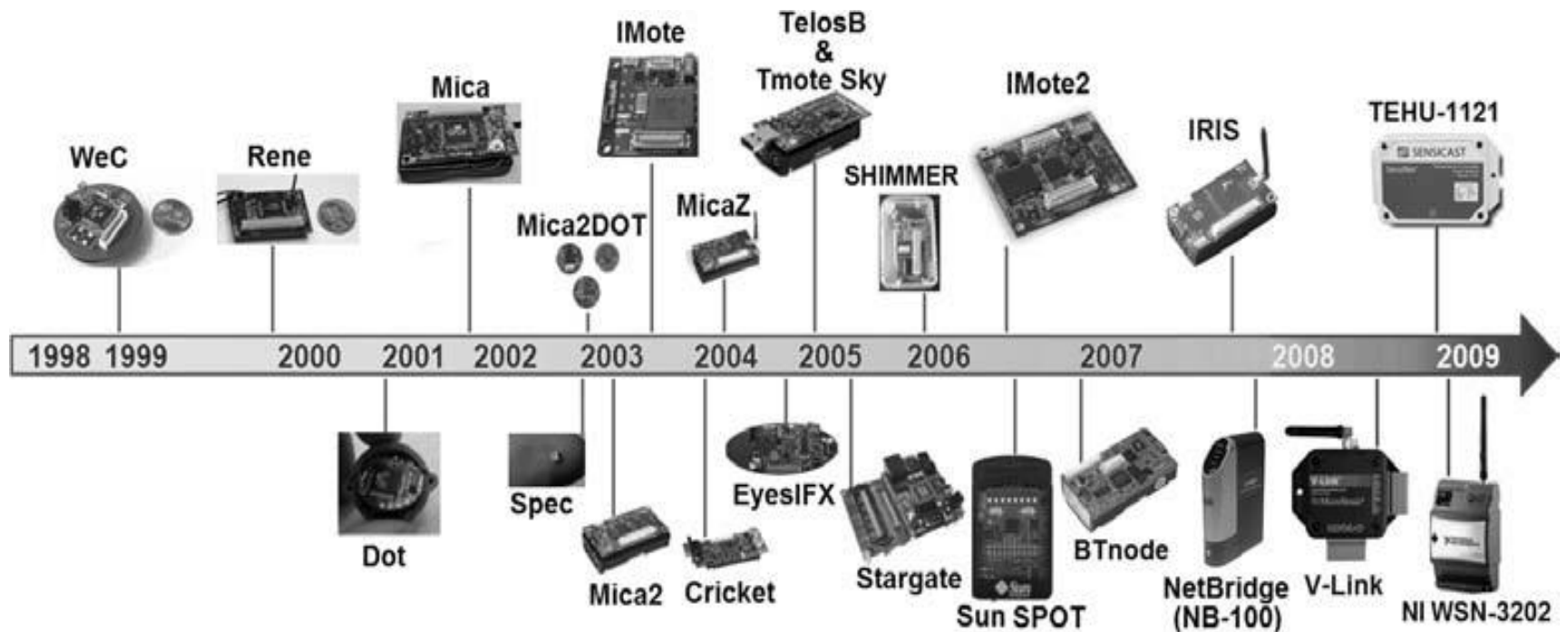
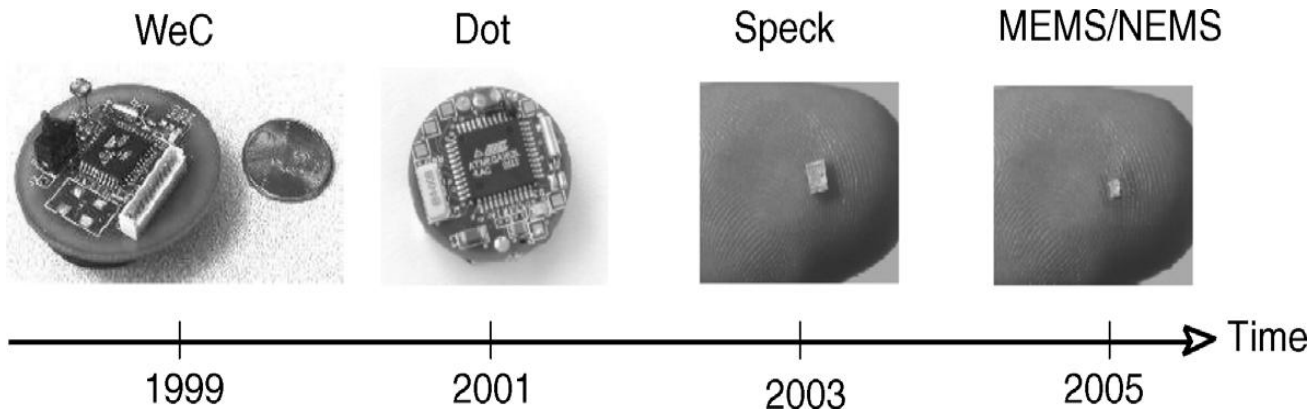


Rockwell: WINS



JPL: Sensor Webs

5.1 Istorijski razvoj SČ



5.1 Pregled komercijalno dostupnih SČ

Platforma	Proizvođ./ god.proizv.	Procesor	Memorija	Radio primo-predajnik	Domet (m)	Senzori	Cena EUR
eyesIFXv2	Infineon/	TI MSP430, 8 MHz	10kB RAM, 48kB ROM, 4MB Flash	Infeneon, TDA5250, 869 MHz, 1 – 64 kbps	600	Svetlost, temperatura	/
Intel Mote 2	Intel, 2006	Intel, PXA271	256kB SRAM, 32MBSDRAM 32MB Flash	Chipcon, CC2420, 2.4GHz, 250 kbps, IEEE 802.15.4	~ 100	multimedija	/
MICA2	Crossbow, 2003	Atmel, ATmega128L, 8 MHz	128kB RAM, 4kB EPROM, 512kB Flash	Chipcon, CC1000, 869 MHz, 0.6 – 76.8 kbps	300	Crossbow, MTS, MDA	150
MICAz	Crossbow, 2004	TI MSP430, 8 MHz	10kB RAM, 48kB ROM, 1MB Flash	Chipcon, CC2420, 2.4GHz., 250 kbps, IEEE 802.15.4	80	Crossbow, MTS, MDA	150
Cricket - razvojna platforma	Crossbow, 2004	Atmel ATmega128L, 8 MHz	10kB RAM, 48kB ROM, 4MB Flash	Chipcon, CC1000, 869 MHz, 0.6 – 76.8 kbps	300	Crossbow,MTS ,MDAultrazvu čn	200
TELOSB razvojna platforma	Crossbow, 2005	TI MSP430, 8 MHz	10kB RAM, 48kB ROM, 1MB Flash	Chipcon CC2420, 2.4GHz, 250 kbps, IEEE 802.15.4	80	Crossbow, MTS, MDA	120
TinyNode	Shockfish	TI MSP430, 8 MHz	10kB RAM, 48kB ROM, 512kB Flash	Xemics XE1205, 869 MHz, 1.2 – 152.3 kbps	2000	Svetlost,temper at., vlažnost	200
BTnode3	Art of Technology 2007	Atmel ATmega128L, 8 MHz	64+180kB RAM,128kB Flash,4kBEPROM	1. Chipcon CC1000, 433- 915MHz,76.8 kbps. 2.ZeevoZV4002,Bluetooth	1.~ 200, 2. ~x10	TECO Particle senzori	200
Tmote Sky	Mote IV	TI MSP430, 8 MHz	10kB RAM, 48kB Flash	Chipcon CC2420, 2.4GHz, 250 kbps, IEEE 802.15.4	~ 100	Svetlost, temp., vlažnost	100
Tmote Invent	Mote IV	TI MSP430, 8 MHz	10kB RAM, 48kB Flash	ChipconCC2420, 2.4GHz., 250 kbps, IEEE 802.15.4	~ 100	Svetlost,temp., zvuk kretanje	/

5.1 Karakteristike senzorskog čvora

1. Racionalna potrošnja energije – osnovni zadatak svih SČ
2. Bežična komunikacija - primenjuju se u sredinama u kojima nemamo nikakvu infrastrukturu pa moraju **samostalno da se organizuju**. Javljaju se **velike smetnje i interferencije** tako da je komunikacija jako otežana. Poseban problem je pojava **asimetričnih veza** koje su jako česte.
3. Konkurentne intezivne operacije - SČ u BSM-u prikuplja podatke sa senzora. Podaci se **interno obrađuju i pripremaju za slanje** nadređenom SČ-u, sve do glavnog SČ, čime se formira jedan komunikacioni tok (**communication flow**) ili putanja. Zbog velikog broja SČ-ova u jednoj BSM-i, kao i zbog više-skokovite (*multi-hop*) prirode organizacije te mreže, postoji mnogo tih komunikacionih putanja - **veći RAM bafer**
4. Fizički ograničeni paralelizam i hijerahija upravljanja – svaki SČ je u direktnoj sprezi sa **samo jednim MCU** (*Micro Controller Unit*). MCU je odgovoran **za sve zadatke** koji se postavljaju pred SČ-om i on mora direktno da učestvuje u svim tim zadacima. Kako MCU jedinice kod SČ-ova obično imaju **samo jedno jezgro** (*core*), ne postoji **moгуćnost podele tih poslova** tj. paralelno izvršavanje više nezavisnih zadataka.

5.1 Karakteristike senzorskog čvora

- 5. Redundantnost prikupljenih podataka** - često se dešava da više SČ-ova prikupljaju istu informaciju. Treba izbeći ovu situaciju softverskim rešenjima: **selekcija** i **agregacija** podataka i slanje **samo jedne poruke**. Problem **veličine payload data** u odnosu na ceo okvir **header+payload**
- 6. Hardverska raznolikost** – trend proizvodnje SČ-ova još uvek diktiraju različite aplikacije u kojima se oni koriste, tako da na tržištu imamo **veoma malo SČ-ova koju su opšte namene**. To podrazumeva jedan **visoki stepen softverske i hardverske kompatibilnosti** koji mora biti jako efikasan i jednostavan da bi **podmirio različite konfiguracije SČ**.
- 7. Programibilnost SČ** - Zbog česte promene konfiguracije SČ-ova u BSM potrebno je omogućiti i jednostavnu **promenu pojedinih programskih modula** u okviru aplikacije kako bi se postigla veća efikasnost. To sa jedne strane podrazumeva da postoji mogućnost da možemo **da menjamo programski kod aplikacije** koja se izvršava u SČ sa udaljenog mesta. Sa druge strane to **zahteva modularni koncept** aplikacije koja se izvršava na SČ kako se ne bi menjala cela aplikacija (**veća komunikacija i potrošnja**) već samo potreban tj. zahtevani modul

5.1 Karakteristike senzorskog čvora

8. Pouzdanost prikupljenih podataka – Standardne tehnike kojima podižemo pouzdanost pojedinih SČ-ova ovde nisu primenljive zbog limitiranih karakteristika BSM u pogledu računarske snage, memorije i potrošnje. Razvojem aplikacije koja će tolerisati otkaze pojedinih SČ i koja će samostalno moći da premosti taj nedostatak, podižemo pouzdanost podataka u okviru BSM na znatno viši nivo.
9. Mali gabarit - potrebno je da gabarit SČ-a bude što manji (nekoliko mm³), kako bi mogao da se primeni u velikom broju aplikacija. Ta minijaturizacija povlači za sobom i smanjene računarske i energetske kapacitete i to: manji kapacitet baterije, MCU lošijih performansi, manja veličina ROM i RAM memorije kao i RF manje snage.
10. Niska cena - SČ-ovi se obično raspoređuju u nepristupačnim sredinama, pa samim tim predstavljaju jedinice koje su za jednokratnu upotrebu. Takođe, postoji veliki broj SČ-ova koji se nikada ne aktiviraju kako zbog fizičkog defekta tako i zbog nemogućnosti komuniciranja sa susednim SČ-ima. Kako se jedna BSM sastoji od velikog broja SČ-ova (100-1000 SČ) pojedinačna cena svakog SČ-a mora imati malu cenu.

5.2 Senzorska jedinica

- Senzorska jedinica zadužena je za prikupljanje podataka iz prirode.
- Ona vrši očitavanje jednog ili više senzora koji su povezani na nju, i izvršava analogno/digitalnu konverziju očitanih signala.
- Sastoji se od dva podsistema: senzorskog (CCD kamera, mikofon ili skalarni senzor) i analogno/digitalnog konvertora (ADC).
- Senzorski deo je zadužen za neposredno prikupljanje fizičkih veličina i za njihovo pretvaranje u električne signale koje predaje ADC.
- Uloga ADC je da analogne signale, koji predstavljaju realan odraz posmatrane pojave, pretvori u digitalne signale i preda MCU jedinici.
- Postoji veoma veliki broj senzora koji se mogu podeliti prema veoma velikom broju različitih kriterijuma:
 - a) načinu rada i pouzdanosti,
 - b) vrsti ulaznog i izlaznog signala,
 - c) složenosti i ceni,
 - d) načinu i tačnosti merenja,
 - e) veličini i obliku,
 - f) potrošnje energije i td.

5.2 Senzorska jedinica

➤ Na osnovu njihove potrošnje, delimo ih u tri osnovne kategorije:

1. Neusmereni pasivni senzori (*Passive omnidirectional sensors*) – predstavljaju senzore koji su obično fiksirani i ne zahtevaju neke dodatne uslove da bi mogli da detektuju neku promenu. Aktiviraju se samo u trenutku promene nadgledane veličine i mnogi od ovih senzora i ne zahtevaju neku energiju za detektovanje promene već tu energiju uzimaju iz spoljne okoline. Tipični primeri ovakvih senzora su RFID senzori, toplotni, svetlosni, mikrofoni, hemijski, detektori dima i pritiska, detektori vlažnosti, potresa i td.

2. Usmereni pasivni senzori (*Passive narrow-beam sensors*) – predstavljaju pasivne senzore ali samo za jedan uzani deo unapred definisanog prostora koji nadgledaju. Tipičan primer je CCD kamera kod koje je potrebno dodatno podešavanje (usmeravanje), ako se želi promeniti ili proširiti prostor koji ona nadgleda.

3. Aktivni senzori (*Active sensors*) – senzori iz ove grupe konstantno nadgledaju pojavu i stalno generišu podatke o njoj. Tipični primeri su radar, sonar ili neki seizmički senzori.

5.2 Zadaci senzorske jedinice

- 1. Određivanje vrednosti parametara na datoj lokaciji** – najčešći zadatak koji većina senzora treba da obavi, a to je da prikupi tačne podatke o nadgledanoj pojavi: temperaturi, atmosferskom pritisku, vlažnosti vazduha, količini sunčeve svetlosti i td.
- 2. Detekcija nastanka nekog događaja ili promene u nadgledanoj lokaciji** – svakom senzoru može se postaviti neki prag vrednosti koji ako se prekorači treba da signalizira. Takođe, moguće je detektovati svaku promenu u vidu narušavanje nadgledanog prostora, pojave poplave, požara, vetra i td.
- 3. Određivanje nekog objekta koji je otkriven** – za neke aplikacije od osnovnog značaja je da se detektuje uzročnik neke promene (pokreta) u prostoru koji se nadgleda tj. da se otkrije da li je to životinja, čovek ili neki objekat kao i tip tog objekta.
- 4. Praćenje/nadgledanje objekta** – sa razvojem senzorske tehnologije (CCD kamere) i zahtevi koji se pred njom postavljaju postaju složeniji u pogledu neprekidnog praćenja nekog objekta. Na osnovu toga može se predvideti njegovo buduće ponašanje tj. pravac i brzina kretanja.

5.2.1 Potrošnja senzorske jedinice

- U BSM aplikacijama često se **zanemaruje potrošnja senzora** koja nekad može i **nekoliko puta da prevaziđe potrošnju** ostalih komponenti u SČ.
- Ona **nije zanemarljiva** jer se kreće od nekoliko **μW** pa do nekoliko **W**.
- Postoji nekoliko faza koje utiču na potrošnju energije u senzoru:
 - a) **njegova konverzija** iz fizičkog u električni domen,
 - b) **kondicioniranje signala**,
 - c) **uzorkovanje signala** i
 - d) **A/D konverzija signala**.
- **Sve ove faze** utiču na ukupnu potrošnju energije u senzorskoj jedinici i utiču kod izbora vrste senzora za SČ.
- Potrebno je uzeti u obzir i neke druge faktore kao: **gabarite senzora**, **način primene/montaže**, **kompatibilnost sa ostalim komponentama** i td.
- **Teško je definisati njihovu tipičnu potrošnju** zbog velike raznolikosti.
- **Pasivni senzori** kao što su temperaturni, svetlosni i senzori dodira troše **zanemarljivo malo energije** u poređenju sa ostalim komponentama SČ.
- **Aktivni senzori** (za merenje nivoa, pritiska, zagađenosti i senzori slike) imaju znatno duže vreme A/D konverzije, pa troše **znatno više energije** u odnosu na sve ostale komponente

5.2.1 Potrošnja senzorske jedinice

- **Brzina A/D konverzije** igra veliku ulogu u smanjivanju potrošnje.
- Kod bržeg A/D konvertora **vreme potrebno za akviziciju podataka** se smanjuje pa MCU može ranije da pređe u režim smanjene potrošnje.
- Potrošnja električne energije kod očitavanja senzora prvostepeno **zavisi od prirode aplikacije i vrste primenjenih senzora**.
- **Sporadično očitavanje** sigurno troši manje energije od **konstantnog**.
- **Uslovi u kojima SČ radi** takođe utiču na potrošnju, jer u otežanim uslovima očitavanja senzora sigurno je potrošnja veća.
- Ušteda električne energije u ovoj komponenti **direktno je povezana sa uštedom u A/D konvertoru** tj. na **primeni optimalnog algoritma očitavanja** koji smanjuje broj sukcesivnih koraka kod A/D konvertora.
- **Dva su bitna faktora** koja utiču na to: **funkcija uzorkovanja** koja predstavlja broj očitanih podataka sa senzora u jedinici vremena i **rezolucija senzora** koja predstavlja najmanju promenu koju senzor može da detektuje na merenoj veličini (definiše se brojem bitova za podatak)
- **Veći broj uzorkovanja** daje bolju vremensku rezoluciju očitavanja, pa je tačnost očitavanja veća, ali je zato i **potrošnja energije veća**.
- **Pravilnim podešavanjem vremena uzorkovanja** može znato uticati na smanjivanje potrošnje u senzorskoj komponenti.

5.2.1 Pregled senzora po njihovoj potrošnji

Tip senzora	Namena	Potrošnja [mW]
micro-potrošnja		
SFH 5711	Svetlost	0,09
DSW98A	Dim	0,108
SFH 7741	Prisustvo	0,21
SFH 7740	Optički prekidač	0,21
ISL29011	Svetlo	0,27
STCN75	Temperatura	0,4
mala-potrošnja		
TSL2550	Svetlo	1,155
ADXL202JE	Akcelerometar	2,4
SHT 11	Vlažnost/temperat.	2,75
MS55ER	Vazdušni pritisak	3
QST108KT6	Dodir	7
SG-LINK(1000Ω)	Naprezanje	9
srednja-potrošnja		
SG-LINK(350Ω)	Naprezanje	24
iMEMS	Akcelerometar	30
OV7649	CCD	44
2200-2600 Series	Pritisak	50
Velika-potrošnja		
TI50	Vlažnost	90
DDT-651	Detektor pokreta	150
EM-005	Prisustvo	180
BES 516-371-S49	Prisustvo	180
EZ/EV-18M	Prisustvo	195
GPS-9546	GPS	198
LUC-M10	Nivo	300
CP18,VL18,GM60	Prisustvo	350
TDA0161	Prisustvo	420
Veoma velika-potrošnja		
FCS-GL1/2A4-AP8X-H1141	Kontrola kretanja	1250
FCBEX11D	CCD	1900/2800
XC56BB	CCD	2200

5.3 Procesorska jedinica

- Procesorska jedinica se sastoji se od **mikroprocesora/mikrokontrolera** (MCU) sa odgovarajućom ROM i RAM memorijom.
- MCU predstavlja **osnovni deo svakog SČ-a** jer upravlja radom svih ostalih delova i koordinira njihov rad.
- Ona treba da **prikuplja podatke od skupa senzora, vrši obradu tih podataka, realizuje komunikacione protokole** u cilju ostvarivanja veze sa drugim elementima mreže, kao i da se stara o **efikasnjoj potrošnji energije u SČ-u**, upravljajući jedinicom za napajanje.
- Pred njom je sada veoma ozbiljan zadatak: da od velike količine podataka koji dolaze do nje, **izvrši njihovo ažuriranje (selekciju, agregaciju, njihovo sažimanje, kodovanje, šifrovanje i memorisanje)**, i da na osnovu toga izvrši **pripremu odgovarajućih paketa** za slanje.
- Kako ove tehnike pored procesorske snage zahtevaju i veću upotrebu memorijske jedinice, **neophodan je znatno složeniji sistemski softver-operativni sistem**, koji će uspešno rešiti sve ove zadatke.
- Procesorski podsistem odlikuju **veoma ograničeni resursi**: CPU snaga i količina memorije, koji **otežavaju uspešnu realizaciju ovih zadataka**.

5.1 Procesorska jedinica

- Postoji veoma **veliki broj različitih arhitektura** koje mogu da odgovore na ove zadatke i razlikuju se po **fleksibilnosti, performansama i cenama**
- Korišćenje **standarnih mikroprocesora**, koji se ugrađuju u deskop računare, su **neisplativi** pre svega zbog povećane energetske potrošnje.
- Preporuka je da se koriste mnogo **jednostavniji mikrokontroleri** pre svega zbog svoje velike fleksibilnosti u povezivanju sa ostalim uređajima (poput senzora) i njihove tipično **niske energetske potrošnje**.
- Većina ovih mikrokontrolera ima **ugrađenu RAM i flash ROM** memoriju, što omogućuje lako programiranje i izvršavanje aplikacija.
- Imaju **ugrađene serijske i paralelne interfejse**, brojačka kola, A/D kola i **skup instrukcija** pogodan za obradu signala u realnom vremenu.
- Sve to omogućuje sa jedne strane **manje gabarite SČ-a** i samim tim smanjenu energetske potrošnju, a sa druge strane **jednostavnu primenu u velikom broju aplikacija**.
- Posebna pogodnost ovih mikrokontrolera je njihova **spособnost da menjaju svom režim rada** a samim tim i potrebnu energiju za svoj rad.
- Treba pomenuti i jedan poseban vid **DSP (Digital Signal Processor)**

5.1 Procesorska jedinica

- Zadnjih godina još **jedno rešenje** za MCU sve više dolazi do izražaja.
- Radi se **specijalno namenjenim mikrokontrolerima** za određene aplikacije koji se dizajniraju prema unapred zadatim zahtevima.
- Dve tehnologije su tu došle do izražaja:
 - 1. FPGA** (*Field-Programmable Gate Array*)
 - 2. ASIC** (*Application Specific Integrated Circuit*).
- FPGA rešenje **omogućava reprogramiranje tj. rekonfigurisanje** u toku rada ali je cena dosta visoka u pogledu povećane potrošnje i brzine.
- ASIC rešenje predstavlja **specijalizovani CPU za određenu primenu** sa unapred **fiksiranim naredbama** pogodnim za obavljanje unapred definisane funkcije, što zahteva **znatno više ulaganja** u njihov razvoj.
- Ovo rešenje **nije fleksibilno** kao FPGA, ali je zato **energetski i vremenski opravdanije** i znatno pogodnije rešenje za procesorsku komponentu u SČ.
- SČ u BSM **retko kada imaju potrebu da menjaju svoje potrebe** u toku svog životnog veka a i veliki broj SČ-ova može da opravda ulaganja koje su potrebna kod ovog rešenja.

5.1 Procesorska jedinica

- Većina CPU jedinica u SČ-ima se realizuje sa **CMOS procesorima** koji rade na **niskim frekvencijama** između 1-32 kHz, pa do maksimalnih frekvencija koje se kreću do nekoliko **MHz na 1.8 V DC**, ili do **100 MHz na 5 V DC**, što u mnogome zavisi od primenjene tehnologije.
- MCU troši oko **1mA/MHz** dok samo oko **100µA na 32 kHz**.
- Međutim i ovako mala potrošnja je **dovoljna da ne može da se garantuje višegodišnji rad SČ** ako mikrokontroler radi neprekidno.
- Zato je potrebno da MCU **menja svoje režime rada** tj. da poseduje manje energetske zahtevne režime rada: **idle, sleep i stop** mode.
- Raniji MCU podrazumevali su da se **dovede poseban signal** na određeni ulaz u mikrokontroler koji bi ga prebacio u drugi režim rada.
- Današnji MCU zadržali su taj način ali poseduju i **programabilne vremenske tajmere** koji mogu samostalno da generišu signale za prebacivanje u različite režime rada.
- Ovaj način **omogućava** da mikrokontroler radi u **režimu smanjene potrošnje** energije skoro **99,9 %** a samo **0.1 %** u aktivnom režimu tj. režimu povećane potrošnje.

5.1 Tipovi MCU jedinica

CPU	Power supply [V]	Power Active[mW]	Powerdown [μ W]	Sensor Node
4-bit CPU				
EM6603	1,2-3,6	0,0054	0,3	
EM6605	1,8-5,5	0,012	0,9	
8-bit CPU				
ATtiny 261V/ 461V/861V	1,8-5,5	0,38mA@1,8V1MHz	*0,1	
PIC16F877	2-5,5	1,8	3	CIT
MC68HC05PV8A	3,3-5	4,4	485	
AT90LS8535	4-6	15	45	WeC, Rene
ATmega163L	2,7-5,5	15	3	Rene2, Dot
ATMega103L	2,7-3,6	15,5	60	Mica, IBadge
C8051F311	2,7-3,6	21	0,3	Parasitic
ATmega128L	2,7-5,5	26,7	83,15	Mica, Mica2Dot Mica2, BTnode
PIC18F452	2-5,5	40,2	24	EnOcean, TCM
80C51RD+	2,7-5,5	48	150	RFRAIN
16-bit CPU				
MSP430 F149	1,8-6	3	15	Eyes,BSN
MSP430F1611	1,8-3,6	3 / 1,5	15 / 6	Telos / SNoW5
MC68EZ326	3,3	60	60	SpotON
32-bit CPU				
AtmelAT91 ARM Thumb	2,7-3,6	114	480	
Intel PXA271	2,6-3,8	193	1800	iMote2
Intel StrongArm SA1100	3-3,6	230	25	WINS, μ AMPS

5.3.1 Potrošnja procesorske jedinice

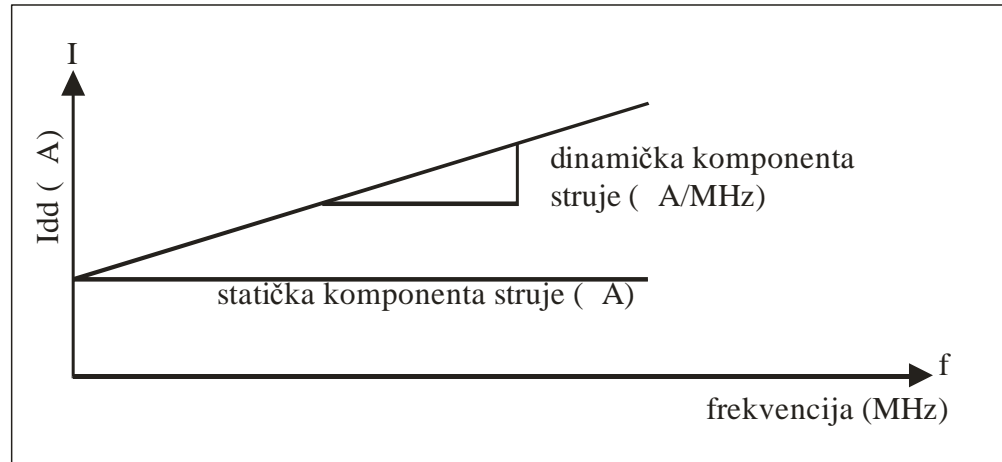
- Energija koja je potrebna da se **podaci obrade je znatno manja** nego što je potrebno da se oni pošalju.
- Približno se potroši ista energija za prenos **1kb** na rastojanju **100m**, kao za izvršavanje **3 miliona instrukcija na CPU** sa brzinom **100 MIPS**
- Međutim na ovom nivou moguće su **neke druge optimizacije potrošnje** el.energije koje su predmet istraživanja i one se odnose pre svega na: **DPM**(*Dynamic Power Management*) i **DVS**(*Dynamic Voltage Scaling*)
- **DPM** predstavlja jednu **strategiju upravljanja potrošnjom** električne energije za vreme dok SČ normalno radi.
- Ovde se pošlo od pretpostavke da **nije potrebno** da svi delovi jednog SČ rade pod punim opterećenjem u jednom trenutku.
- Na primer, dok senzorska jedinica vrši očitavanje senzora **moguće je isključiti jedinicu za komunikaciju** koja u tom trenutku nije potrebna.
- Primarna uloga operativnog sistema, koji **putem svojih polisa** ima odlučujuću ulogu u uključivanju i isključivanju pojedinih delova SČ.
- Dalji razvoj ove tehnike doveo je do pojave **DVS**, koja je omogućila **dinamičku promenu napajanja i frekvencije** na kojoj radi SČ.

5.3.1 Potrošnja procesorske jedinice

- Za sve poslove koje MCU obavlja **nisu uvek potrebni najoptimalniji uslovi za rad**, tj. velika brzina rada koja zahteva veću frekvenciju, veći napon napajanja a samim tim i veću potrošnju.
- **Dva su osnovna parametra** koja treba uzeti u obzir kod izbora MCU:
 1. **broj različitih režima rada** (*active*, *idle*, *sleep*, *stop*)
 2. odgovarajuća **potrošnja u tim režimima rada**.
- Većina SČ-ova implementirana je pomoću **CMOS tipa CPU** koji rade na veoma niskim frekvencijama od **1MHz do 32MHz** i naponima napajanja od **1,8V do 5V**.
- Potrošnja energije zavisi od stanja u kome se CPU jedinica nalazi i kreće se od nekoliko **μW** (stanje *sleep* i *idle*) pa do nekoliko **stotina mW** u aktivnom stanju.
- Tako, na primer, dva CPU koja se najviše ugrađuju u SČ-ima su:
 1. ATmega128L- potrošnja u režimu **idle/active**: **83,15μW / 26,7mW**
 2. MSP430 - potrošnja u režimu **idle/active** : **15 μW / 3 mW**

5.3.1 Potrošnja procesorske jedinice

- Potrebno istaći kako se menja potrošnja kod MCU u **zavisnosti od frekvencije na kojoj on radi.**
- Kod ranijih MCU (sa ROM memorijom) njihova potrošnja je **linearno zavisila od frekvencije.**



- Današnji MCU baziraju na **flash ROM sa dodatnim analognim kolima**
- Kod njih se struja u aktivnom modu sastoji od **dve komponente:**
 - 1. Statičke** - ne zavisi od radne frekvencije i ona se sastoji od: **struje potrebne za analogni deo, struje za flash modul i struje curenja.**
 - 2. Dinamičke** - obuhvata deo promene struje kada se menja radna frekven.
- Struja curenja **zavisi od tehnologije** proizvodnje samog MCU.
- Statička komponenta struje u aktivnom režimu rada može da bude i **do 10 puta veća od potrošnje** kada MCU radi u režimu smanjene potrošnje
- Poznato je da kako tehnologija proizvodnje peleta – litografija, napreduje (trenutno je 14 nm), **dinamička komponenta struje će se smanjivati**, ali će se zato **struja curenja povećavati**

5.4 Komunikaciona jedinica

- Uspešnost rada neke aplikacije u BSM u mnogome zavisi od pouzdane komunikacije između SČ-ova.
- U višeskokovitoj (*multi-hop*) topologiji BSM uspostavljaju se višestruke veze između SČ-ova koje se formiraju različitim kanalima putem radio, infracrvenih i mikrotalasnih talasa, putem optičke, ultrazvučne ili magnetno-induktivne veze.
- Svi ti kanali za povezivanje moraju biti dostupni svim SČ-ima kako bi se omogućila međusobna interoperabilnost i globalno funkcionisanje
- Zbog svojih karakteristika, pre svega jednostavnosti uspostave veze, prenos RF talasima ima višestruke prednosti u odnosu na ostale vidove
- On omogućuje uspostavu veze na relativno velikim rastojanjima, sa zadovoljavajućim brzinama prenosa podataka, imaju prihvatljiv procenat grešaka u prenosu, relativno mali utrošak energije i ne zahtevaju optičku međusobnu vidljivost predajnika i prijemnika.
- Zbog svih ovih prednosti, RF komunikacija je postala dominantni vid komunikacije između SČ-ova u BSM-a u okviru ISM područja

5.4 Komunikaciona jedinica

- Prednost ovog područja proizilazi iz činjenice da za njegovo korišćenje **nisu potrebne nikakve specijalne dozvole**, da omogućava **korišćenje širokog spektra frekvencija**, kao i njegova **dostupnost širom sveta**.
- Posebna pogodnost ovog područja je da ono **ne podleže nikakvim ranije definisanim preporukama i ograničenjima**.
- To daje slobodu za razvoj **novih energetske efikasnih protokola** u BSM
- Postoje i neke **loše posledice** jer su neke od ovih frekvencija **već zauzete od strane mobilnih operatera** ili uređaja povezanih u WLAN.
- Imamo veliki broj drugih uređaja koji svojom **komunikacijom ometaju rad BSM** i izazivaju veliki broj **interferencija i smetnji**.
- **Ograničenja u arhitekturi SČ** kao i kompromis koji je potrebno postići između **efikasnosti antene i energetske potrošnje SČ**, ograničilo je njegovu upotrebu u **UHF (Ultra-High Frequency)** području koji zauzima opseg od 300 MHz pa do 3 GHz.
- U arhitekturi prvih SČ-ova korišćeni su RF primopredajnici koji su radili na **433 MHz** ISM području, da bi kasnije prešli na **915 MHz**.
- Današnji SČ-ovi **većinom koriste 2.4 GHz ISM područje**

5.4 Komunikaciona jedinica

- Već je ranije napomenuto da je komunikacija između SČ jedan od **najvećih potrošača** električne energije u BSM
- Razlikujemo "korisnu" (***useful***) i "nekorisnu" (***wasteful***) energiju.
- Korisna energije se troši na zadatke koji moraju da se urade: **slanje i prijem podataka, obrada pročitanih podataka** sa senzora i **prosleđivanje podataka** zbog višeskokovite (*multi-hop*) topologije mreže.
- Nekorisno trošenje energije predstavlja **čisti gubitak energije** jer ona odlazi na neke zadatke koji ne donose neke rezultate, ali su **nephodni kako bi se održala ispravna komunikacija** između SČ-ova:
 1. **oslušivanje kanala**, kako kod prijema (***idle listening***) tako i kod predaje (***media access control***),
 2. dodatne **retransmisije paketa** (kada dođe do greške u prijemu paketa),
 3. predaja **većom snagom** od potrebne pa više SČ-ova nepotrebno prima duple informacije (***overhearing***),
 4. slanje **kontrolnih paketa/poruka** koje nisu uvek potrebne
 5. slanje podataka prema SČ-ima koji **nisu iz nekog razloga u mogućnosti da prime paket** (***over-emitting***) .

5.4 Komunikaciona jedinica

- Obično se koristi **polu-duplex** način komuniciranja jer je u bežičnim komunikacijama potpuno **neizvodljivo istovremeno slanje i primanje** podataka od različitih SČ-ova **na istom frekventnom opsegu**.
- Kod svih RF primopredajnika mogu se **prepoznati sledeći režimi rada**:
 - 1. Off** - nema nikakve potrošnje u SČ osim struje curenja, ali se zahteva duži vremenski period od nekoliko ms za povratak u radni režim.
 - 2. Sleep/Standby**-SČ se nalazi u režimu manje potrošnje ($100-300\mu\text{W}$) i može veoma brzo da pređe u neki od aktivnih režima rada. Postoji nekoliko različitih **Sleep** režima rada koji se razlikuju se po potrošnji energije, vremenskim periodima povratka kao i potrebne energije za to.
 - 3. Listen/Idle** - SČ se nalazi u stanju očekivanja da podaci stignu ali ne prima nikakve podatke. Tipična potrošnja kreće se od $9\text{mW} - 40\text{mW}$.
 - 4. Active Rx** - predstavlja slično stanje kao i *Listen* stanje, ali su aktivna sva dodatna kola za prijem podataka pa je potrošnja nešto povećana od prethodnog stanja i iznosi oko 50mW .
 - 5. Active Tx** - stanje slanja podataka u kome se uključuje RF pojačavač. Potrebna energije za slanje je oko 40mW za 0dBm Tx snage.

5.4 Komunikaciona jedinica

- **Pravilnim izborom režima rada** SČ može se znatno uštedeti energija
- Taj zadatak nije baš jednostavan, jer na ukupnu potrošnju energije u SČ-u **utiču mnogi parametri**, od kojih su mnogi **nedeterministički**.
- Ako potpuno ugasimo primopredajnik (imamo samo struje curenja), ponovno **njegovo aktiviranje** zahteva kompletnu **njegovu inicijalizaciju** kao i konfigurisanje za rad, što je vremenski zahtevan posao.
- Ako primopredajnik iz **aktivnog režima prelazi u neaktivni** (neki od *Sleep* režima rada), potrebna je **energija za pamćenje trenutnog stanja** komponentata koje se isključuju, kao i **dodatna energija i vreme za ponovno vraćanje** tih komponenta u aktivni režim rada.
- U zavisnosti od stanja komunikacija kao i vrste aplikacije **operativni softver** je zadužen za **izbor odgovarajućeg režima rada**.
- Dodatni problem je da svaka promena režima rada troši takođe deo energije **kako bi se uspostavilo radno stanje** primopredajnika

5.4 Komunikaciona jedinica

- Ovde treba istaći još jednu veoma bitnu karakteristiku komunikacione jedinice koja znatno utiče na povećanje potrošnje energije u SČ.
- Svaki SČ u BSM ima dvostruku ulogu u pogledu podataka koji stižu do njega, i ona zavisi od primljenih podataka koji mogu da budu:
 - 1. izvorni podaci:** primarna uloga svakog SČ je da prikuplja podatke
 - 2. prolazni podaci:** usmeravanje podataka dalje prema glavnom SČ
- Ova činjenica ima **jako pozitivne efekte** na potrošnju energije u BSM jer svaki SČ **ne mora da koristi max. snagu** na svom primopredajniku
- Međutim, ovakav način ima i **dosta loših posledica:**
 - 1. povećana potrošnja** u svakom SČ
 2. postoji velika opasnost da se **neka od tih ruta prekine** a samim tim i onemogućiti rad većeg broja SČ-ova, pošto se sada gotovo svi SČ-ovi nalaze u *nekim rutama koje prenose podatke od izvorišta do glavnog SČ – sink-a*
 - 3. povećani zahtevi za memorijom** u SČ za baferisanje podataka

5.4.1 Tehnologije prenosa

- **Izbor tehnika za prenos podataka** kao i uslovi koji u njemu vladaju, predstavljaju jedan od važnih faktora za uspešan rad aplikacije u BSM.
- ina današnjih hardver.arhitektura za SČ-ove je **zasnovano na RF**
- RF komunikacija prenosi elektromag.talase u opsegu **3Hz-300 GHz**.
- Zadnjih godina razvijene su mnoge nove tehnike :

1. Tehnika prenosa uskog spektra (*Narrow-Band*) – prvobitne arhitekture koje su primenjene kod SČ-ova koristile su ovu tehniku. **CC1000** (Mica2) radi na 433, 868 i 915 MHz, sa širinom opsega od 175 kHz i brzinom prenosa od 76 kbps.

2. Tehnika prenosa širokog spektra (*Spread-spectrum*)-tehnike za prenos podataka **ASK** (*Amplitude Shift Keying*) ili **FSK** (*Frequency Shift Keying*) nisu se pokazale kao rešenje u sredinama u kojima imamo puno smetnji pa su razvijeni uređaji koji rade u širokom RF spektru: standardne tehnike **FHSS** i **DSSS**. **FHSS se koristi kod Bluetooth standarda** a sa pojavom IEEE 802.15.4 standarda, **DSSS tehnika je postala de facto standard** za BSM - popularni **CC2420** čip (250kbps).

5.4.1 Tehnologije prenosa

3. Tehnika veoma širokog spektra UWB (Ultra Wideband)

- ✓ Prilično radikalna promena u odnosu na standardne bežične tehnike
- ✓ Ovde se koristi veliki propusni opseg za direktno slanje digitalne sekvence ali u vrlo kratkim vremenskim intervalima.
- ✓ Jako kratki impulsi zauzimaju veliki opseg od Hz pa do nekoliko GHz
- ✓ Neophodna je jako precizna vremenska sinhronizacija predajnog i prijemnog SČ, sa u od trilionitog dela sekunde (10^{-18} s).
- ✓ UWB komunikacija zasniva se na činjenici da se prenosom podataka na većem broju različitih frekvencija zahteva manje energije za prenos.
- ✓ Ovde je prosečna potrošnja energije oko 30mW, što je veoma blizu ZigBee (20-40mW) i manja od standarda 802.11g (500 mW-1W).
- ✓ Osnovne prednosti ove tehnike su: koristi širok spektar frekvencija, zbog kratkih rastojanja otporna na interferencije, troši vrlo malo energije, koristi se za prenos podataka na kratkim rastojanjima (2 do 10 metara), signal prolazi kroz prepreke kao što su zidovi, brzina prenosa podataka od 110Mbps na 10m, i sve do 500Mbps na 2m.

5.4.1 Tehnologije prenosa

4. *Signalni radio (wakeup radio)*

- ✓ Znatna količina energije se potroši dok se on **nalazi u prijem.režimu**
- ✓ U tom režimu rada RF primopredajnik **ne prima podatke** već samo **osluškuje kanal** kako bi mogao da detektuje i prihvati podatke
- ✓ Kako je period vremena koji primopredajnik provede na prijemu **znatno veći u odnosu na predajni režim rada**, sasvim je jasno da bi se velika količina energije uštedela ako se potrošnja energije u **prijemnom režimu smanji na najmanju meru**.
- ✓ Bilo bi optimalno da se omogući da prijemnik troši energiju **samo kada zaista prima podatke**.
- ✓ Da bi to ostvarili potrebno je da primopredajnik **poseduje posebnu infrastrukturu**, hardverske komponente, koje će omogućiti **da se ranije detektuje prenos podataka**.
- ✓ Zato je potrebno da se ranije, **posebnim signalom**, obavesti prijemnik, kako bi on imao **dovoljno vremena** da aktivira prijemni režim rada
- ✓ Takav kocept poznat je pod imenom signalni radio (*wakeup radio*) koji, da bi to obavio, troši **veoma malu količinu energije $< 1\mu\text{W}$**

5.4.2 Arhitektura komunik. jedinice

- Osnovni preduslov da bi SČ komunicirali treba da poseduju uređaj koji je u mogućnosti **da prihvati i pošalje podatke** tj. da ispuni dva zadatka:
 1. **da prihvati digitalne podatke** od MCU (niz bitova) i da ih konvertuje u odgovarajuće RF talase koje će putem antene proslediti u etar.
 2. **da putem antene prihvati RF talase** i iste konvertuje u digitalne podatke
- Uobičajeno je da se koristi **samo jedan uređaj - RF primopredajnik**.
- RF primopredajnik predstavlja komponentu koja **najviše troši energiju** za svoje funkcionisanje, za **dva reda veličine više od ostalih delova SČ**.
- RF primopredajnik (CC2420) se sastoji iz više delova:
 - **Predajnik**: konvertor digitalnog u analogni signal (DAC), mikser signala i nosioca, sintetizator nosioca, izlazni pojačavač (*Power Amplifier* - PA).
 - **Prijemnik**: niskošumni pojačavač (*Low Noise Amplifier*-LNA), mikser prijemnog signala i nosioca, sintetizator nosioca, pojačavač u osnovnom opsegu (*Baseband Amplifier*-BA), NF filter i anal./dig. konvertor-ADC
- U okviru primopredajnika imamo još **dve komponente: frekventni sintetizator** (*Frequency Synthesizer*) generiše određeni frekventni signal i elektronski prekidač preko koga se bira prijem ili predaja RF signala

5.1 Komunikaciona jedinica

<i>RF primopredajnik</i>	<i>RFM TR1000</i>	<i>Infineon TDA5250</i>	<i>TI CC 1000</i>	<i>TI CC 2420</i>	<i>Zeevo ZV 4002</i>
<i>Senzorski čvor</i>	Wec, Rene, Dot, Mica	Eyes IFX	Mica2Dor,M ica2,BTnode	MicaZ,SunSPOT, TelosB, Imote2	Imote BTnode
<i>Standard</i>	-	-	-	IEEE 802.15.4	Bluetooth
<i>Brzina [kbps]</i>	2.4-115.2	19.2	38.5	250	723.2
<i>Modulacija</i>	OOK/ASK	ASK/FSK	FSK	O-QPSK	FHSS-GFSK
<i>Frekvencija[MHz]</i>	916	868	315/433/868 /915	2400	2400
<i>Napajanje [V]</i>	2.7-3.5	2.1-5.5	2.1-3.6	2.1-3.6	0.85-3.3
<i>T_x max. [mA/dBm]</i>	12/-1	11.9/9	26.7/10	17.4/0	32/4
<i>T_x min. [mA/dBm]</i>	-	4.9/-22	5.3/-20	8.5/-25	-
<i>R_x [mA]</i>	1.8-4.5	8.6-9.5	7.4-9.6	18.8	32
<i>Sleep mode [μA]</i>	5	9	0.2-1	0.002	3300
<i>Inicijal.vreme[ms]</i>	12	0.77-1.43	1.5-5	0.3-0.6	-

5.4.3 Potrošnja komunik. jedinica

- Teško je definisati prosečnu potrošnju komunikacione komponente zbog vrste modulacione šeme, brzina prenosa, snage emitovanja i režima rada
- Sigurno da na ovom nivou SČ troši **najveći deo svoje energije**.
- Kod određivanja ukupne potrošnje treba pored aktivne potrošnje, uzeti u obzir i **inicijalnu potrošnju** (*start-up power*)
- Ta potrošnja **nije velika** ali ako se **šalju ili primaju mali paketi**, tako da se primopredajnik **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 danas radi.

$$P_c = N_T \left[P_T T_{ON} + T_{st} + P_{out} T_{ON} \right] + N_R \left[P_R R_{ON} + R_{st} \right]$$

$P_T(P_R)$ - potrošnja predajnika/prijemnika,

P_{out} - izlazna snaga predajnika,

$T_{ON}(R_{ON})$ - aktivno vreme predajnika/prijemnika,

$T_{st}(R_{st})$ - inicijalno vreme predajnika/prijemnika)

$N_T(N_R)$ broj uključenja/isključenja predajn./prijem.) u jedinici vremena.

5.1 Komunikaciona jedinica

Tip	Takt[MHz]	Rx snaga [mA]	Tx snaga [mA/dBm]	Struja gašenja [μ A]
RF primopredajnici male potrošnje (low-power)				
MPR300CB	916	1,8	12	1
SX1211	868-960	3	25/10	
TR1000	916	3,8	12/1,5	0,7
CC1000	315-915	9,6	16,5/10	1
RF primopredajnici srednje potrošnje (medium-power)				
nRF401	433-434	12	26/0	
CC2500	2400	12,8	21,6	
XE1205	433-915	14	33/5	0,2
CC1101	300-928	14,7	15	0,2
CC1010	315-915	16	34/0	0,2
CC2520	2400	18,5	17,4/0	<1
CC2420	2400	19,7	17,4/0	1
CC1020	402-915	19,9	19,9	0,2
CC2430	2400	19,9	19,9	
nRF2401	2400	22	10/0	0,4
CC2400	2400	24	19/0	1,5
CC2530F32	2400	24	29/1	
RC1180	868	24	37/0	
LMX3162	2450	27	50	
STD302N-R	869	28	46/0	
MC13191/92	2400	37	34/0	1
RF primopredajnici velike potrošnje (high-power)				
ZV4002	2400	65	65/0	140

Hvala na pažnji !!!



Pitanja

? ? ?