

# IV predavanje

## **1. Opšte karakteristike fizičkog sloja**

1.1 Izbor hardverskih komponenti

1.2 Osnovni principi primo-predaje podataka

1.3 Izbor parametara komunikacije

## **2. Principi postavljanja i organizovanja BSM**

2.1 Načini raspoređivanja senzorskih čvorova

2.2 Mrežne topologije BSM

2.3 Višestruki glavni SČ i njihova mobilnost

## **3. Standardi na fizičkom sloju**

# 4.1 Osnovne karakteristike fizičkog sloja

- Fizički sloj u BSM se **razlikuje po mnogim parametrima**:
  1. komunikacija na **malom rastojanju**,
  2. **uzak spektralni opseg**,
  3. veliki **periodi neaktivnosti** u odnosu na aktivne periode
  4. **ograničenja** za srednju i vršnu snagu.
- Fizički nivo predstavlja sloj koji je u komunikacijama zadužen za **pretvaranje niza bitova u odgovarajuće električne signale** koji će se putem bežičnog medijuma prenositi ili primiti od strane susednih SČ
- Ovaj nivo je odgovoran za:
  1. **Izbor odgovarajućeg radio kanala,**
  2. **generisanje signala nosioca,**
  3. **određivanje brzine prenosa podataka,**
  4. **detekciju prijemnog signala,**
  5. **tip modulacije,**
  6. **nivo predajne snage signala**
  7. **kodovanje/dekodovanje signala.**

# 4.1 Osnovne karakteristike fizičkog sloja

- Za potrebe rada BSM najčešće se koristi **ISM** (*Industrial, Scientific & Medical*) talasno područje sa centralnim učestanostima opsega vrednosti **433,92 MHz, 915 MHz i 2450 MHz**.
- Pouzdanost uspostavljanja veze zavisi i od **izbora hardverskih komponenti** od kojih je sastavljen SČ: mikrokontroler, RF primopredajnik, dodatna integrisana kola i od **usmerenosti antene**.
- Neke od karakteristika BSM-a, kao što su **lakoća raspoređivanja SČ-ova, samostalno formiranje i održavanje mreže SČ-ova** bez dodatne infrastrukture kao i **mogućnost broadcast komunikacije**, omogućavaju ovom nivou da **jednostavno reši zadatke** za koje je zadužen.
- Osnovni zahtev pri realizaciji fizičkog sloja u BSM je **ostvarivanje energetske efikasnosti** na nivou multifunkcionalne platforme SČ
- Međusobna komunikacija između SČ u okviru BSM obavlja se na **veoma malim rastojanjima** 10-50m
- **Multi-hop komunikacija**, uslovljena malim dometima i zahtevom da se sačuva energija, omogućava zaobilazanje prepreka, prevazilaženje problema fadinga usled *shadowing*-a i slabljenja pri prenosu.

# 4.1 Osnovne karakteristike fizičkog sloja

- Komunikacija se ostvaruje putem prenosa **kratkih paketa** (nekoliko B)
- **Ne zahtevaju se velike brzine** prenosa podataka.
- Pri prenosu tako kratkih poruka bilo da se prenos odvija na nivou bita, bajtova ili paketa, simboli potrebni za preambulu i sinhronizaciju, koji prethode svakom poslatom nizu bita, **čine značajan deo ukupno poslaih bitova**.
- Koliko bitova je potrebno za preambulu, a koliko za sinhronizaciju određuje nekoliko parametara: obično **vrsta modulacije i medijum**.
- Generalno, što je više simbola upotrebljeno za preambulu i sinhronizaciju, **može da se ostvari pouzdaniji prenos paketa**.
- IEEE 802.15.4 standard definiše dužinu preambule od **4 okteta (4B)**
- **Propagaciono slabljenje, fading i kapacitet kanala** ograničavaju pouzdanost prenosa,
- U nekim slučajevima ovi efekti **moгу se iskoristiti** za potrebe prostornog ponavljanja, upotrebe (*reuse*) istog radio kanala.

# 4.1 Osnovne karakteristike fizičkog sloja

- Postoje i neki problemi koji se javljaju u BSM a **naročito se ističu**:
  1. **ograničeni komunikacioni opseg** bežičnog kanala
  2. jako **nepouzidane komunikacije** između SČ-ova
- Sredina u kojoj SČ komuniciraju jako je podložna **veoma velikom broju grešaka** usled **interferencija, refleksija, rasejanja, difrakcije signala** kao i postojanja velikog broja različitih **asimetričnih veza**
- Pored svih ovih problema koje treba rešiti, verovatno je najbitnije da se **odluči za jačinu predajne snage** signala kojom se šalju podaci.
- Veći nivo predajne snage signala **nepotrebno troši više energije** a uz to i vrši nepotrebno **ometanje** mnogih SČ-ova iz okoline
- Smanjeni nivo predajne snage signala može da prouzrokuje **uzaludno slanje podataka**, jer susedni SČ-ovi neće primiti adekvatan nivo signala da bi ga detektovali i samim tim ispravno primili podatke.
- Iz teorije komunikacija je poznato da je min. izlazna snaga predajnog SČ-a, potrebna za prenos na rastojanju  $d$ , proporcionalna  $d^n$ ,  $2 < n < 6$ .
- Za BSM-e, gde su antene male i nalaze se bliže zemlji, taj koeficent je obično oko  **$n = 4$**

# 4.1 Osnovne karakteristike fizičkog sloja

- Ukoliko postoji dovoljna gustina SČ-ova, onda se višeskokovitom komunikacijom između SČ-ova, zbog manjih rastojanja tj. karćeg dometa, **efikasnije rešava ovaj problem.**
- **Dalji razvoj** BSM na ovom nivou podrazumeva:
  1. Dizajn **energetski efikasnih primopredajnika**
  2. Dizajn hardverskih komponenata koje **zahtevaju minimalnu potrošnju energije,**
  3. Razvoj alternativnih tehnologija za **dobijanje energije iz prirode**
  4. Razvoj **jednostavnih modulacija** za rad sa malom predajnom snagom
  5. Razvoj strategija za **prevazilaženje efekata propagacije**
  6. Nove strategije **upravljanja hardverom** radi postizanja energetske efikasnosti (DPM i DVS),
  7. Upravljanja **radnim učestanostima** (višekanalni rad)
  8. Smanjivanja utroška energije pri prelazu između **različitih modova** rada komponenti od kojih se sastoji SČ (*switching modes*).

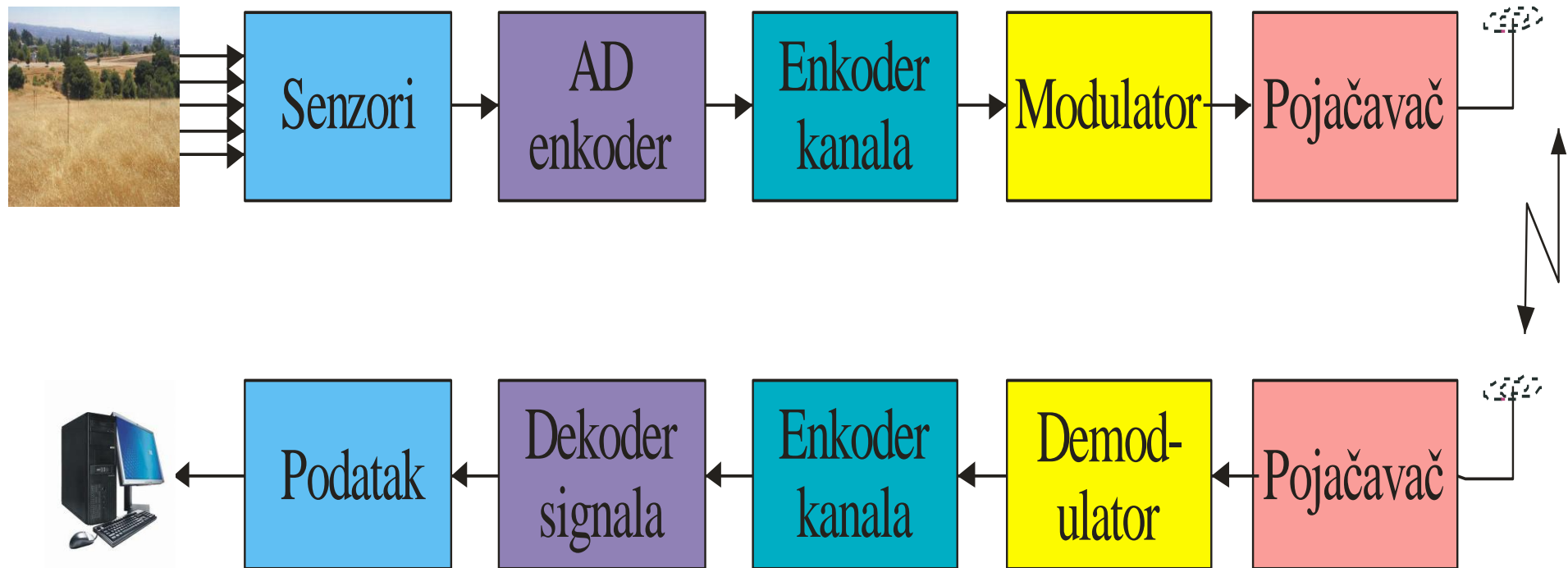
# 4.1.1 Izbor hardverskih komponenti

- Jedan od prvih zahteva koji treba ispuniti na ovom nivou je **pravilan izbor komponenata** od kojih se sastoji jedan SČ.
- Tu treba voditi računa o sledećem:
  1. birati komponente **sa malom potrošnjom** (*low powering components*)
  2. sa **višestrukim režimima rada** (*active, idle, sleep* ili *stop*)
  3. sa mogućnošću **dinamičkog upravljanja** njihovim radom.
- Ovde su razvijene mnoge tehnike za efikasno **korišćenje raspoložive energije** (*energy harvesting*) kao i za **sprečavanje nepotrebne potrošnje energije usled struja curenja** (*leakage current*) u SČ-u
- Da bi postigli **efikasno upravljanje potrošnjom** energije u SČ-u na ovom sloju, sa gledišta komponenti potrebno je da:
  1. Izabrati komponente **sa manjom potrošnjom** i više modova rada.
  2. Smanjiti **na minimum potrebnu energiju** za prenos podataka.
  3. Za sve procese koji se odvijaju u SČ treba pronaći **optimalnu brzinu i period izvršenja**.
  4. Komponente koje ne treba da budu operativne **treba isključiti**.



# 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

- Osnovne komponente jednog digitalnog komunikacionog sistema su **predajnik, kanal i prijemnik**.
- Kako se u jednoj BSM obično SČ raspoređuju na veoma kratkim rastojanjima (10-50m) jedan od drugog, od interesa je da se razmotre **tehnike prenosa signala na kratkim rastojanjima**.



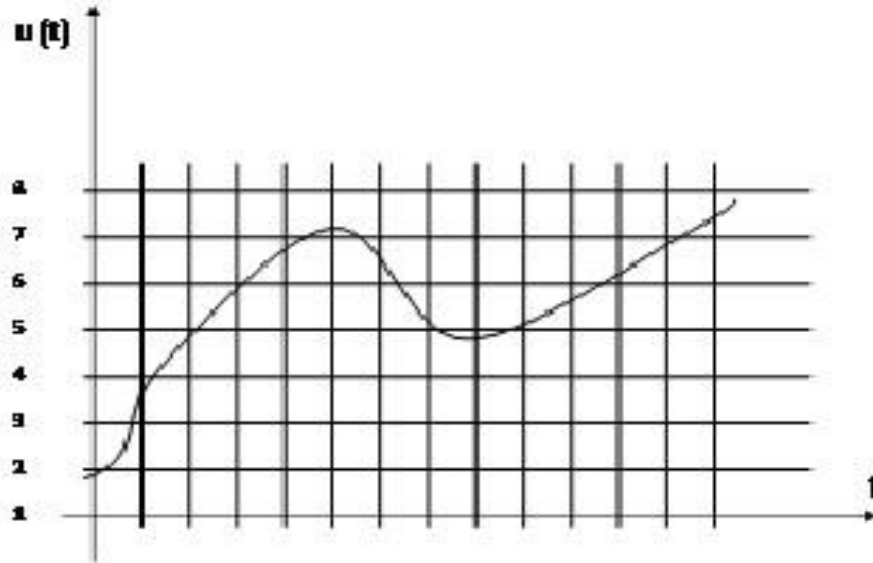


## 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

- Kao osnovni izvor podataka uzet je senzor koji detektuje neku promenu iz prirode i tu veličinu **linearno pretvara u napon ili struju**
- Vrednost napona ili struje je **kontinualna** (analogna) veličina koja se obično kreće u intervalima: **(0,10)V, (-5,+5)V, (0,100)mV ili (4,20) mA**
- Da bi taj analogni signal mogao da se vrednuje od strane procesora, potrebno je da se **konvertuje u diskretnu** (digitalnu) vrednost i to i po amplitudi i po vremenu.
- Analogno digitalna konverzija predstavlja **generisanje brojeva**, binarnih ili dekadnih, koji **odgovaraju analognom ulaznom signalu**.
- Elektronsko kolo koje vrši konverziju naziva se **analogno/digitalni konvertor**, ili skraćeno **AD enkoder**.
- Analogno digitalna konverzija se odvija u **tri koraka**:
  - 1. Odmeravanje,**
  - 2. Kvantizacija**
  - 3. Kodovanje.**

## 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

- Da bismo objasnili korake AD konverzije predstavimo analogni ulazni signal u **koordinatnom sistemu**



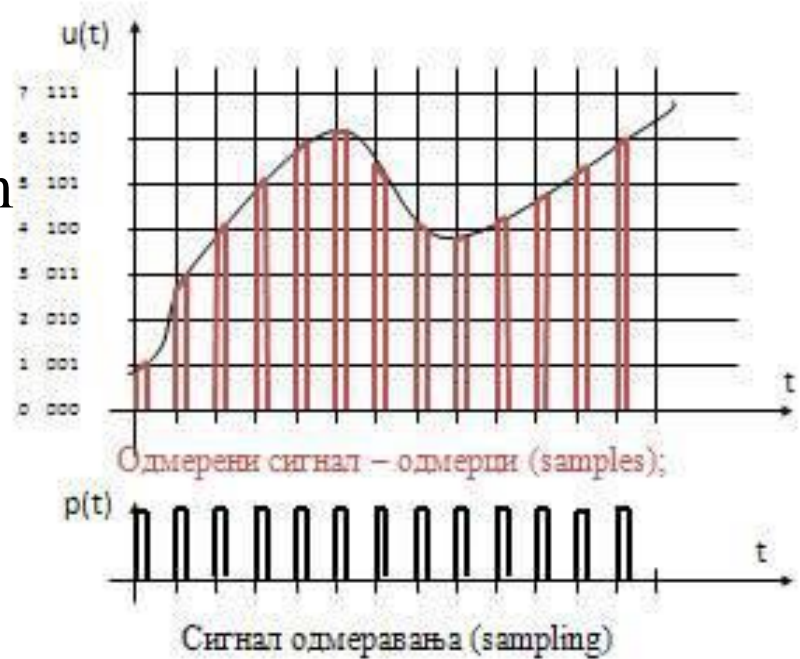
- Horizontalna osa **predstavlja vreme**, a vertikalna osa **napon koji se dobija** iz nekog senzora (npr. mikrofona koji pretvara zvuk u napon).
- Signal je **vremenski promenljiv**, postoji u svakom trenutku vremena i ima **promenljiv napon** koji može imati **bilo koju vrednost** iz ulaznog intervala.
- Dakle, analogni signal **ima beskonačno mnogo različitih vrednosti** i postoji u **beskonačno mnogo različitih trenutaka**.

# 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

## 1. Odmeravanje (*sampling*)

- Predstavlja proces **merenja ulaznog napona** u tačno određenim vremenskim trenucima.
- Vremenski trenuci odmeravanja određuju se **pomoću posebnog signala** koji predstavlja **periodičnu povorku kratkotrajnih naponskih impulsa** (*sampling*).
- Rezultat ovog procesa je **povorka impulsa promenljive veličine**, koji odgovaraju ulaznom signalu izmerenom u trenucima odmeravanja.
- Ovi impulsi nazivaju se **odmerci** (*samples*).
- Vremenski interval između dva uzimanja uzorka naziva se **perioda odmeravanja  $T_0$** , a frekvencija ili brzina odmeravanja može se izračunati po formuli:

$$f = \frac{1}{T_0}$$



## 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

- Kako se ne bi desilo da se neka informacija o analognom signalu izgubi **definisana je najmanja brzina odmeravanja** analognog signala
- Ta brzina poznata kao **Nyquist-ova brzina**.
- Prema Nyquist-ovoj teoriji **minimalna brzina uzorkovanja** treba da bude **dvostruko** a od širine opsega signala.
- Ukoliko je frekvencija odmeravanja dobro odabrana, odmerci **jednoznačno određuju originalni signal**.
- To znači da je posle odmeravanja moguće **u potpunosti rekonstruisati ulazni signal**.
- Frekvencija odmeravanja **zavisi od brzine promene ulaznog signala**.

### **Primer:**

*Signal sa sobnog termometra se veoma sporo menja, pa period odmeravanja može biti i **nekoliko minuta**, govorni signal izaziva brže promene napona (od **20Hz** do **4kHz**) pa se **odmeravanje vrši svakih **125μs****, a video signal ima još brže promene (do **5 MHz**), pa je prilikom digitalizovanja slike potrebno je **vršiti odmeravanje svakih **100ns****.*

# 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

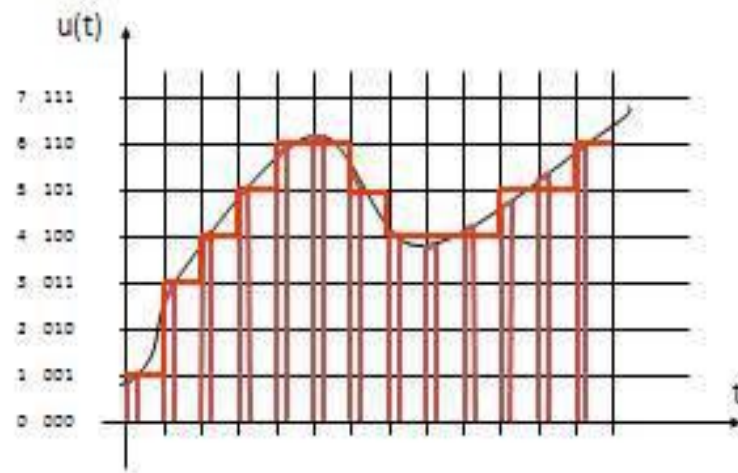
## 2. Kvantizacija (*quantization*) –

- predstavlja postupak kada se vrednosti odmeraka ulaznog signala **pretvaraju i odgovarajuće unapred definisane vrednosti signala**
- Kako se radi o analognom signalu to znači da, teorijski gledano, **postoji beskonačno mnogo različitih vrednosti.**
- Pošto digitalni merni instrument i računari skladište i obrađuju brojeve u binarnom obliku, pri pretvaranju je **uvek unapred određen broj bitova** unutar kojih se vrednost mora nalaziti (dužina binarne reči).
- Taj broj bitova određuje **ukupan broj mogućih različitih kombinacija** i svakoj kombinaciji odgovara **samo jedna vrednost** analognog signala.
- Veličina ovih delova naziva se **rezolucija analogno digitalnog** pretvaranja ili **korak kvantizacije**, obeležava se  $\Delta U$ .
- Što je **više bitova to je rezolucija finija** jer je broj diskretnih stanja veći
- Prilikom kvantizacije odmerene vrednosti **moгу da budu različite od raspoloživog seta** pa se zaokružuju na najbližu dozvoljenu vrednost
- Na primer, stvarna vrednost odmerka iznosi **4,3V** a dozvoljene vrednosti su celobrojne, **tada se izmerena vrednost zaokružuje na 4V.**

# 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

- Prilikom kvantizacije se **uvek pravi greška  $\varepsilon$** , čime se gubi podatak o tačnoj vrednosti odmerka.
- Greška kvantizacije je **odstupanje kvantovane vrednosti od stvarne vrednosti odmerka** i njena vrednost je:
- Zbog ove greške, nakon kvantizacije **nije moguće rekonstruisati originalni signal** pa je važno da AD konvertor ima **mali korak kvantizacije** odnosno finiju rezoluciju.

$$|\varepsilon| \leq \frac{\Delta U}{2}$$



Квантовани сигнал (quantized) – одмери заокружени на најближу вредност из скупа дискретних величина {0,1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,...};

- Odmeravanje i kvantizacija **su nezavisni procesi** i mogu se tokom AD konverzije odvijati proizvoljnim redosledom.



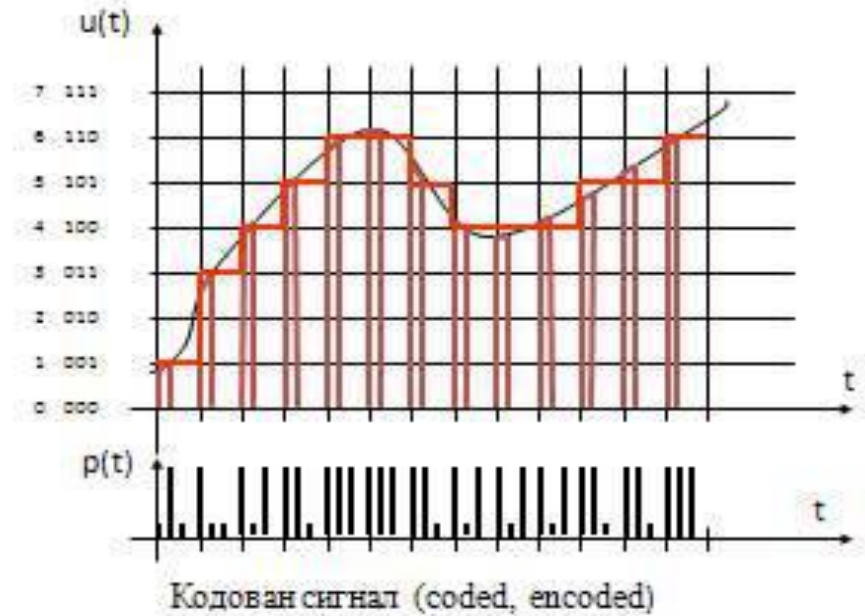
# 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

## 3. Kodovanje (*coding*)

- Prilikom kvantizacije odmerci su dobili samo „dozvoljene“ vrednosti iz skupa diskretnih veličina, ali oni i dalje predstavljaju napon (V ili mV) koji se ne može digitalno obrađivati.
- Kodovanje je proces u kojem se svakoj diskretnoj vrednosti napona dodeljuje jedna i samo jedna binarna reč.
- Komercijalni AD konvertori imaju kodne reči dužine 8 do 14 bita.
- Pošto svakom odmerku odgovara po jedna kodna reč konvertor treba u toku periode odmeravanja da odradi sva tri koraka i prosledi dobijenu kodnu reč na dalju obradu (memorisanje, prikazivanje, slanje i sl).
- Zato se kodne reči prikazuju binarnim signalom (viši 1 a niži 0).
- Važno je zapaziti da se u toku jedne periode odmeravanja (između dva odmerka) pojavljuje cela kodna reč.
- Da bi se zadovoljili različiti zahtevi za brzinom odmeravanja AD konvertori se dele u 3 grupe: spori, brzi i trenutni.
- U digitalnim instrumentima koriste se spori, a za obradu slike u TV prenosu trenutni konvertori.



# 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka



Редни број одмерка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вредност одмерка	1	3	4	5	6	6	5	4	4	4	5	5	6
Кодована вредност	001	011	100	101	110	110	101	100	100	100	101	101	110

➤ Na osnovu izloženog možemo napraviti formulu po kojoj ćemo odrediti korak kvantizacije AD konvertora.

➤ U svakom konkretnom slučaju AD konvertora poznato nam je:

- Interval u kome se mora nalaziti ulazni napon ( $U_{max}$ ,  $U_{min}$ )
- Dužina binarne reči (broj bita)  $n$  na izlazu konvertora
- Broj različitih binarnih reči dužine  $n$  je  $2^n$

➤ Korak kvantizacije se izračunava po formuli:

$$\Delta U = \frac{U_{max} - U_{min}}{2^n - 1}$$

## 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

- Nakon uzorkovanja, diskretni signal se **pretvara u binarni niz 1 i 0**.
- Ovaj process naziva se **izvorno kodiranje** (*source-coding*).
- Neophodno je sprovesti **efikasnu tehniku izvornog kodiranja** kako bi se zadovoljili zahtevi za odgovarajućim propusnim opsegom kanala i jačinom signalom.
- Jedan od načina da bi se to postiglo je **određivanje modela izvora informacija**, u kome će **dužina svakog informacionog simbola zavisiti od njegove pojave**.
- **Prvi** i korak je **kodiranje kanala** koje treba da omogući da signal **bude otporniji na smetnje i šum** prilikom njegovog slanja.
- Ovaj postupak omogućuje da ukoliko dođe do greške u signalu prilikom prenosa, da ona na prijemnoj strani **može da se detektuje** a u nekim slučajevima i **da se otkloni**.
- Postoje **dva osnovna pristupa** za izvorno kodiranje:
  1. da se **svi simboli prekodiraju** na unapred definisani način
  2. da se **pošalju dodatni (redundantni) kodovi** kao što je slučaj kod **CRC** ili **Haming-ovi kodovi**.

## 4.1.2 Osnovni princip primopredaje podataka

- Nakon kodiranja kanala, dolazi do **modulacije signala**
- Predstavlja proces **menjanja osnovne frekvencije signala** (*baseband*) u **odgovarajuću noseću frekvenciju** (*bandpass*) na kojoj se vrši emitovanje
- Modulacija je korisna za **prenos/primanje signala** sa **kratkim antenama**
- **K** a talasna dužina prenetog signala znači i **u dužinu antene**.
- **Modulisani signal se pojačava** kako bi mogao da dođe do prijemnika.
- Prenos se vrši tako što se **putem predajne antene** el.energija signala **konvertuje u elektromag. energiju** koja se u vidu talasa širi etrom.
- Prilikom prijema izvršava se obrnuti postupak
- Prijemna antena indukuje naponski signal koji je u idealnim uslovima **veoma sličan po obliku, frekvenciji i fazi** sa poslatim signalom.
- Zbog mnogih faktora bežičnog prenosa (šum, interferencija, slabljenje) **veličina i oblik prijemnog signala se razlikuje od predajnog signala**.
- Potrebno je da on prođe kroz **niz procesa pojačavanja i filtriranja**
- Vrš se **demodulisanje signala** tj. signal se vraća na **baseband signal**.
- **Baseband** signal se podvrgava **procesu oblikovanja impulsa** i **dve dodatne faze dekodiranja (kanal i izvor)** da bi se izvukla dig.sekvenca

# 4.1.3 Izbor parametara komunikacije

## *1. Predajna snaga primopredajnika*

- Nivo predajne snage signala koji SČ emituje drugim SČ-ima **može se kontrolisati** na nekoliko načina.
- Kod stacionarnih BSM se unapred podesi nivo predajne snage kojom se garantuju optimalne karakteristike veze sa energetske strane.
- Drugi princip koristi primopredajnik kod koga je moguće **dinamički podešavati nivo predajne snage** u toku samog rada SČ-a.
- Tu razlikujemo **dva pristupa** i to:
  1. podešavanje snage na **nivou SČ-a**, gde se svaki SČ u BSM-i unapred podesi **na jedinstveni nivo predajne snage**, koji važi za slanje podataka prema svim okolnim SČ-ima,
  2. podešavanje **na nivou linka** gde se nivo predajne snage signala podešava **za svaki SČ sa kojim se komunicira**.
- Imamo i inteligentne RF primopredajnike koji **imaju mogućnost da podešavaju nivoa predajne snage** i na osnovu karakteristika kanala
- Takvi primopredajnici uzimaju u obzir **slabljenje** i **nivo interferencije** u kanalu i shodno tim parametrima **dinamički menjaju nivo svoje snage**.

# 4.1.3 Izbor parametara komunikacije

## 2. Vrsta modulacije signala

- Izbor vrste modulacije signala ima značajnu ulogu kod uštede energije.
- Kako se u realnim komunikacionim vezama postoji unapred definisani skup modulacija, potrebno je samo izabrati odgovarajuću modulaciju iz tog skupa koja će dati najbolje rezultate sa energetskeg aspekta.

**1. MQAM** (*M-ary Quadrature Amplitude Modulation*) – moduliše dva analogna signala ili dva digitalna signala, promenom amplitude dve noseće frekvencije u digitalne modulacije **Amplitude-Shift Keying (ASK)** ili analogne **amplitudne modulacije (AM)**.

**2. MFSK** (*M-ary Frequency Shift Keying*) modulacijom - varijacija frekvencijskog pomeranja (**FSK**) koja koristi više od dve frekvencije.

- Na osnovu slabljenja kanala, može da se odredi optimalan broj bitova po simbolu tako da potrošnja energije po bitu bude minimalna.

➤ **MQAM** modulacija je znatno bolje rešenje za komunikaciju na kratkim rastojanjima, a MFSK daje bolje rezultate kod RF primopredajnika koji imaju ograničenu predajnu snagu.



# 4.1.3 Izbor parametara komunikacije

## 3. Izbor bitske brzine

- Brzina kojom RF šalje podatke također utiče na potrošnju energije.
- Kod QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) modulacije, ukupna potrošnja energije po bitu opada sa povećanjem brzine prenosa.
- Na osnovu toga, sa stanovništva potrošnje energije, preporučuje se da primopredajnik uvek koristi veću bitsku brzinu za prenos podataka.

## 4. Vrsta kodovanja

- Da bi se postigla veća verovatnoća uspešnog prenosa često se pribegava tehnikama koje dodaju kontrolne bitove u okviru podataka.
- To znači da će se veća količina bitova prenositi - veća potrošnja energije
- Dodavanje kontrolnih bitova smanjuju ponovno slanje (retransmisiju)
- Jedna od tehnika koja služi za detekciju i korekciju grešaka u bežičnom prenosu kod BSM je **FEC** (*Forward Error Correction*).
- Izborom FEC kodova povećava se verovatnoća uspešnog prenosa.
- U praksi se izbor odgovarajućeg FEC koda gotovo uvek vrši zajedno sa izborom optimalne modulacije i ta tehnika je poznata kao AMC (*Adaptive Modulation and Coding*).

# 4.1.3 Izbor parametara komunikacije

## 5. Optimalni uslovi kanala

- Osluškivanjem kanala za prenos podataka i određivanjem trenutka za slanjem podataka kada su **odnos signala i šuma** u predajnom kanalu najpovoljniji, **mogu se postići značajne uštede** u potrošnji energije SČ.
- Što je odnos povoljniji (**slabljenje kanala malo, nivo smetnji na prijemu je mali ili manje rastojanje**), potrebna je manja energija za prenos.
- Poznato je da se **slabljenje u kanalu menja vremenski i prostorno**.
- Kao posledica štednje energije u SČ-u javlja se **određeno kašnjenje** u prenosu podataka - **proteklo vreme u čekanju** na povoljne uslove

## 6. Višeskokoviti prenos

- Snaga signala **opada eksponencijalno** sa rastojanjem.
- Što su uslovi prostiranja signala lošiji to je i eksponent veći, tako da on **može da ide čak do broja 6**.
- Sasvim je logično da se **koriste mala rastojanja** kod slanja podataka.
- To zahteva angažovanje **većeg broja SČ-ova** - **multi-hop** prenos
- Pretpostavlja se da će SČ-ovi, koji **imaju RF male snage, manje potrošiti energije u  $n$  skokova**, nego jedan predajnik, za isto rastojanje.



# 4.1.3 Izbor parametara komunikacije

## 7. Verovatnoća greške

- Definiše se **za jedinicu podataka** u kojima se prenos odvija.
- Tako se kod prenosa bita koristi **BER** (*Bit Error Rate*), odnosno **PER** (*Packet Error Rate*) kod prenosa u paketima.
- **BER** predstavlja **odnos loše primljenih bitova u odnosu na poslate**.
- U bežičnom prenosu on se kreće od  $10^{-6}$  pa do  $10^{-3}$  i više.
- Vrednosti za PER u bežičnom prenosu **zavise od dužine paketa**.
- Vrednost **PER od 1%** za predviđenu **dužinu paketa od 100 bita** približno odgovara vrednosti **BER od  $10^{-4}$** .
- IEEE 802.15.4 standard definiše zahtevani PER **manji od 1%** za **prosečnu dužinu niza bita od 20 okteta**.
- Treba napomenuti još **neke dodatne mehanizme** koje pojedini RF primopredajnici poseduju kako bi **emitovali i primali niz bitova na što efikasniji način**.
- Većina ovih mehanizama se odnosi **na detekciju ili merenje nekih karakterističnih parametara** koji su vezani za komunikaciju u bežičnim medijumima.

## 4.1.3 Dodatni mehanizmi koji se koriste

- **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*) indikator snage pri. signala
- **CCA** (*Clear Channel Assessment*) - određuje da li je kanal slobodan;
- **LQI** (*Link Quality Indicator*) - daje podatak o kvalitetu linka;
- **PQI** (*Packet Quality Indicator*) i **PQT** (*Packet Quality Threshold*) daju podatak o kvalitetu primljenog paketa;
- **CS** (*Carrier Sense*), **CD** (*Carrier Detect*) i **CSI** (*Carrier Sense Indicator*)
- **FEC** (*Forward Error Correction*) - detekcija i korekcija grešaka
- **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*)-proveru ispravnosti primljenog niza;
- **FC** (*Frame Checksum*) - detektovanje ispravnosti prenetog okvira;
- **FEI** (*Frequency Error Indicator*) - detektovanje greške u frekvenciji;
- **Shock Burst** (*Nordic Semiconductor ASA Shock Burst TM*) je mehanizam za slanje niza bitova bez pravljenja pauza;
- **AFC** (*Automatic Frequency Control*)-automatska kontrola frekvencije;
- **AGC** (*Automatic Gain Control*) - automatska kontrola pojačanja;
- **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*);
- **MC** (*Multi Channel*) omogućuje prenos signala na više kanala;
- **ED** (*Energy Detection*) služi za detekciju energije.

## 4.2 Principi postavljanja i organizovanja BSM

- Postavljanje BSM, tj. SČ-ova može se posmatrati **sa nekoliko aspekata**:
  1. u odnosu na određeni **kontekst aplikacije i podataka** koje prikupljamo
  2. **vrstu i veličinu regiona** sa koga prikupljamo podatke
  3. **set bežičnih SČ** kojima raspolažemo.
- Možemo da kažemo da postavljanje SČ u posmatranom regionu se obavlja **u skladu sa planiranom primenom mreže**.
- Mreža SČ mora biti raspoređena i u vidu **dva glavna cilja**:
  - a. **pokrivenost terena**
  - b. **međusobna povezanost SČ**.
- Pokrivenost terena direktno je zavisna **od količine prikupljenih podataka** koju diktira kvalitet instalirane aplikacije u BSM.
- Međusobna povezanost SČ se odnosi **na izbor topologije mreže** koja treba da obezbedi nesmetani protok prikupljenih podataka između SČ.
- Na način raspoređivanja SČ utiču i drugi parametri, kao što su **cena SČ, njihova energetska ograničenja, robusnost SČ** i dr.
- Prilikom primene BSM moraju se **dati odgovori** i na nekoliko osnovnih pitanja:

## 4.2 Principi postavljanja i organizovanja BSM

1. Da li aplikacija zahteva **plansko tj. struktorno**, bilo ručno ili preko autonomnih robotskih SČ, ili **nasumično, proizvoljno** raspoređivanje?
2. Da li da se odmah u početku postavi **više redundantnih SČ** ili je zamena SČ koji su otkazali moguća i **kasnije tokom rada** same BSM ?
3. Koju tehniku (***sleep scheduling***) primeniti kod **povremenog uključivanja/isključivanja** SČ kako bi se produžio životni vek BSM?
4. Koju **mrežnu topologiju** izabrati za primenjenu aplikaciju?
5. Koje **nivo QoS** (*Quality of Service*) je poželjan za našu aplikaciju?
6. Da li su svi SČ **istog tipa** ili su **različiti** po količini i jačina resursa?
7. Kakva je **vrsta podataka** koje želimo da dobijemo iz nadgledane sredine/regiona?
8. Da li je dovoljno da podatak javi **samo jedan SČ** ili **veći broj SČ**?
9. Da li je bitna **vrednost tog podatka** ili je samo potrebno da se javi kada se **pređe neka unapred definisana granica** vrednosti tog podatka?

## 4.2 Način raspoređivanja SČ-ova

- Senzorski elementi mreže postavljaju se u nadgedanom regionu, putem **slučajnog** ili **planskog** raspoređivanja.
- Tipičan primer slučajnog postavljanja SČ predstavlja **rasipanje velikog broja malih, potrošnih SČ** korišćenjem aviona, dronova ili vozila.
- U ovom slučaju, najčešće se pretpostavlja da se radi o **homogenim SČ**.
- Plansko raspoređivanje SČ pretpostavlja da se SČ **ručno postavljaju** prema **unapred isplaniranom rasporedu** na tačno određenim lokacijama
- Tipične primene sa planskim postavljanjem SČ su **nadgledanje saobraćaja, objekata**(mostovi,tuneli), **industrijske i sigurnosne** primene
- **Bez obzira na raspoređivanje** mrežna povezanost SČ-ova može se uvek promeniti i prilagoditi u **zavisnosti od potrošnje energije** SČ u BSM.
- U oba slučaja, **cena i dostupnost SČ** često e biti **značajno ograničenje** kod izbora načina raspoređivanja.

### Primer:

1. Postavljanje glavnog SČ(*sink/gateway*) na fiksnu lokaciju.
2. Postavljanje SČ na unapred određenim kritičnim tačkama
3. Moguće je da se naknadno dodaju novi SČ kako bi obezbedili veze

## 4.2 Način raspoređivanja SČ-ova

- Problemi mogu da se jave već pod stavkom 2. ako **nije jasno gde tačno treba izvršiti očitavanje podataka** tj. gde postaviti SČ-ove
- Dodavanje SČ koji treba da obezbede sigurnu komunikaciju između SČ-ova takođe može biti ozbiljan problem, posebno **kada postoje ograničenja u vidu mogućnosti gde se SČ-ovi postavljaju**
- Ako je broj raspoloživih SČ-ova **mali** za pokrivanje regiona koji se **posmatra ili potrebnu gustinu**, mora se **uspostaviti ravnoteža** između SČ koji detektuju promene i SČ koji obezbeđuju siguran link.
- Proizvoljno postavljanje SČ-ova može biti još izazovnije u nekim situacijama, pošto **ne postoji način da se SČ-ovi postave na unapred određenoj lokaciji** koja se želi.
- Zbog toga su **potrebni dodatni mehanizmi** koji treba da omoguće naknadnu **samostalnu konstrukciju konfiguracije** SČ-ova koja je neophodna za **dobijanje željene pokrivenosti i povezanosti** SČ-ova.
- U slučaju slučajnog raspoređivanja SČ-ova jedini parametri koji se mogu kontrolisati su **broj raspoređenih SČ-ova** i **njihova snaga emitovanja** kako bi se obezbedilo da SČ-ovi mogu da komuniciraju.

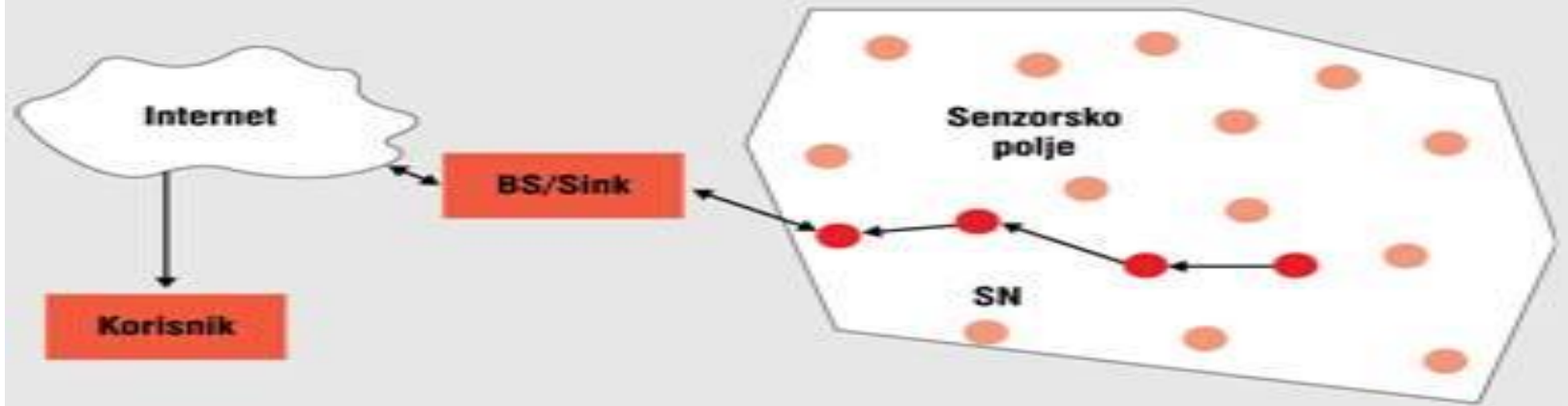


# 4.2 Mrežne topologije u BSM

- Nakon postavljanja SČ u okviru nadgledanog regiona, neophodno je da se **uspostavi i organizuje rad** bežične telekomunikacione mreže.
- Organizacija BSM obavlja se na način koji je tipičan za **ad-hoc** mreže
- Postupak je **potpuno samostalan** jer se SČ međusobno dogovaraju
- Nakon uspostavljanja bežične povezanost SČ u mreži, korisnik mreže BSM aplikacije **ostvaruje kontrolu rada, reorganizuje i upravlja mrežom**, kao i **ostvaruje postavljene funkcije** prikupljanja podataka.
- Može se smatrati da, nakon postavljanja, SČ **funkcionišu potpuno autonomno**, bez održavanja i mogućnosti dopune energije.
- U posebnom slučaju, naročito kada se **koriste složeniji i skuplji SČ**, i kada se vrši plansko postavljanje mreže, moguće je održavanje SČ uz **obnavljanje izvora napajanja ili korišćenjem alternativnih napajanja**
- Kada veći broj SČ jednog dela ili celokupnog senzorskog polja ostane bez energije, **preostali SČ u BSM ostaju bez mogućnosti komunikacije**.
- U tom slučaju, deo ili cela mreža **gube konektivnost**, pa je neizbežno da dođe **do promene topologije BSM** kako bi ona nastavila da radi
- U najgorem slučaju može doći i **do prestanka funkcionisanja** cele BSM



## 4.2 Principi postavljanja i organizovanja BSM

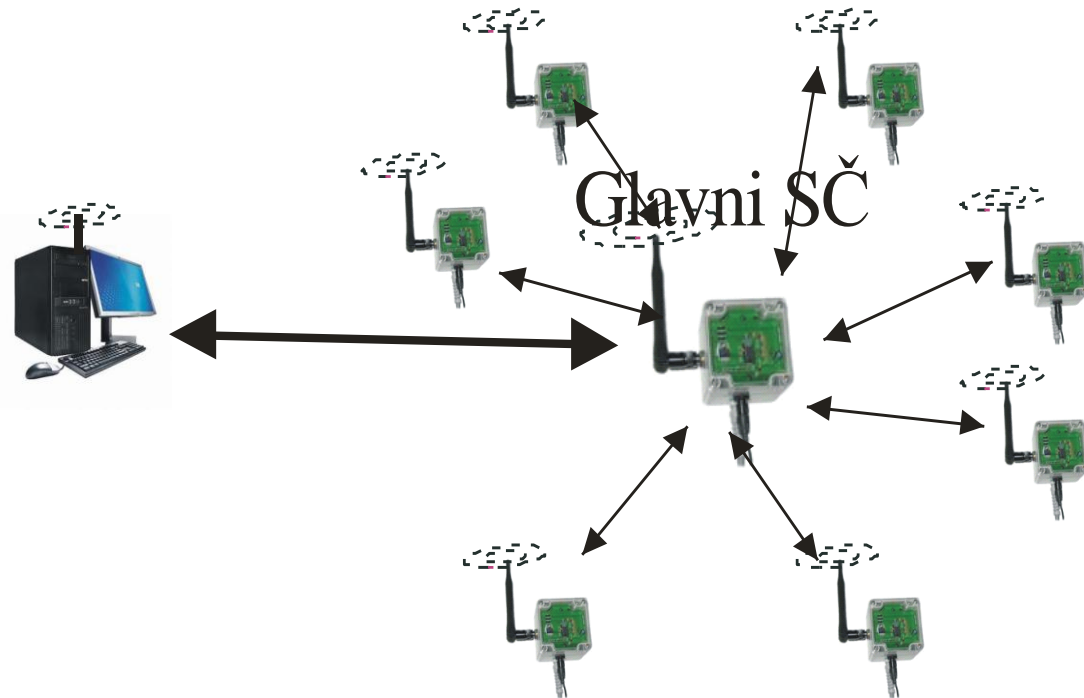


- Bežični interfejs **omogućava međusobnu komunikaciju** između SČ
- Svaki SČ u okviru mreže ima **dvostruku funkciju**:
  - 1. prikupljanje podataka**
  - 2. rutiranje paketa**
- Korisnik pristupa resursima BSM korišćenjem **glavnog SČ**, najčešće lociranog u **blizini ili unutar nadgledanog regiona**.
- Podaci prikupljeni od strane SČ prosleđuju se ka glavnom SČ preko više SČ, odnosno rutiraju se korišćenjem **ad-hoc multi-hop mreže**
- Glavni SČ je **složeniji od SČ koji neposredno prikuplja podatke**, većih je dimenzija i poseduje veće mogućnosti obrade podataka.
- Mrežna struktura BSM **nije ograničena** na samo jedan dizajn već se dizajnerima nude nekoliko različitih rešenja.

# 4.2 Jednostruka zvezda (*single-hop star*)

- Predstavlja **najjednostavniju topologiju** BSM koja se koristi.
- U ovoj topologiji, **svaki SČ komunicira direktno** sa glavnim SČ (*sink/gateway*).
- Realizacija ove topologije može izuzetno pojednostaviti dizajn BSM aplikacije, jer se problemi vezani za umrežavanje SČ **smanjuju na minimum**.
- Međutim ova topologija ima i **svoje nedostatke** koji se ogledaju u **slaboj skalabilnosti i robusnosti** mreže.
- Na primer, u im područjima, čvorovi koji su udaljeni od glavnog SČ e **imati jako slab kvalitet veze** sa glavnim SČ.

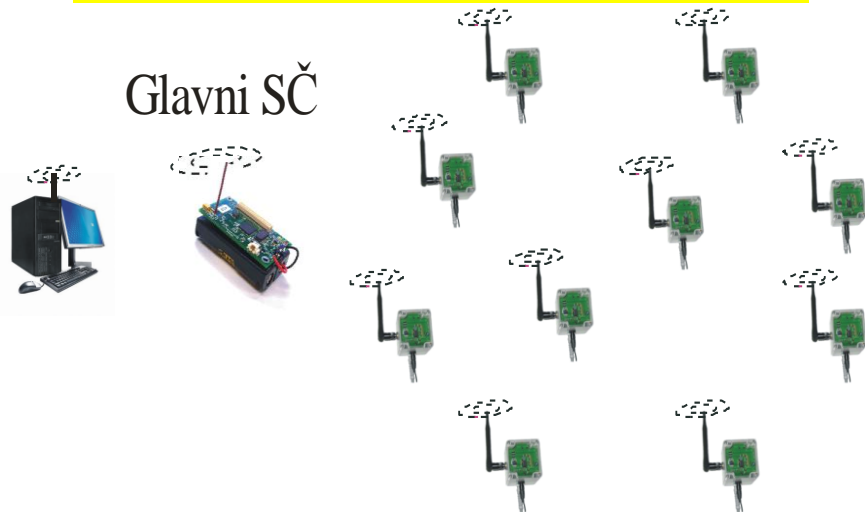
Single hop star topologija



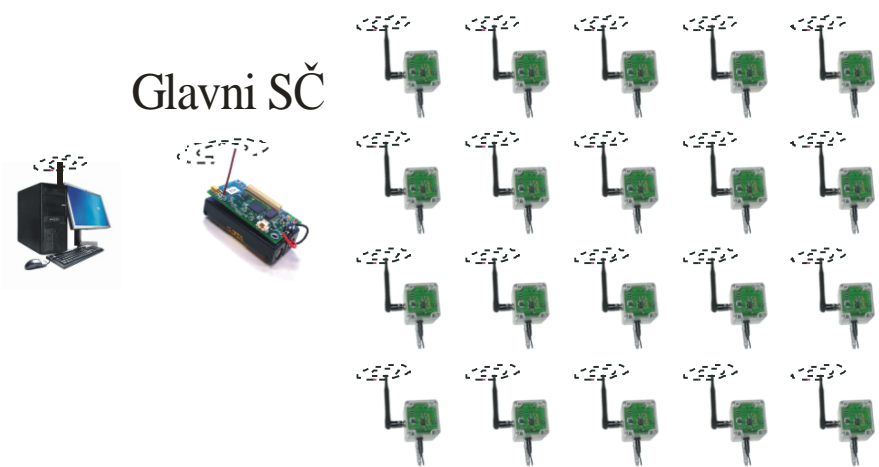
## 4.2 Višeskokovita (*multi-hop*) i *grid* topologija

- Kod pokrivanja njih površina nadgledanja kao i kod većih rastojanja neophodno je **primeniti višeskokovitu topologiju mreže**.
- Kod ove topologije, podaci se prenose sa SČ na SČ dok oni ne dođu do **glavnog SČ** (*sink/gateway*).
- Usmeravanja podataka određuje se **određenim protokolom rutiranja**.
- U zavisnosti da li su SČ u BSM planski ili nasumično raspoređeni, **a topologija može biti:**

Nasumično raspoređivanje  
Multi-hop topologija



Planski raspoređivanje  
Mrežna (*grid*) topologija



## 4.2 Hijerarhijski *klaster* (*Hierarchical cluster*)

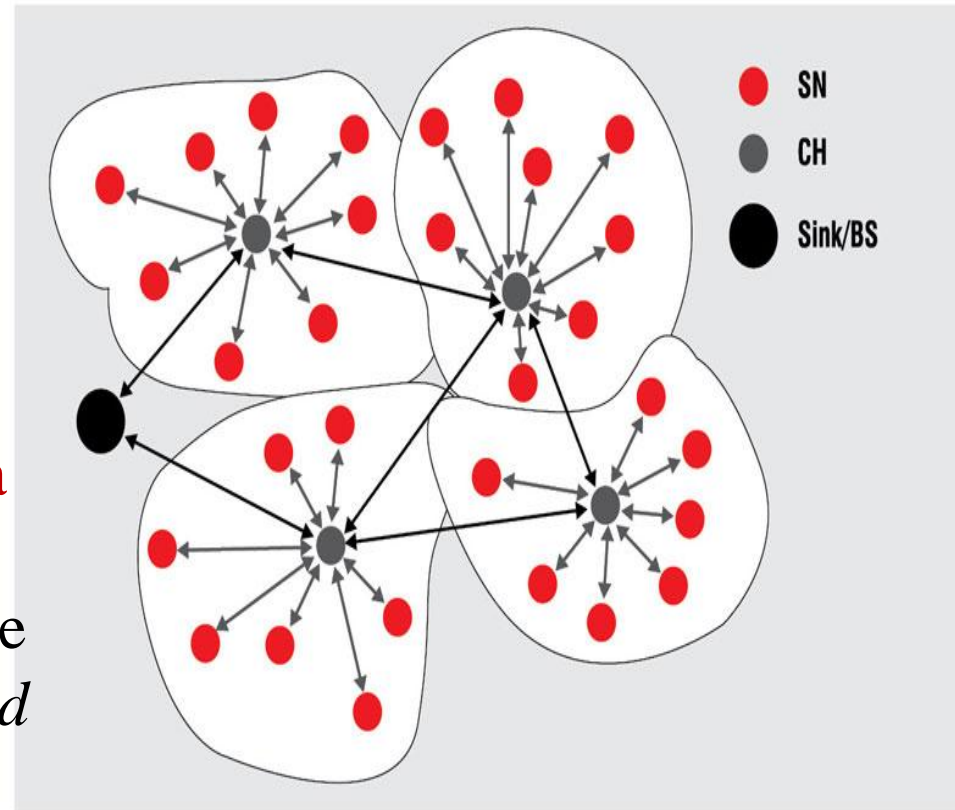
- U mnogim aplikacijama BSM nije neophodno da svi SČ u mreži, ili SČ koji pripadaju nekom delu BSM, pošalju zahtevane podatke
- U tom slučaju dovoljno je, a **sa gledišta smanjivanja saobraćaja** a samim tim i **potrošnje električne energije** jako poželjno, da se pošalje zajednička informacija na osnovu kombinovanja podataka sa više SČ.
- Jedan od načina na koji se to može izvršiti je udruživanje SČ u klastere
- Klaster čine: SČ koji preuzima ulogu koordinatora klastera kome pripada (**Cluster Head**) i ostalih SČ koji komuniciraju samo sa njim
- CH koordiniše komunikaciju, prikupljanje i agregaciju podataka.
- U formiranoj dvoslojnoj hijerarhijskoj arhitekturi, viši sloj čini skup svih CH koordinatora koji međusobno komuniciraju i obavljaju rutiranje podataka/paketa od i ka glavnom SČ.
- Niži sloj čine SČ u okviru jednog klastera, koji imaju mogućnost međusobne komunikacije.
- Izbor CH koordinatora obavlja se na osnovu kriterijuma kao što su **što manja potrošnja el.energije, posmatrane primene BSM, smanjivanje saobraćaja između SČ** kao i **prilagođenje efikasnog rutiranja podataka.**

## 4.2 Hijerarhijski *klaster* (*Hierarchical cluster*)

- Radi ravnomernog raspoređivanja potrošnje energije SČ u klasteru, obavlja se **periodična promena SČ** koji ima ulogu **CH** koordinatora.
- U skladu sa promenama topologije mreže i prirode saobraćaja u mreži, moguće je obavljati **rekonfiguraciju klastera**, primenom protokola.

### Prednosti formiranja klastera:

- olakšava **agregaciju** podataka,
- povećava **energetska efikasnost**
- smanjuje se **zauzetost kanala** veze
- **manja verovatnoća** za koliziju
- povećava se **kapacitet mreže**
- povećava se **skalabilnost protokola**
- olakšava **proces rutiranja**,
- **jednostavnije održavanje** topologije
- **smanjivanje protokolskog overhead**
- **jednostavnije upravljanje** mrežom.



- Klasterizacija se obavlja **primenom MAC** (*Medium Access Control*) protokola i protokola rutiranja.



## 4.2 Principi postavljanja i organizovanja BSM

- Predstavlja **u topologiju** koja se sreće kod realizacije BSM.
- U ovoj topologiji, SČ unutar određenog dela nadgledanog regiona prenosi svoje podatke **CH čvoru**.
- Ovaj CH posebno formira mrežu sa drugim CH čvorovima koji pokrivaju različite delove nadgledanog regiona.
- Ova topologija može se opciono **hijerarhijski proširiti** tako što će svi CH čvorovi biti delovi novog klastera gde će slati podatke prema **nadređenom novom CH čvoru** koji je hijerarhijski iznad njih i koji takođe formiraju svoju mrežu sa CH čvorovima sa svog nivoa, i td.
- To sve može da ide dok svi prikupljeni podaci **ne dođu do glavnog SČ** koji će te podatke preneti do krajnjeg korisnika aplikacije.
- Prednost ove hijerarhijske strukture je što deli BSM u nekoliko manjih zona unutar kojih se **rutiranje podataka može vršiti lokalno**.
- CH čvorovi mogu takođe biti sa **znatno jačim resursima** u pogledu izračunavanja, komunikacije ili mogu biti povezani preko žičane mreže.
- Time se **ava brzina prenosa, pouzdanost i dostupnost podataka** koji se sakupljaju.

## 4.2 Modifikovana osnovna arhitektura BSM

- Dodavanjem posebnih elemenata mreže, releja (*Relay Node*, RN), koji ostvaruju samo funkciju komunikacije, može se **formirati specifičan tip** hijerarhijske arhitekture **BSM**
- RN, u poređenju sa SČ, imaju **znatno veću rezervu energije**, ili obnovljive izvore energije, **znatno veću procesorsku snagu** i bolje karakteristike bežičnog interfejsa.
- RN releji se **planski razmeštaju** i mogu da preuzmu ulogu CH koordinatora u klasterizovanoj arhitekturi **BSM**.
- Drugi način primene RN je podela **BSM** na **senzorski** i **komunikacioni** sloj bez klasterizacije.
- Senzorski sloj, koji čine svi SČ, **obavlja prikupljanje informacija** iz okruženja i njihovo dostavljanje ka RN.
- Komunikacioni sloj čini skup RN, koji **formiraju *multi-hop* BSM** mrežu preko koje se odvija komunikacija SČ i Sink/BS.
- Primenom RN ostvaruju se **poboljšanja** slična onima u klasterizovanoj **BSM** arhitekturi, uz **produžavanje životnog veka mreže**, na račun **povećanja troškova realizacije**.

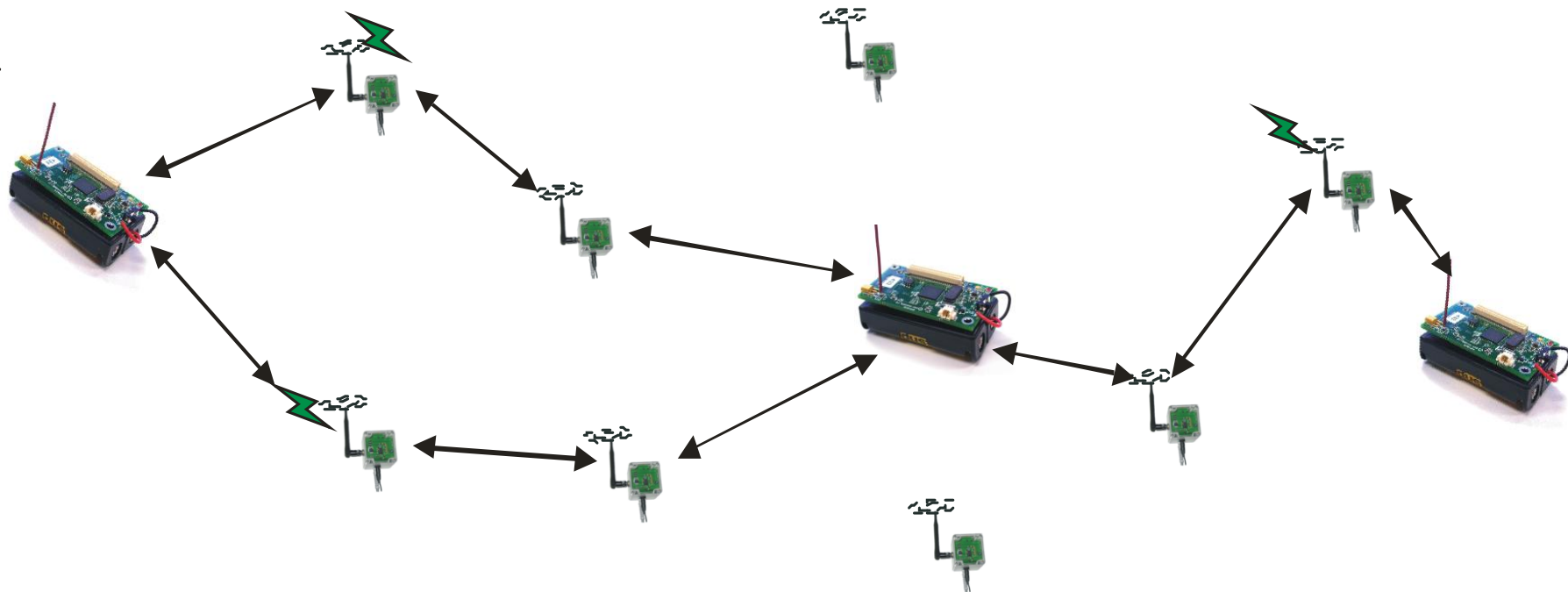


## 4.2 Modifikovana osnovna arhitektura BSM

- Još jedan predloženi koncept realizacije **BSM** sastoji se u korišćenju složenih platformi, kolociranih sa Sink/BS, koje imaju mogućnost primene *beam-forming* tehnika.
- Realizacijom lokalizacije i vremenske sinhronizacije primenom *beam-forming* tehnika, moguće je ostvariti prostornu segmentaciju mreže.
- Primenom razvijenog protokola, ostvaruje se centralizovana kontrola rutiranja, upravljanja energijom i zadavanja senzorskih zadataka.
- Osnovna prednost ovakvog koncepta je smanjivanje uloge SČ pri realizaciji mrežnih protokola, odnosno korišćenje jednostavnijih senzorskih platformi za ostvarivanje funkcija **BSM**, čime se smanjuje cena SČ, kao i potrošnja energije.
- Obe opisane modifikacije se zasnivaju na uvođenju dodatne infrastrukture za organizovanje **BSM**, tj. odustaje se od koncepta *ad-hoc* **BSM** mreže.

# 4.2 Višestruki glavni SČ (sinks)

- Prikazane su topologije koje su sadržale samo **jedan glavni SČ** koji je bio stacioniran i koji je prikupljao podatke **samo iz jednog izvora**
- U BSM u mnogim slučajevima, postoje **više izvora podataka** i/ili **više glavnih SČ** koji prikupljaju ili dobijaju te podatke.
- U najopštijem slučaju, višestruki izvori podataka treba da šalju informacije **ka više glavnih SČ**, gde sve ili samo neke informacije stižu do jednog ili više glavnih SČ-a.



# 4.2 Mobilnost SČ u BSM

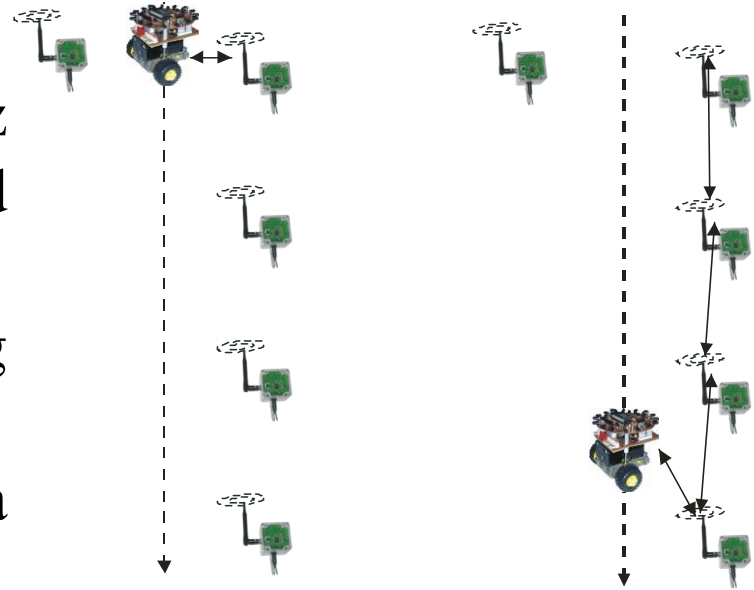
## 1. Mobilnost čvora

- Predstavlja formu kod koje sami SČ u mreži imaju **moгуćnost kretanja** tj. promene svoje pozicije u okviru nadgledanog regiona.
- Način kako SČ menjaju svoju poziciju kao i razdaljine koje prelaze veoma je **zavisna od tipa aplikacije**.
- U aplikacijama kao što je kontrola životne sredine, SČ poseduje **posrednu mobilnost** jer se mobilnost postiže tako što se SČ postavljaju na životinjama koje se kreću širom nadgledanog regiona, i tako menjaju poziciju sa koje SČ prikuplja podatke.
- Sa obzirom na pokretljivost SČ, imamo topologiju mreže koja se **dinamički menja**, pa se iz tog razloga, mreža mora **često reorganizovati**
- Mora da postoji **kompromis** između **frekvencije i brzine menjanja pozicija SČ-a** u mreži sa jedne strane i **utrošene el.energije** koja je potrebna za održavanje željenog nivoa funkcionalnosti u mreži sa druge strane.

# 4.2 Mobilnost SČ u BSM

## 2. Pokretljivost glavnog SČ(sink)

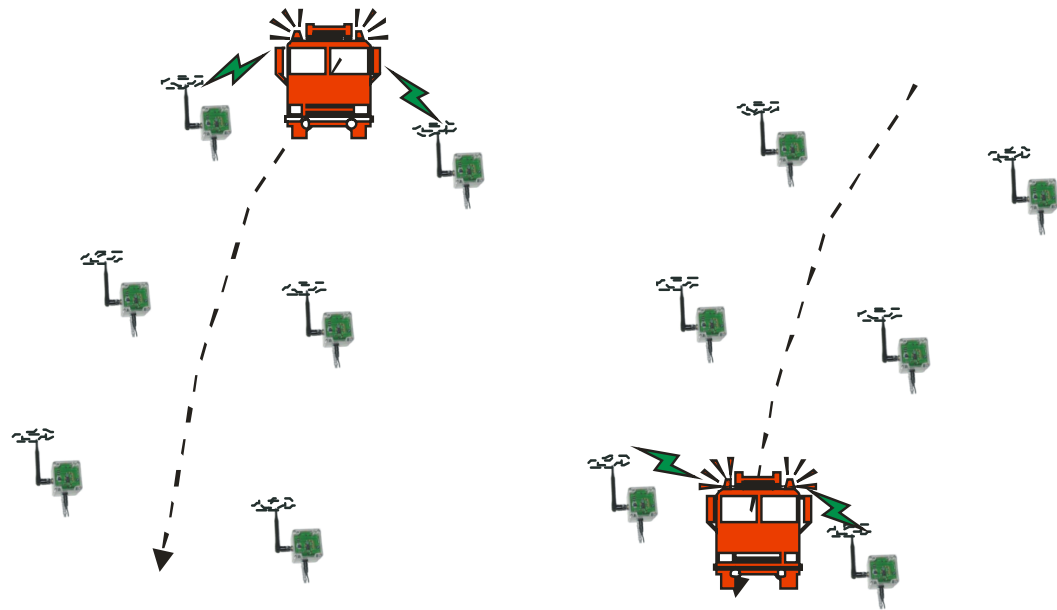
- Glavni SČ je mobilan i kreće se kroz nadgledani region i prikuplja podatke od stacioniranih SČ-ova.
- Važan aspekt je pokretljivost glavnog SČ koji ustvari i **nije sastavni deo BSM**
- Primer: čovek koji putem PDA-a uređaja inteligentnoj zgradi prikuplja podatke
- **Vrsta aplikacije** određuje da li će interakcija biti sa bilo kojim SČ ili samo sa posebnim SČ a to posredno utiče i **na izbor ih mrežnih protokola** koji treba da reše problem.
- Zahtev za mobilnim SČ-ima je **posebno interesantan** ako traženi podaci treba da se preuzmu sa nekog udaljenog nepristupačnog terena.
- Mreža tada mora da omogući da se zahtevani podaci prate i prenesu do podnosioca zahteva, **uprkos tome što se dinamički menja topologija mreže**, a samim tim i pravci (rute) kojima se ti podaci prosleđuju.



# 4.2 Mobilnost SČ u BSM

## 3. Mobilnost događaja

- u aplikacijama koje su zadužene da otkriju neki događaj ( *enje* pokretnih objekata), sam **uzrok događaja ili objekti** mogu biti mobilni.
- Važno je da posmatrani događaj u svakom trenutku bude pokriven sa dovoljnim brojem SČ-a.
- SČ se pojedinačno aktiviraju **samo u trenutku kada događaj(objekat)** dogodi u njihovoj neposrednoj blizini kako bi prikupili podatke
- Kako se događaj(objekat) *e* kroz mrežu, tako se u mreži formira **posebno područje aktivnosti unutar te mreže.**
- U literaturi ovaj model komunikacije poznat je kao ***frisbee*** model koji definiše **algoritam za određivanje SČ** koji trebaju da se aktiviraju **“*wakeup wavefront*”**



## 4.3 Standardi na fizičkom nivou

- IEEE 802.15.4 i IEEE 802.15.4a standardi, definišu fizički i MAC sloj
- Standardi su namenjeni ostvarivanju komunikacije između uređaja na malim rastojanjima (do 10m), bez postojanja infrastrukture
- Cilj razvoja ovih standarda bio je umrežavanje velikog broja senzora u industrijskim, naučnim i medicinskim primenama, korišćenjem uređaja znatno manje cene, manje potrošnje energije, i manjih vrednosti protoka u odnosu na IEEE 802.15.1 Bluetooth standard.
- Na osnovu IEEE 802.15.4, razvijeno je više industrijskih standarda, od kojih se komercijalno najviše primenjuje ZigBee standard
- IEEE 802.15.4 standard definiše 4 modela fizičkog sloja (PHY),
- Standard predviđa korišćenje 3 frekvenciska opsega:
  - 1.1 radio kanal u opsegu 868-868,8 MHz (Evropa),
  - 2.10 radio kanala u opsegu 902-928 MHz (Severna Amerika) i/ili
  - 3.16 radio kanala u opsegu 2,4-2,4835 GHz (globalno).
- Standard IEEE 802.15.4a definiše 2 dodatna modela PHY sloja:
  - 1.DS-UWB(Direct Sequence–UltraWideBand)-1GHz,3-5GHz,6-10 GHz
  - 2.C-SS(Chirp–Spread Spectrum) tehniku u ISM opsegu.



# 4.1.2 Parametri standarda 802.15.4

Radni opseg, [MHz]	DS-SS parametri		Parametri prenosa podataka		
	Protok PSS [kchip/s]	Modul.	Bitski protok, [kbit/s]	Protok simbola, [ksim/s]	Simboli
868 do 868,6	300	BPSK	20	20	Binarni
902 do 928	600	BPSK	40	40	Binarni
868 do 868,6	400	ASK	250	12,5	20-bitni PS-SS
902 do 928	1600	ASK	250	50	5-bitni PS-SS
868 do 868,6	400	<i>Offset</i> QPSK	100	25	16-bitni Ortogon.
902 do 928	1000	<i>Offset</i> QPSK	250	62,5	16-bitni Ortogon.
2400-2483,5	2000	<i>Offset</i> QPSK	250	62,5	16-bitni Ortogon.

Hvala na pažnji !!!



Pitanja

? ? ?