

Telekomunikacioni servisi i tehnologije

Profesor dr Miroslav Lutovac

Sadržaj predmeta

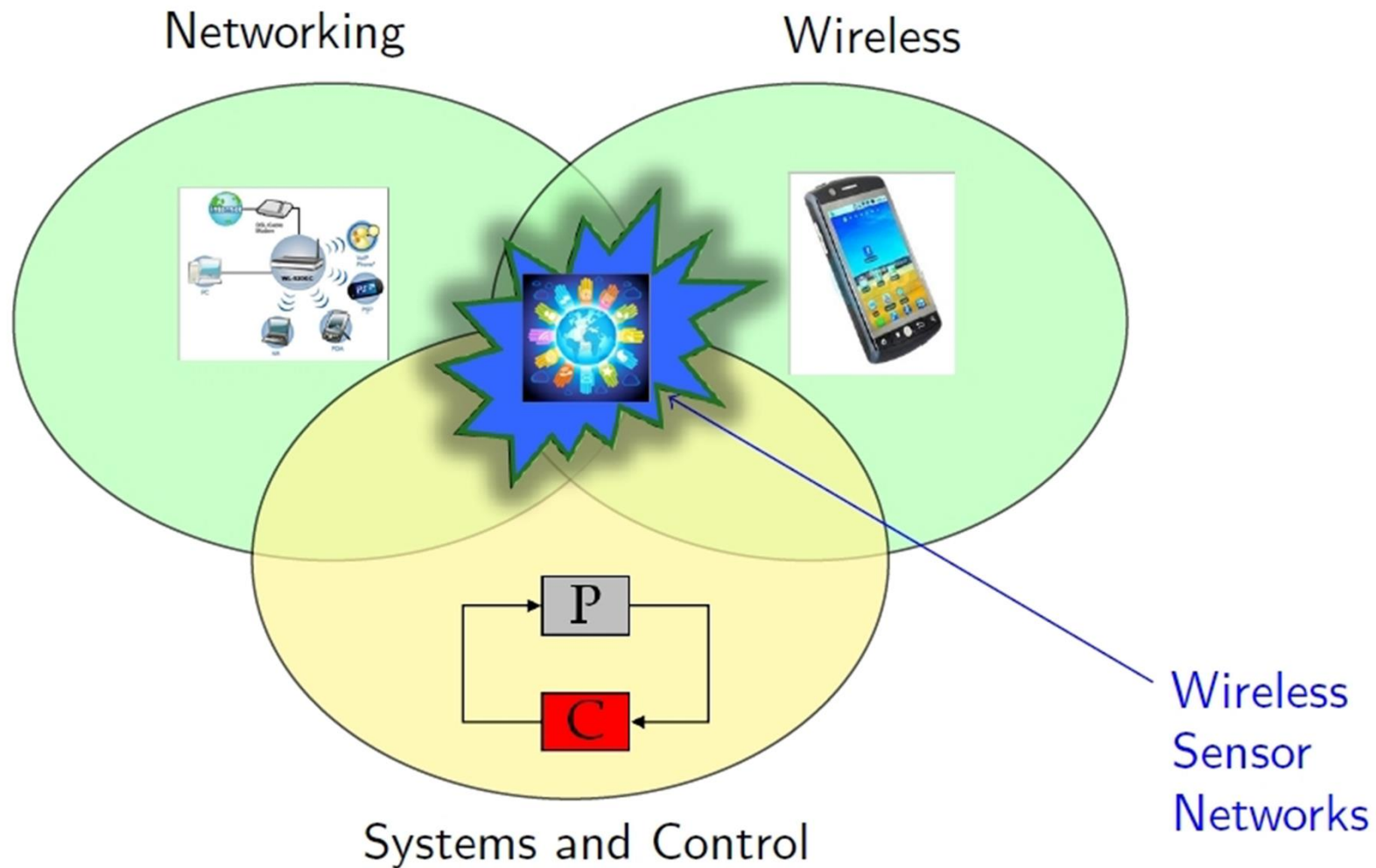
1. Uvodno predavanje.
2. Radiofrekvencijska identifikacija (RFID)
3. Globalni sistem za pozicioniranje (GPS)
- 4. Bežične senzorske mreže**
5. Standardne i dodatne usluge fiksne telefonije

- Bežične senzorske mreže (Lekcija 4. A. Zeković)

Bežične senzorske mreže

- Bežične senzorske mreže
(Wireless sensor networks, WSN)
predstavljaju presek različitih sistema koje čine:
kompjuterske mreže, bežične komunikacije i automatske
sisteme i kontrolu

Položaj bežičnih senzorskih mreža u odnosu na druge sisteme



Bežične senzorske mreže

- Bežične senzorske mreže predstavljaju jedan od ključnih sistema za proširenje Interneta na Internet of Things (IoT), po kome na Internet nisu povezani samo podaci sa računara i sličnih računarskih uređaja, već i podaci sa objekata
- U slučaju WSN to su objekti na koje su postavljeni senzori
 - merenje temperature
 - merenje pritiska
 - za proizvodnju
 - za kućne potrebe
 - za poljoprivredu
 -

Osnovne karakteristike WSN mreža

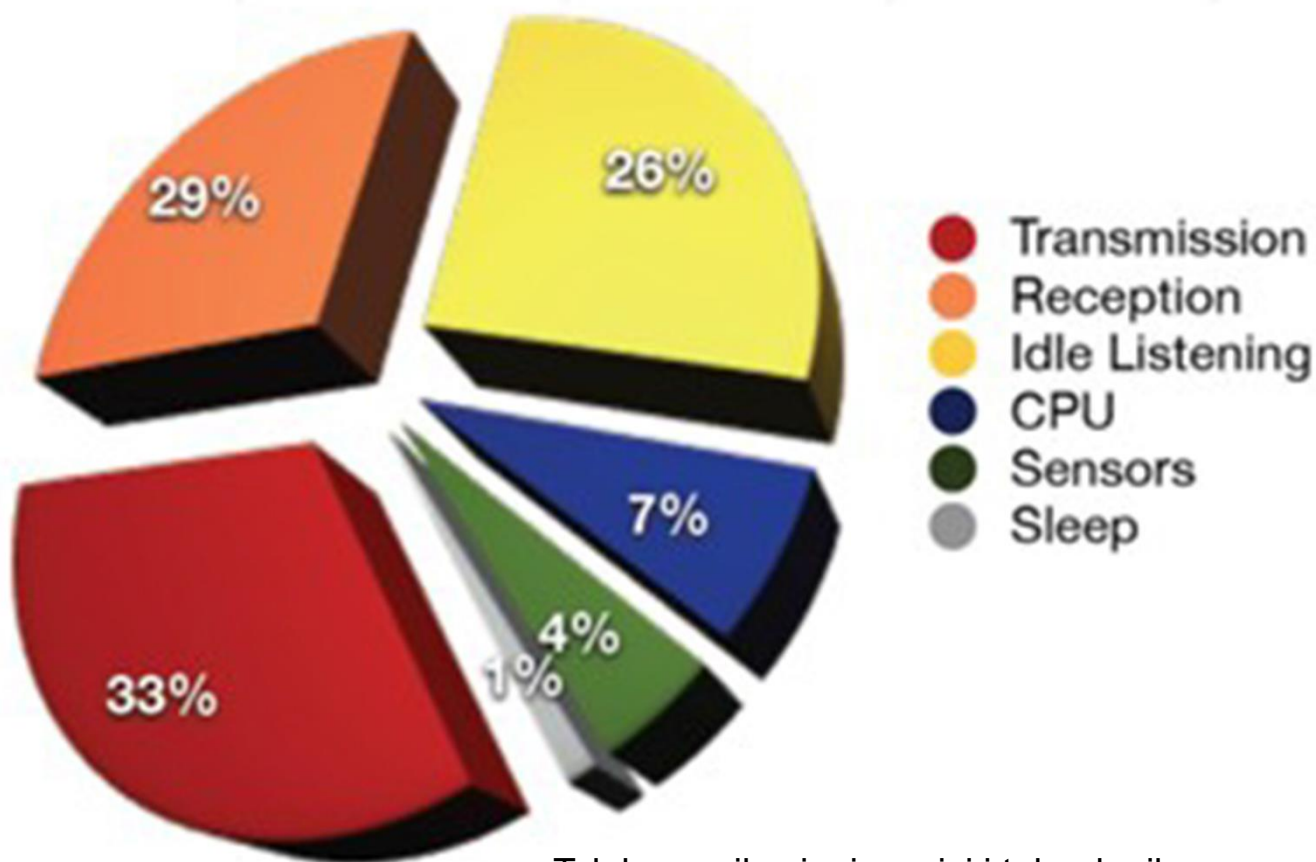
- WSN mreže omogućavaju
 - procesiranje
 - prijem
 - emitovanje signala
- između čvorova u mreži, koji su bežično povezani omogućavajući
 - komunikaciju
 - kontrolu
 - detektovanje
- pomoću senzora (sensing)
- delovanje na osnovu informacija sa senzora (actuation)

Osnovne karakteristike WSN mreža

- uređaji u mreži su malih dimenzija koji rade na baterije
- bežična komunikacija malog dometa
- moguća pokretljivost čvorova
- postoji malo ili nimalo centralne kontrole u mreži

Mala potrošnja u WSN mrežama je veoma važna

Udeo pojedinih delova ili
akcija čvorova WSN mreže u potrošnji



Predajnik-prijemnik WSN mreže

Predajnik-prijemnik (transceivers) tipični režimi rada:

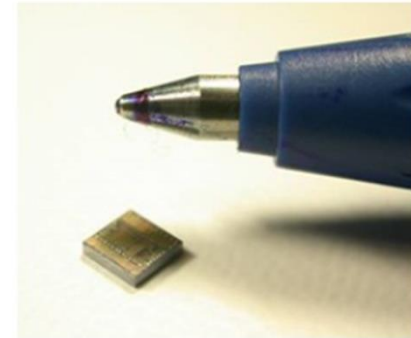
- **emitovanje** (transmit)
- **prijem** (receive)
- **aktivno čekanje** (idle), kada je uređaj spreman za prijem, ali trenutno ne obavlja tu akciju, mali deo harverskih komponenti je isljučen radi uštede energije
- **pasivno čekanje** (sleep), veliki deo harverskih komponenti je isljučen radi uštede energije, uređaj nije spreman za prijem već pre toga mora da obavi proces buđenja za koji mu je potrebna početna energija

Prednosti WSN mreža su jednostavna postavka, jednostavna promena lokacije, manje kablova, lakše praćenje stanja i dijagnoza

Istorija WSN mreža



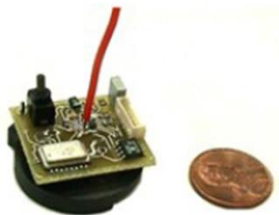
DARPA DSN node, 1960



Tmote-sky, 2003



Mica2 mote, 2002



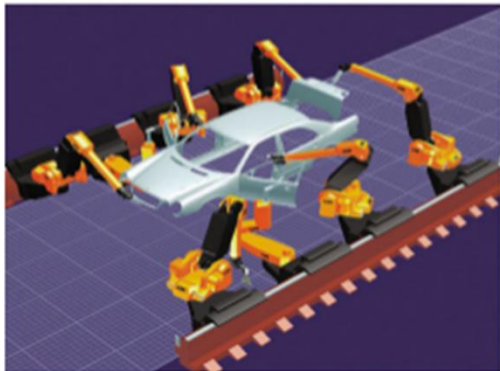
Smart Dust

Primene WSN mreža

- industrijska kontrola i upravljanje
- praćenje uslova u vazduhu (za ispitivanje zagađenosti za poljoprivredu)
- saobraćaj (seizmološke promene na mostovima)
- podvodna merenja
- zdravlje (merenje ECG, EMG, pulsa, pritiska)
- pametne kuće (kontrola temperature, svetla)
- električne mreže
- distributivno podešavanje kamera

Neke od oblasti primene WSN mreža, (industrijska kontrola i upravljanje, praćenje zagađenosti vode i vazduha, saobraćaj, podvodna merenja, zdravlje)

Industrial control



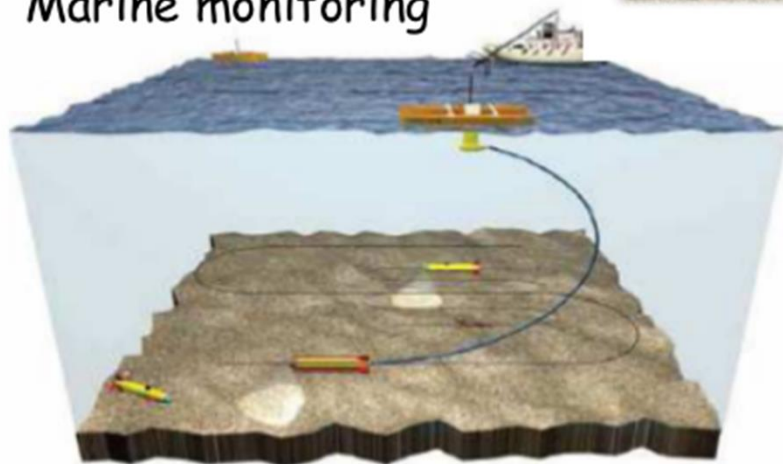
Environmental monitoring



Transportation



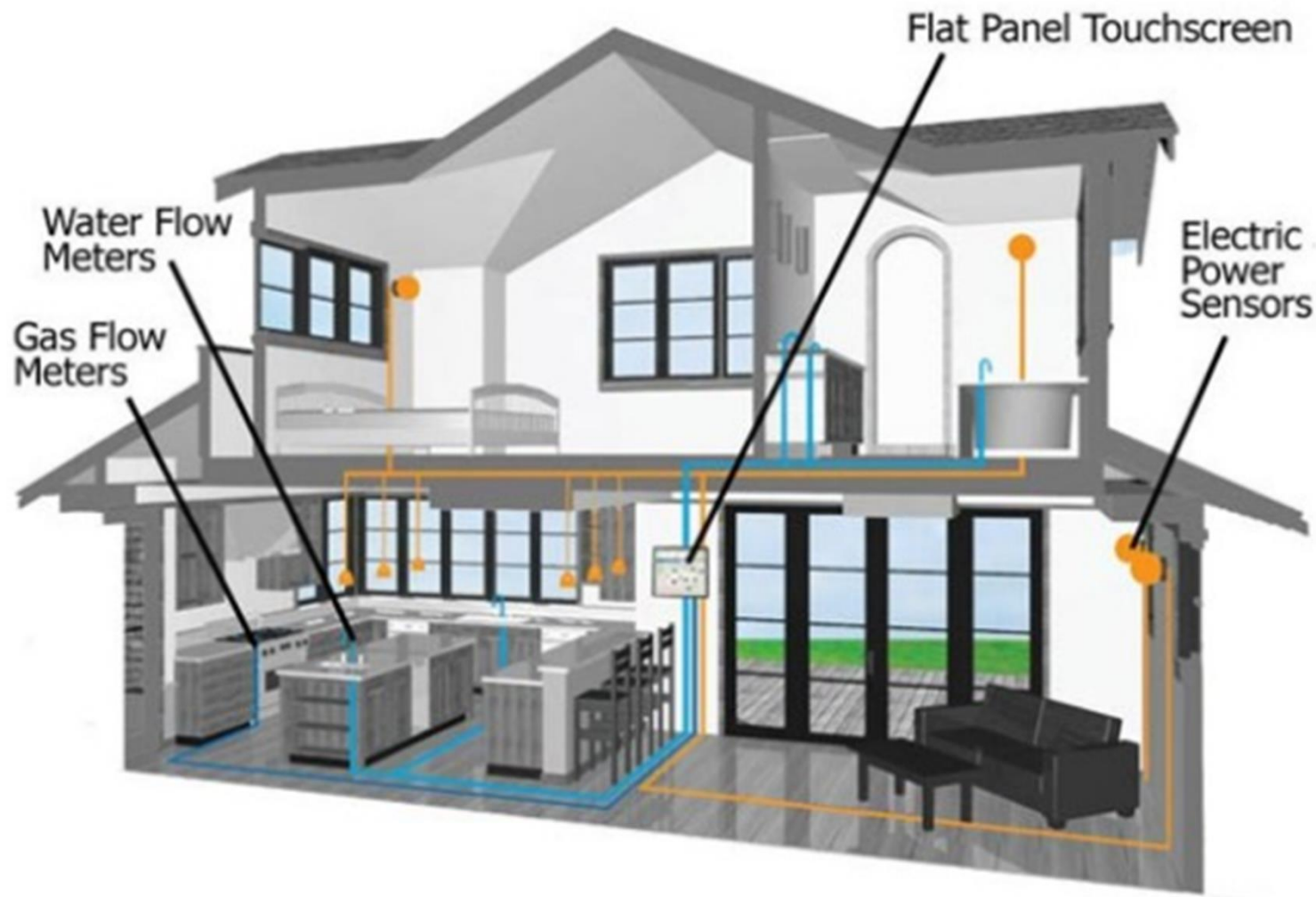
Marine monitoring



Health care



Primene WSN mreža za kontrolu temperature, svetla, vazduha, vrata, alarma



Primene WSN mreža za praćenje saobraćaja i seizmoloških promena na mostu



Primene WSN mreža za praćenje zagađenosti vode pomoću senzora postavljenih na vodovodne cevi



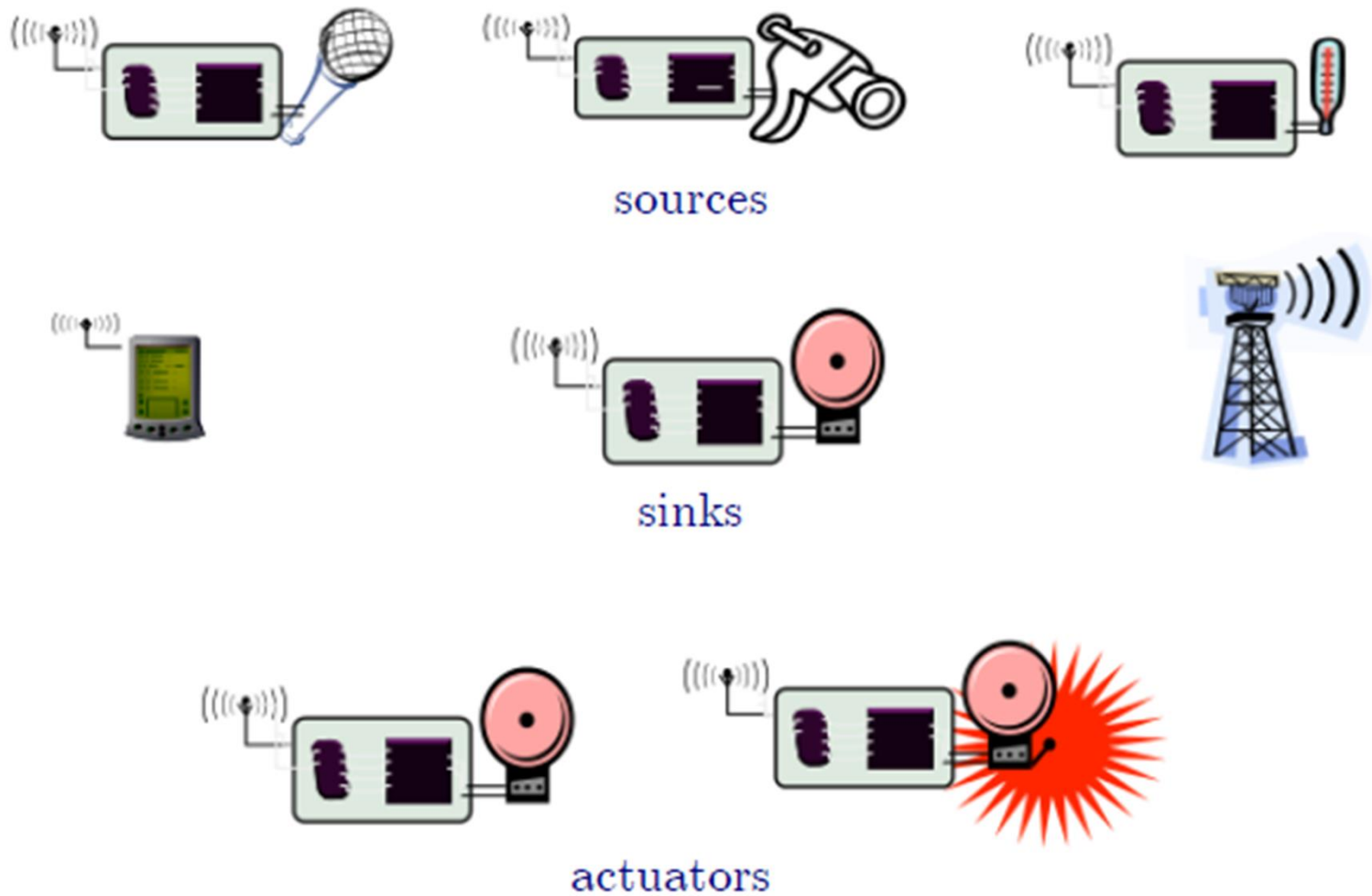
Primene WSN mreža za distributivnu kalibraciju video kamera, njihovu poziciju i praćenje



WSN uređaji

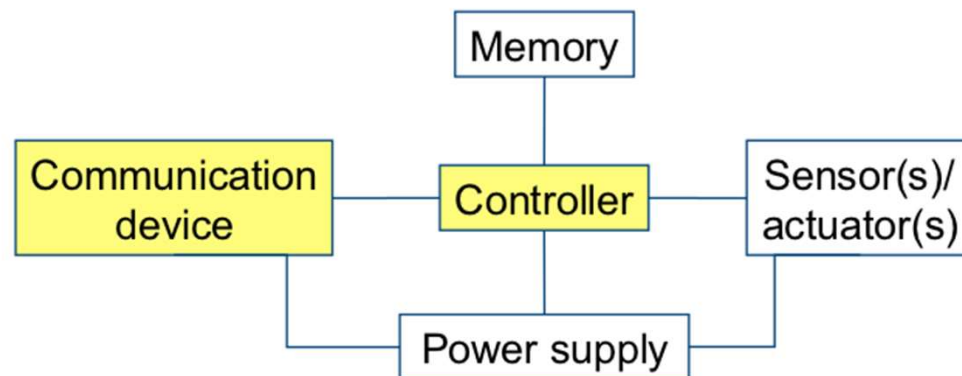
- Postoje tri tipa WSN uređaja:
 1. izvori podataka (source of data)
 - mere podatke, izveštavaju o merenju, obično sadrže senzor
 2. primaoci podataka (sinks) - obavljaju prijem podataka iz WSN, mogu biti deo WSN ili izlaz na mrežu drugog tipa
 3. actuators: kontrolišu neke od uređaja na osnovu podataka, obično su u isto vreme i primaoci podataka

Ilustracija tipova uređaja u WSN mreži

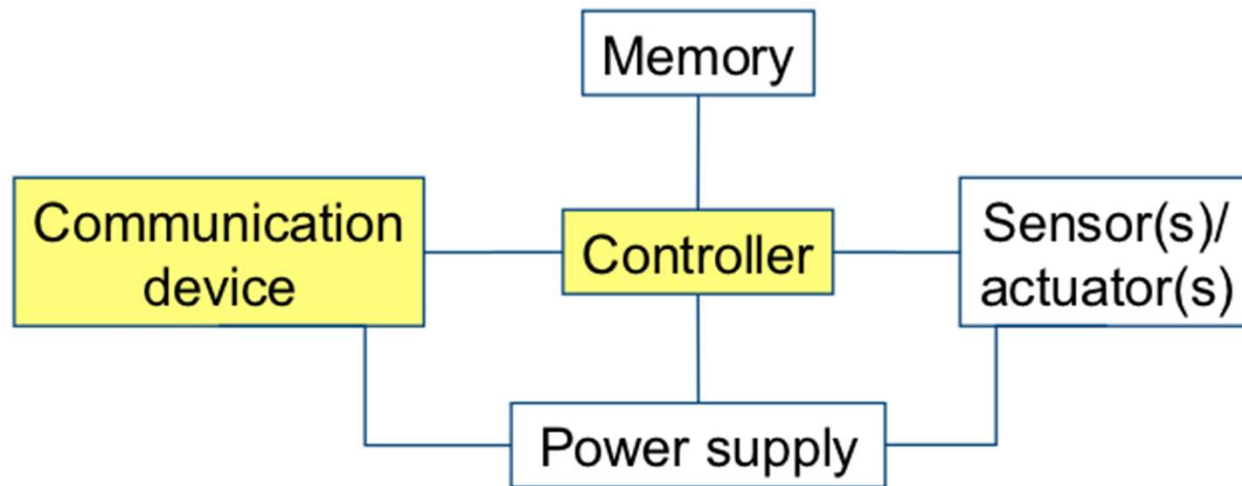


Komponente WSN čvora (uređaja)

- kontroler (controller)
- uređaj za komunikaciju (communication devices)
- senzori/actuators
- memorija
- napajanje (power supply)



Princip povezivanja u celinu komponenti WSN uređaja - čvora (node)



Komponente WSN čvora (uređaja)

- **Kontroler** koji se koristi u WSN uređaju obično je mikrokontroler, koji ima procesor opšte namene, optimizovan za upravljačke aplikacije i koji ima malu potrošnju
- Neki od mikrokontrolera koji se primenju za WSN mreže su Texas Instruments MSP430 i Atmel ATMega
- **Memorija** koji se koristi u WSN uređaju je FLASH memorija, takva da upis i čitanje u memoriju nema veliku potrošnju

Komponente WSN čvora (uređaja)

- **Radio primo-predajnici** koji se koriste u WSN uređaju mogu biti
 - RFM TR1000 familija proizvoda,
 - Chipcon CC1000,
 - Infineon TDA 525x familija proizvoda
- koji se razlikuju po
 - frekvencijskim opsezima na kojima rade
 - digitalnoj modulaciji koju koriste
 - potrošnji

Komponente WSN čvora (uređaja)

- **Napajanje** u WSN uređaju ima za cilj da obezbedi potrebnu energiju za rad, uz minimalnu cenu i veličnu i maksimalnu moguću dužinu rada
- Mogu se koristiti primarne baterije (bez ponovnog punjenja) ili sekundarne baterije (mogu se ponovo puniti, pomoću sakupljanja spoljašnje energije iz svetlosti, protoka vazduha ili fluida)

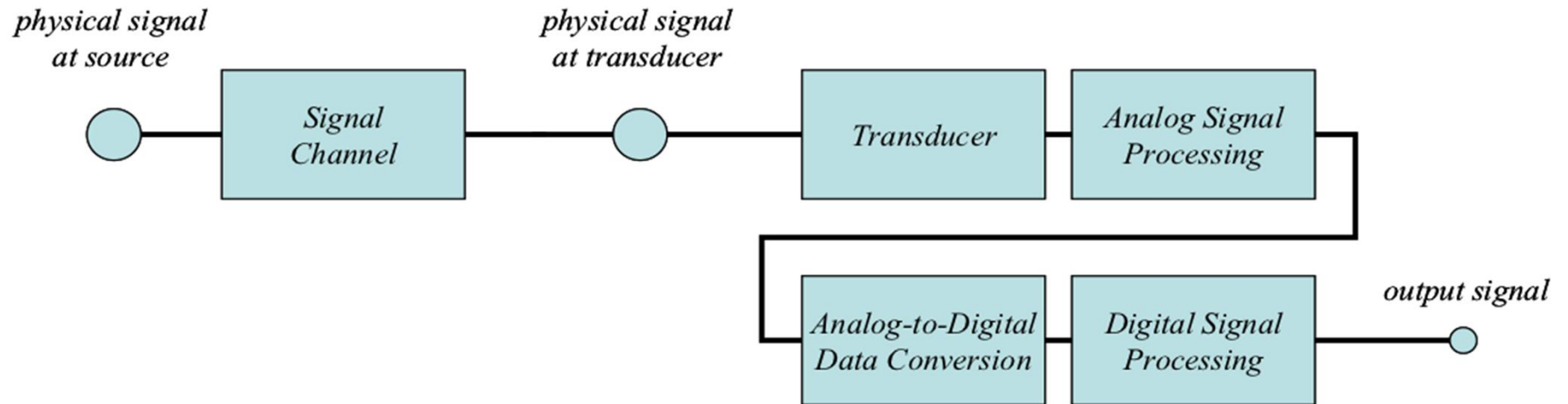
Bežične senzorske mreže

- **Senzori** pretvaraju fizički signal koji stiže na ulaz u električni, obično digitalni, signal na izlazu
- Blok označen kao transducer služi za pretvaranje jednog oblika energije u drugi
- Primer transducer-a je fotodioda koja pretvara intenzitet svetlosti u električnu struju
- Drugi primer transducer-a je antena koja pretvara promenljivu elektroamgnetno polje radio talasa u promenljivu struju ili obrnuto

Primeri senzora

- akcelerometar (pretvara ubrzanje u električni signal)
- senzori pritiska (pretvara vazdušni pritisak u električni signal)
- mikrofoni (pretvara akustički signal u električni signal)
- digitalna kamera (svetlost preko sočiva, fotosenzitivnih elemenata stiže u niskošumni pojačavač, da bi se na kraju pomoću analogno-digitalne koverzije pretvorila u digitalni električni signal)

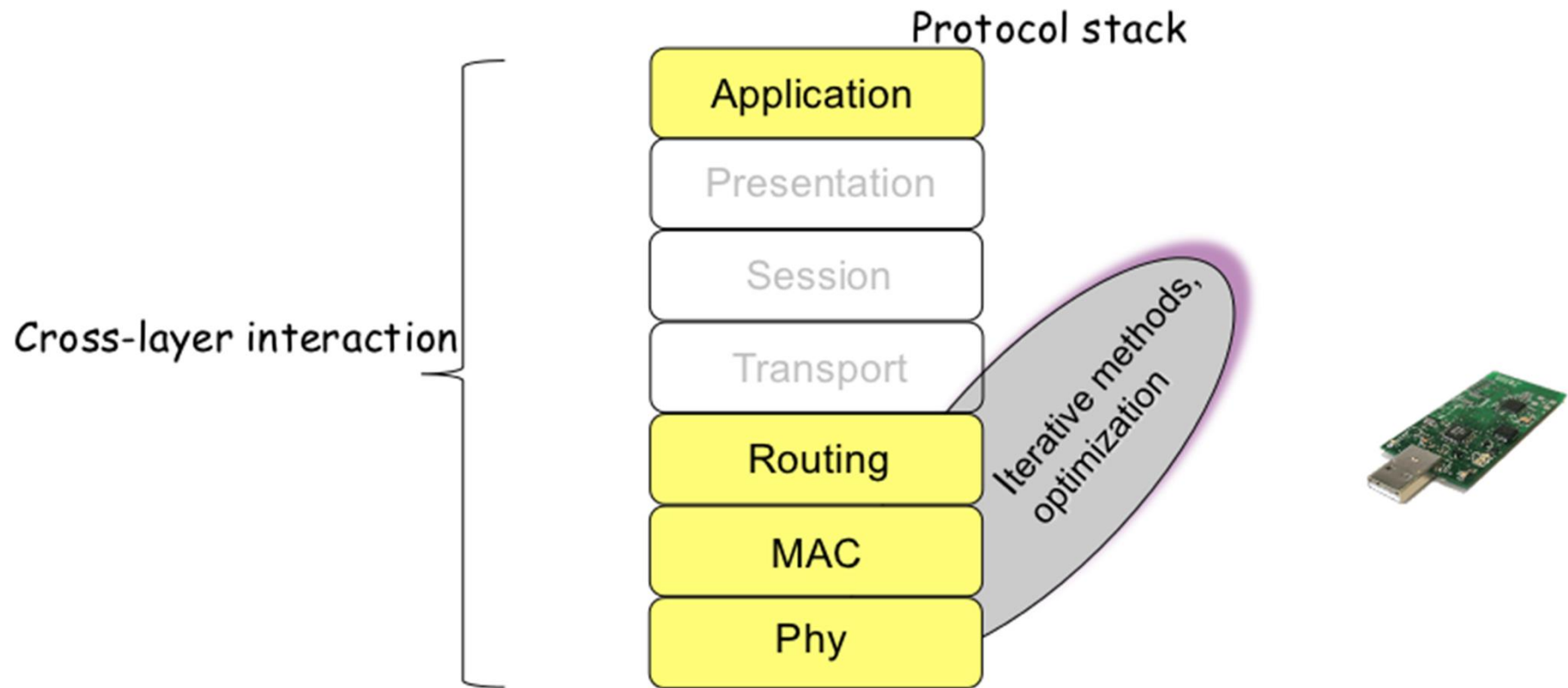
Blok šema senzora



WSN protokoli

- Komunikacioni uređaj i kontroler moraju da prate određene protokole pri svom radu
- Ponašanje čvora je određeno skupom protokola, skupom pravila koji definišu na koji način uređaj radi
- Protokoli su grupisani po slojevima

Slojevi protokola po kojima rade WSN mreže



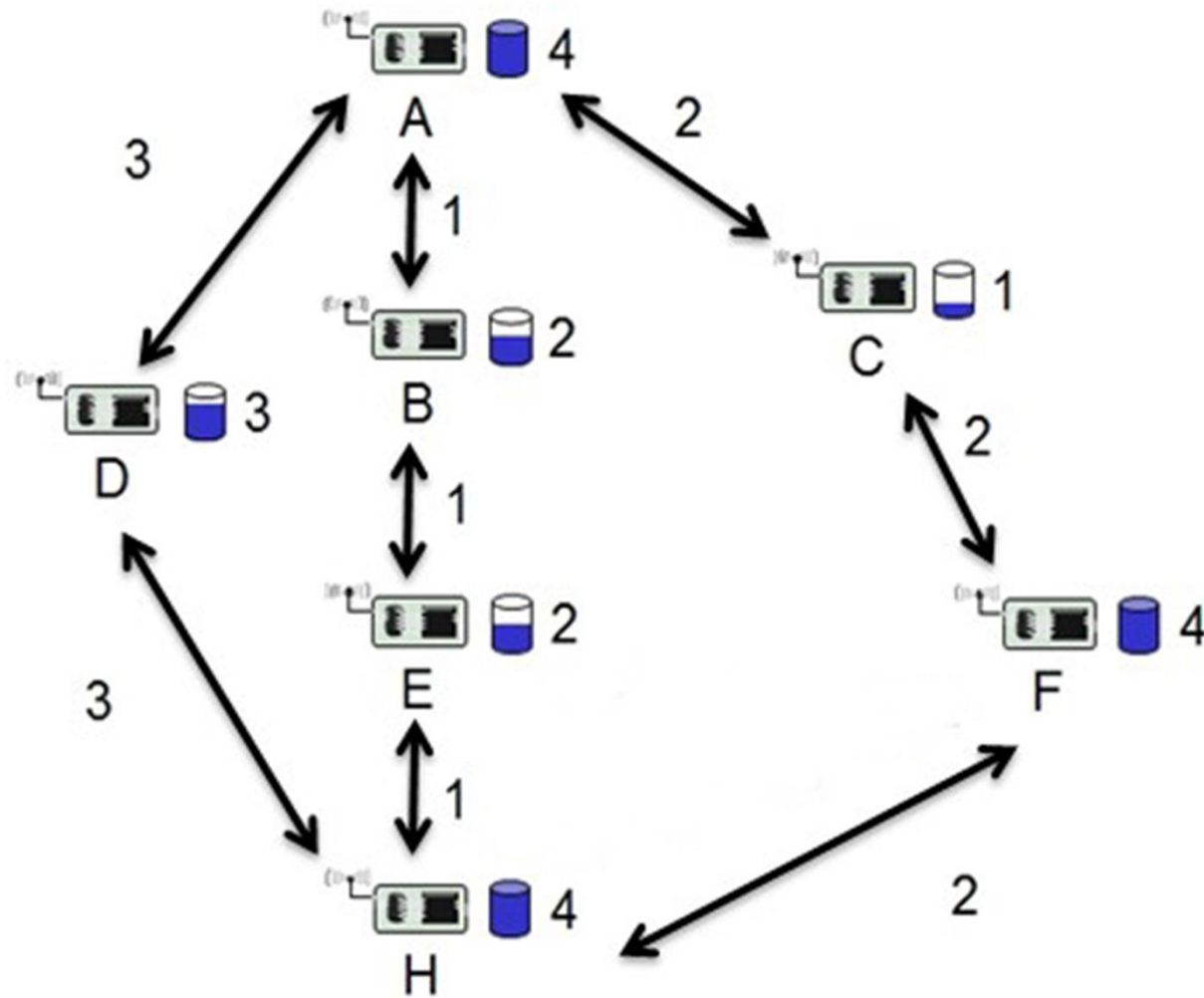
Slojevi protokola po kojima rade WSN mreže

- **Fizički sloj** (označen na slici sa Phy) definiše fizičke karakteristike veze i određuje kontrolu radio snage
 - Potrebno je WSN uređaji rade sa najmanjom mogućom snagom da bi minimizovali potrošnju, ali i sa dovoljno velikom snagom u odnosu na interferenciju u mreži
- **Sloj za kontrolu pristupa** medijumu za prenos označen je sa MAC (Medium Access Control)
 - Ovaj sloj definiše mehanizme za kontrolu kada se paket šalje i kada sluša i čeka na paket
 - MAC mehanizmi u velikoj mjeri utiču na potrošnju energije, posebno ako se uzme u obzir idle režim rada kada je u toku aktivno čekanje koje nosi veliku količinu energije

Slojevi protokola po kojima rade WSN mreže

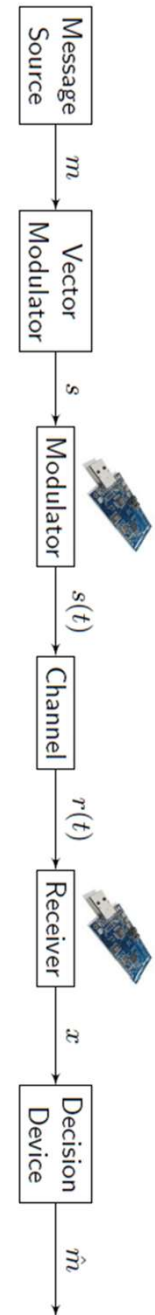
- **Routing** sloj koji definiše na koji način se bira put za prenos
- Principi rutiranja mogu biti različiti, a neke od mogućnosti su
 - bira se put koji ima najveću sumu nivoa baterija (na dledežoj za put od A do H bira se put A-C-F-H),
 - bira se put koji ima najmanju sumu recipročnih vrednosti nivoa baterija (za put od A do H bira se put A-D-H)
- Za prethodne proračune uzeti za vrednost nivoa baterije broj napisan kraj baterije na slici, a za recipročnu vrednost vrednost praznog dela na bateriji
 - na bateriji čija je vrednost 4 prazan deo ne postoji, recipročna vrednost je 0
 - na baterija čija je vrednost 3 prazan deo, recipročna vrednost je 1

Rutiranje - izbor puta po kriterijumu

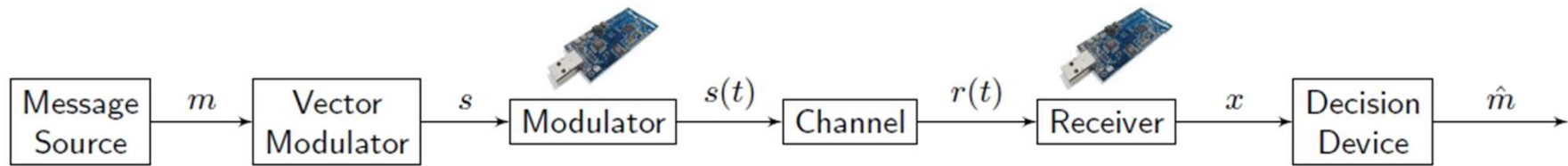


Bežični kanal između dva čvora

- prenos poruka na fizičkom nivou, bežični kanal
- m - izvorna poruka (source message), na primer temperatura, zvuk, video
- s - signal nakon vektorskog modulatora, kada je obavljena vektorska kvantizacija signala
- $s(t)$ - modulirani signal koji će se prenositi preko bežičnog kanala (wireless channel)
- $r(t)$ - signal koji stiže na prijemnik (receiver)
- x - demodulisani signal
- $\hat{m}$ - dekodovani signal, nakon uređaja za odlučivanje (decision device)



Sistem za digitalni prenos preko bežičnog kanala



m - izvorna poruka

s - signal nakon modulatora

$s(t)$ - modulisani signal

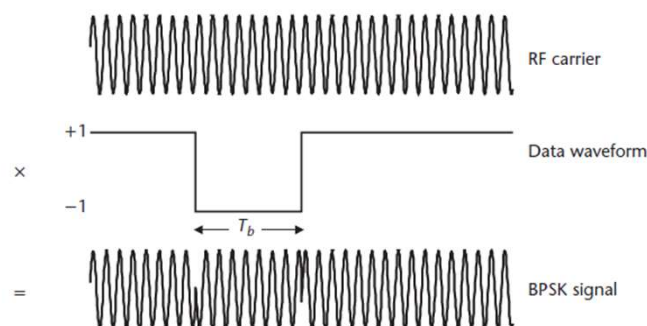
$r(t)$ - signal koji stiže na prijemnik

x - demodulisani signal

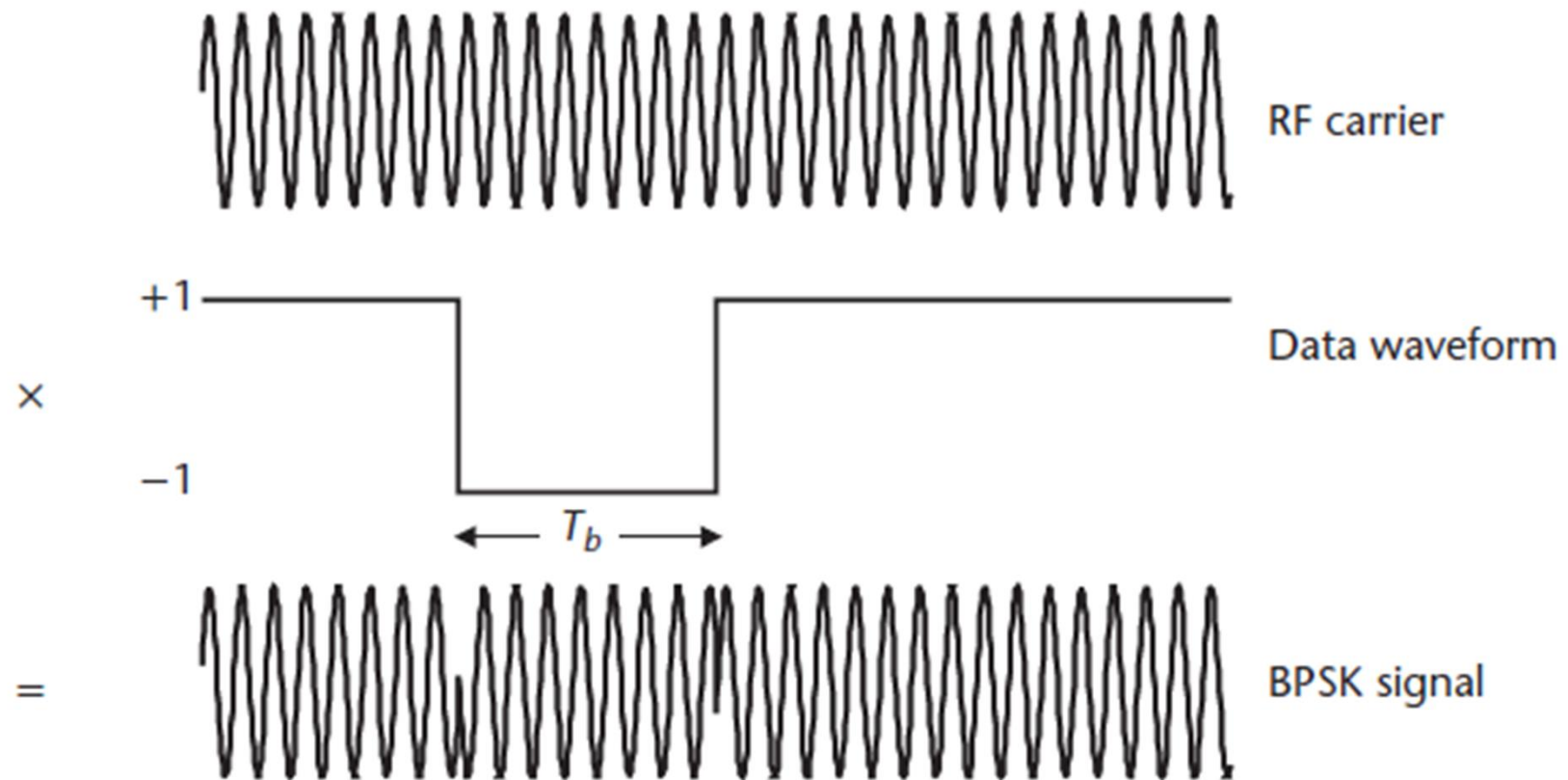
$\hat{m}$ - dekodovani signal

Sistem za digitalni prenos, bežični kanal

- Modulacija koja se često koristi u WSN mrežama je PSK (Phase Shift Keying) modulacija, digitalna fazna modulacija
 - PSK modulacija će biti objašnjena na primeru binarne PSK modulacije kada se prenose samo biti 0 ili 1
 - Za prenos signala neophodan je RF nosilac, čija je frekvencija za WSN tipično jednaka $f_c = 2,4$ GHz
- Za predstavljanje bita 0, $s(t)$
signal nakon modulatora je $\cos(2 \pi f_c t)$,
dok je predstavljanje bita 1 fazno pomerenom za π ,
odnosno jednako $\cos(2 \pi f_c t + \pi) = -\cos(2 \pi f_c t)$



BPSK modulacija



$\sin(\dots)$ ili $\cos(\dots)$

Sistem za digitalni prenos, bežični kanal

- Signal $r(t)$ koji stiže na prijemnik (posle kanal) se razlikuje od signala koji predajnik šalje $s(t)$ (pre kanala), usled postojanja smetnji u kanalu
- Jedna od osnovnih vrsta šuma koja postoji je Gausov šum $n_0(t)$ koji se dodaje na originalni signal, pa se ovakav kanal označava kao aditivni beli Gausov šum (*Additive White Gaussian Noise*, AWGN)
- Signal koji stiže na prijemnik je $r(t)$; u realnim bežičnim kanalima, pored dodatka aditivnog šuma $n_0(t)$ na signal koji se prenosi $s(t)$, događa se i njegova multiplikativna atenuacija A , (slabljenje ako je A manje od 1)

$$r(t) = s(t) + n_0(t)$$

$$r(t) = As(t) + n_0(t)$$

Snaga signala koja stiže na prijemnik

- Slabljenje A posledica je gubitka na liniji veze (path loss) i različitih vrsta fedinga, kao što su brzi fading (fast fading) i spori fading (slow fading)
- Snaga signala koja stiže na prijemnik, nakon putovanja u slobodnom prostoru može se odrediti pomoću izraza

$$P_R = P_T G_T(\theta_T, \Phi_T) G_R(\theta_R, \Phi_R) CA = P_T A$$

P_T – snaga predajnika

$G_T(\theta_T, \Phi_T)$ – dobitak antene predajnika u određenom smeru

$G_R(\theta_R, \Phi_R)$ – dobitak antene prijemnikau određenom smeru

CA – slabljenje kanala (*channel attenuation*)

Slabljenje kanala CA

$$CA = \frac{\lambda^2}{(4\pi r)^2} PLyz$$

$\lambda = \frac{c}{f_c}$, talasna dužina, gde je $c = 3 \times 10^8$ m/s,

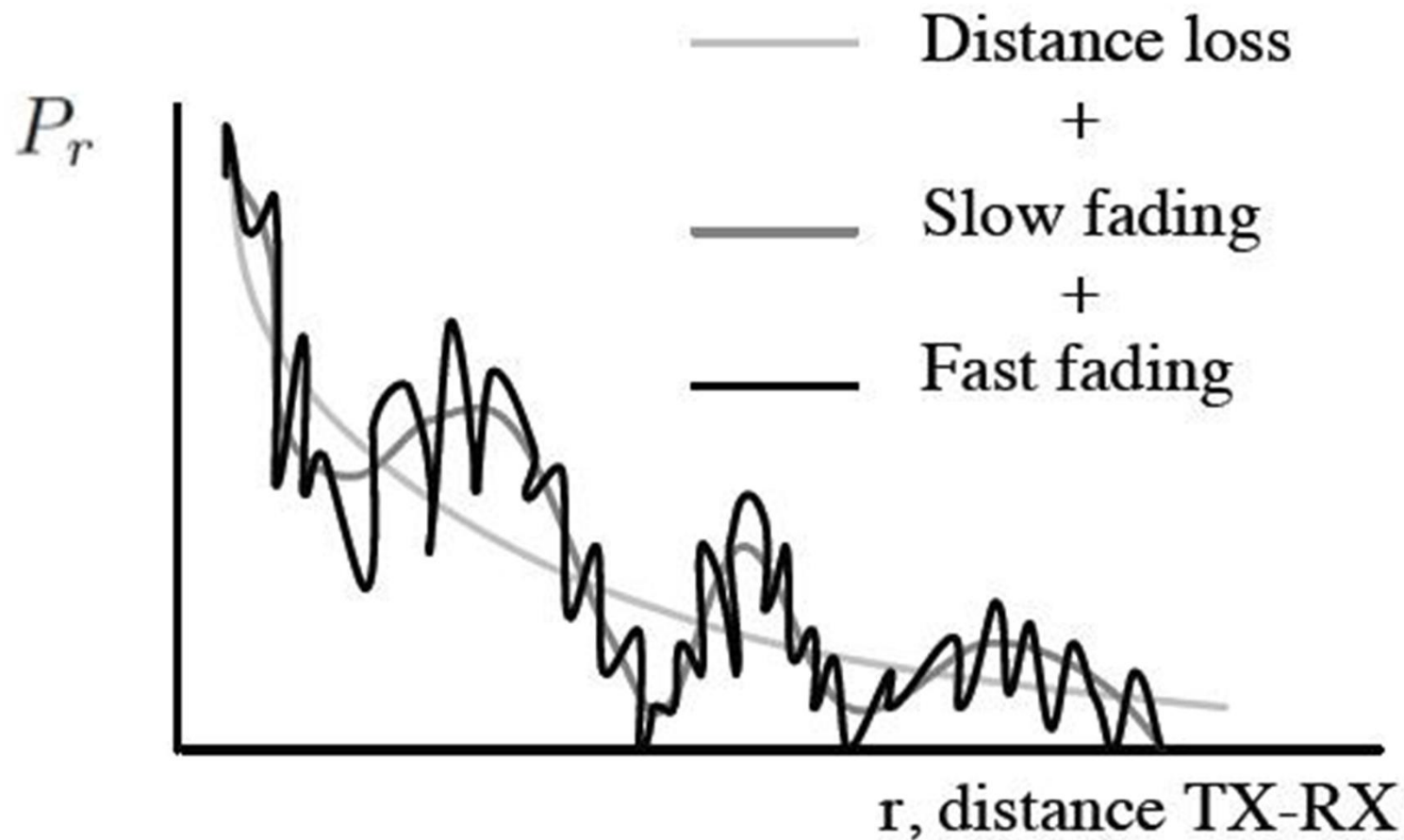
r , rastojanje između predajnika i prijemnika

PL . uticaj odbijanja talasa od poda i uticaj prepreka na putu
(daje se u tablicama)

z , uticaj *shadowing* fedinga, određuje se pomoću modela i
raspodela verovatnoće predajnika i prijemnika

y , uticaj brzog fedinga koji je posledica prolaska po više
putanja (*multi-path* propagacija), određuje se pomoću modela i
raspodela verovatnoće

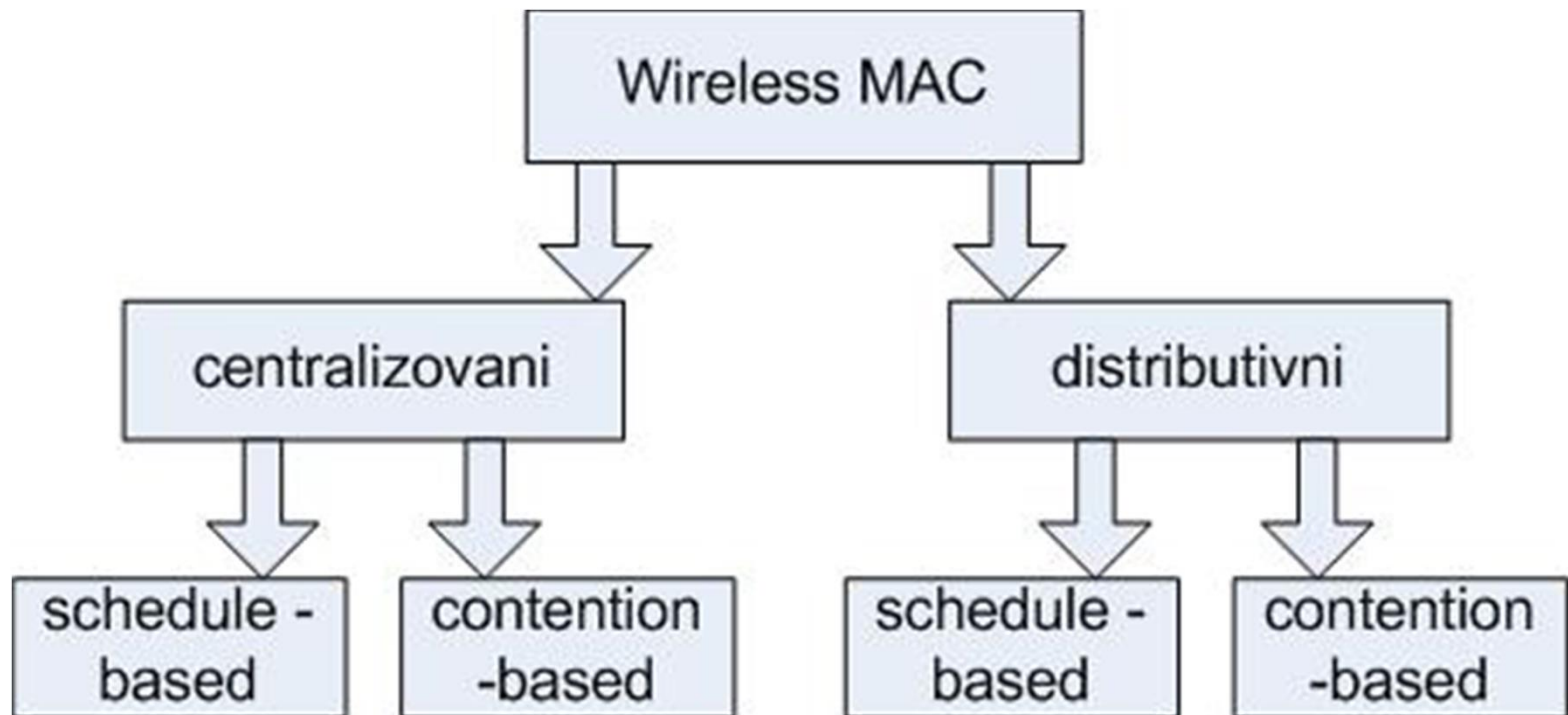
Promena snage koja stiže na
prijemnik P_R sa rastojanjem,
usled *shadowing* fedinga i *multi-path* propagacije



Pristup medijumu za prenos

- Komunikacija između čvorova se obavlja na bežičnom kanalu
- Kada će čvor dobiti dozvolu za emitovanje i koji su mehanizmi dobijanje dozvole određuje se na MAC (Medium Access Control) sloju, sloju za pristup medijumu za prenos
- MAC sloj je određen od strane IEEE 802.15.4 protkola
- Kontrola slanja, aktivnog čekanja, pasivnog čekanja i prijema u velikoj meri utiče na potrošnju čvora, koja je za WSN mreže posebno važna

Glavne opcije pristupa medijumu za prenos



Pristup medijumu za prenos

- Na potrošnju utiču i sledeći parametri:
 - *collision* - izgubljena energija kada je došlo do sudara dva paketa - kolizije,
 - *overhearing* - izgubljena energija kada čvor sluša pakete koji nisu namenjeni njemu,
 - *protocol overhead* - efektivni prenos umanjen sa velikom količinom podataka u zaglavljima protokola

Pristup medijumu za prenos

- Glavne opcije pristupa medijumu za prenos su:
 - ✓ centralizovani - koji je efikasan, nema koliziju, ali predstavlja veliko opterećenje za centralnu jedinicu, posebno za veće mreže,
 - ✓ distributivno - lakša organizacija usled podele na klastere
- Ove glavne opcije se dalje dela na pristup po rasporedu (*schedule - based*) gde je raspored određen ili fiksno ili se raspored računa na zahtev ili pristup koji je *contention - based* koji koristi slučajnost i prihvata postajanje kolizije u sistemu

Pristup medijumu za prenos

- U slučaju schedule-based MAC pristupa, rasporedom je određeno kada svaki od učesnika može da koristi resurse mreže
- Ovaj pristup se označava i kao TDMA (Time Division Multiple Access), pristup medijumu sa podelom vremena.
- Za ovaj pristup neophodna je sinhronizacija učesnika.
- U slučaju contention-based protokola koriste se tehnike za slučajnost, smanjen je nivo koordinacije među jedinicama koji je bio potreban kod schedule-based MAC pristupa, a kolizija je prisutna.

Pristup medijumu za prenos

- Potrebni su mehanizmi za regulaciju/smanjenje kolizije u ovom pristupu, kao što je mehanizam CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
- CSMA pristup podrazumeva da jedinice u mreži pre slanja slušaju da li postoji nosilac od drugog uređaja
- Čak i uz slušanje, ako se dogodi da uređaji pošalju paket u isto vreme, jer su pre toga osluškivanjem ustanovili da niko ne šalje, dogodiće se kolizija
- Sada uređaji čekaju pseudoslučajno izabrano vreme pre ponovnog pokušaja slanja

IEEE 802.15.4

- IEEE 802.15.4 je referentni standard za WSN mreže koje karakteriše mali protok i mala potrošnja
- Osnovne karakteristike su:
 - ✓ mali protok podataka u okviru ad hoc mreža između pokretnih ili mobilnih uređaja
 - ✓ velika fleksibilnost mreže
 - ✓ veoma mala potrošnja
 - ✓ niska cena

IEEE 802.15.4

- IEEE 802.15.4 daje specifikacije za prva dva sloja: fizički sloj i MAC sloj, dok više slojeve definišu različite organizacije za bežične senzorske mreže kao što su ZigBee, Hart. Za fizički sloj važe parametri:
 - ✓ opseg frekvencija od 2,4 GHz do 2,4835 GHz, 16 kanala sa razmakom od 5 MHz, globalna primena, protok podataka 250 kbps
 - ✓ opseg frekvencija od 902MHz do 928 MHz, 10 kanala sa razmakom od 2 MHz, primena u Americi, protok podataka 40 kbps
 - ✓ frekvencija od 868 MHz, 1 kanal, primena u Evropi, protok podataka 20 kbps

Ilustracija frekvencijskih opsega WSN mreža

**868MHz/
915MHz
PHY**

Channel 0

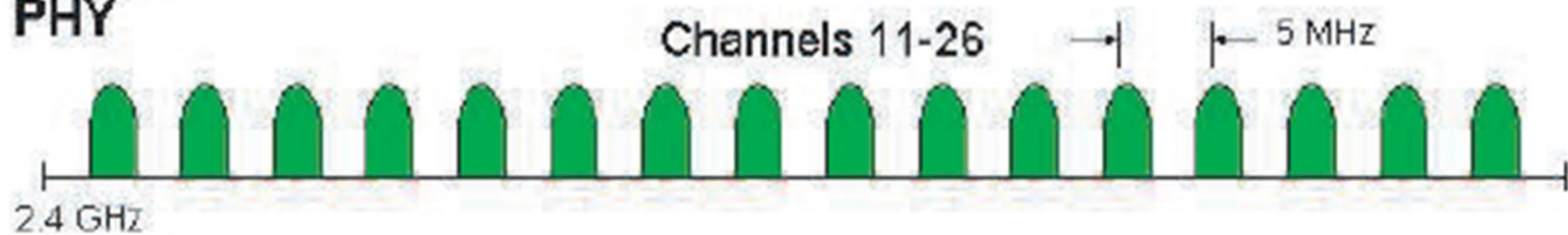


Channels 1-10



**2.4 GHz
PHY**

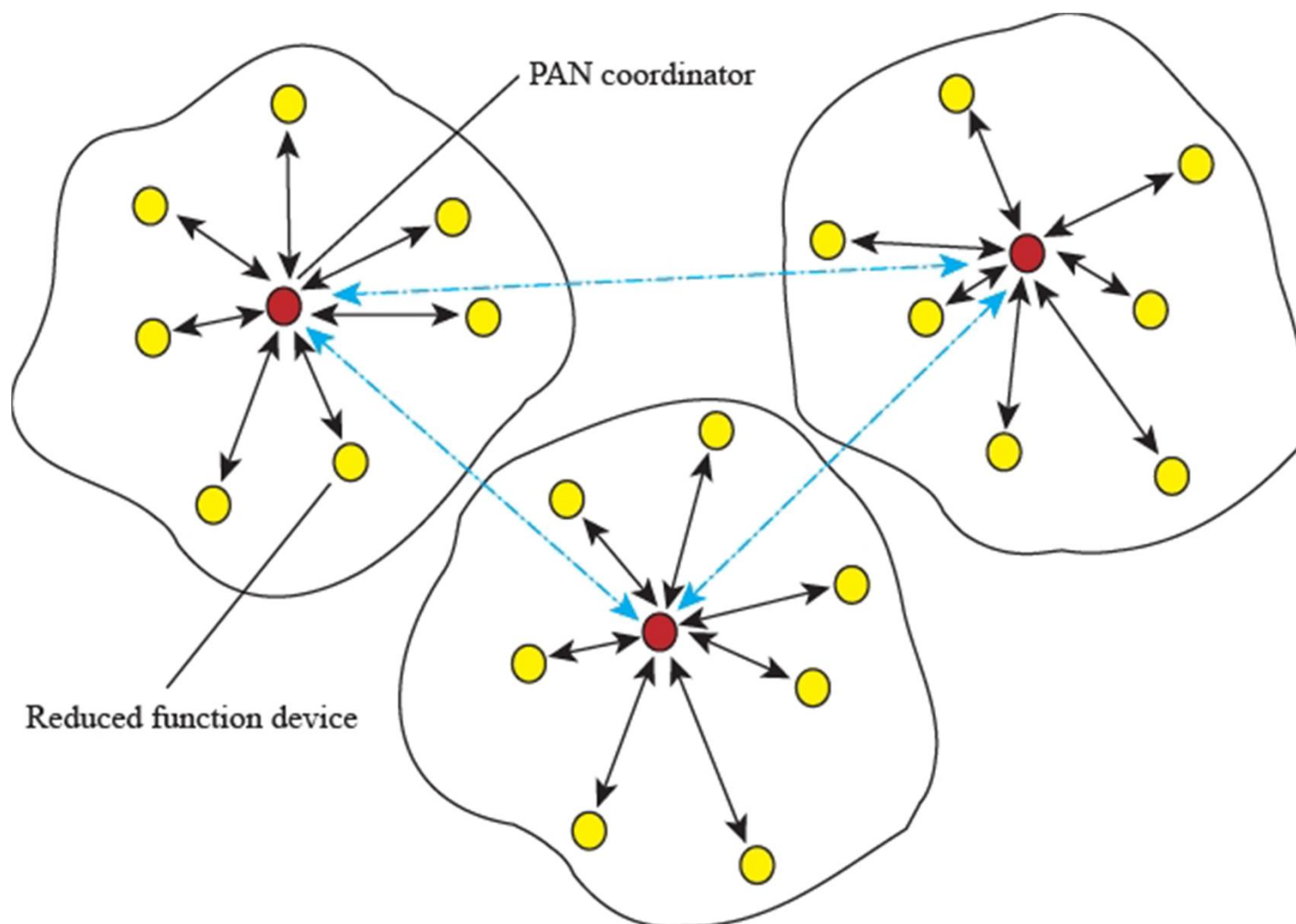
Channels 11-26



IEEE 802.15.4

- IEEE 802.15.4 mreža se sastoji od uređaja sa punom funkcijom (Full-Function Device, FFD) i uređaja sa smanjenom funkcijom (Reduced-Function Device, RFD)
- Mreža sadrži bar jedan FFD uređaj
- FFD uređaj može biti u sledećim modovima rada:
 - ✓ PAN koordinator
 - ✓ koordinator ili uređaj
- FFD može da komunicira sa RFD ili FFD uređajima
- RFD može da komunicira samo sa FFD uređajima

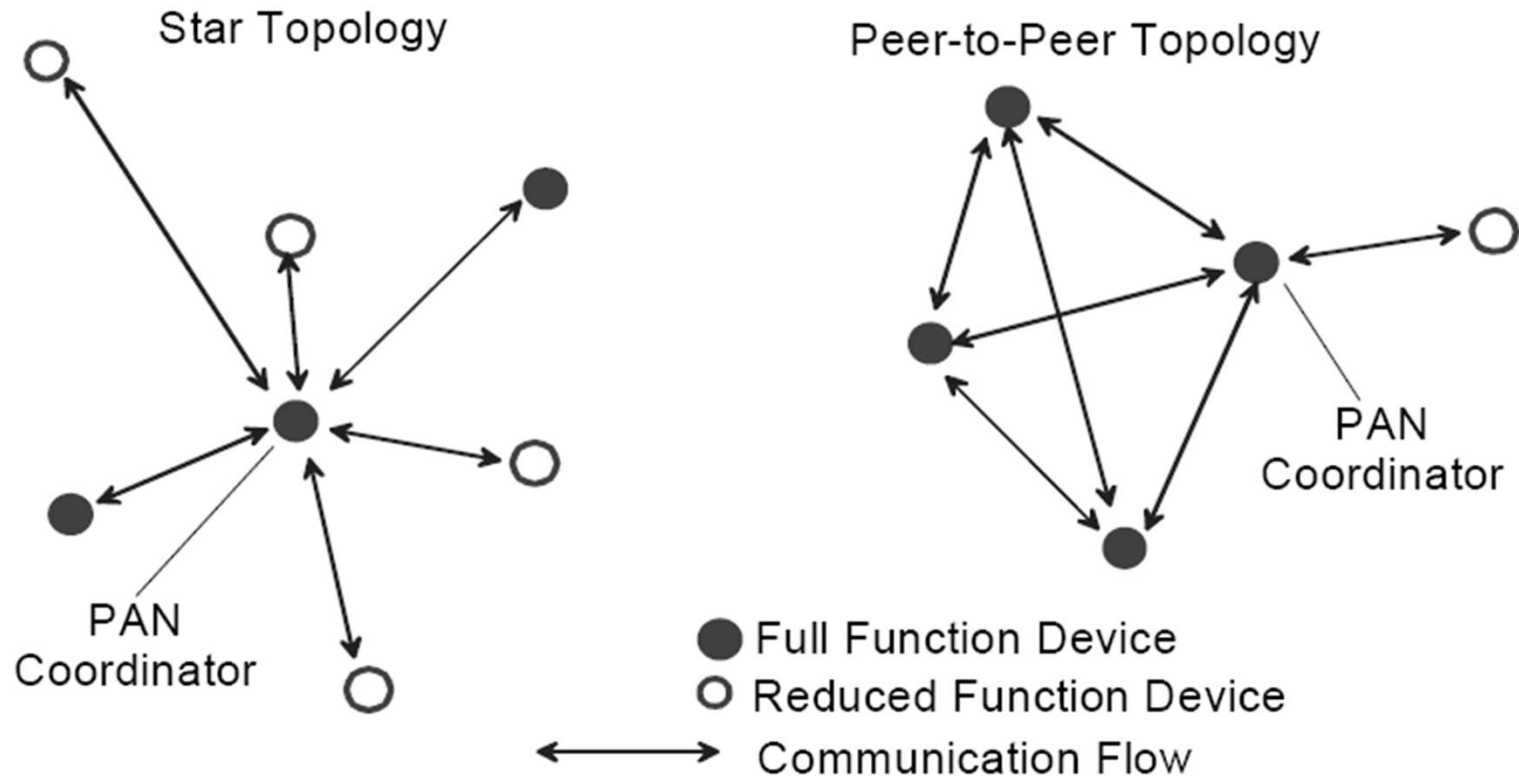
Ilustracija IEEE 802.15.4 mreže



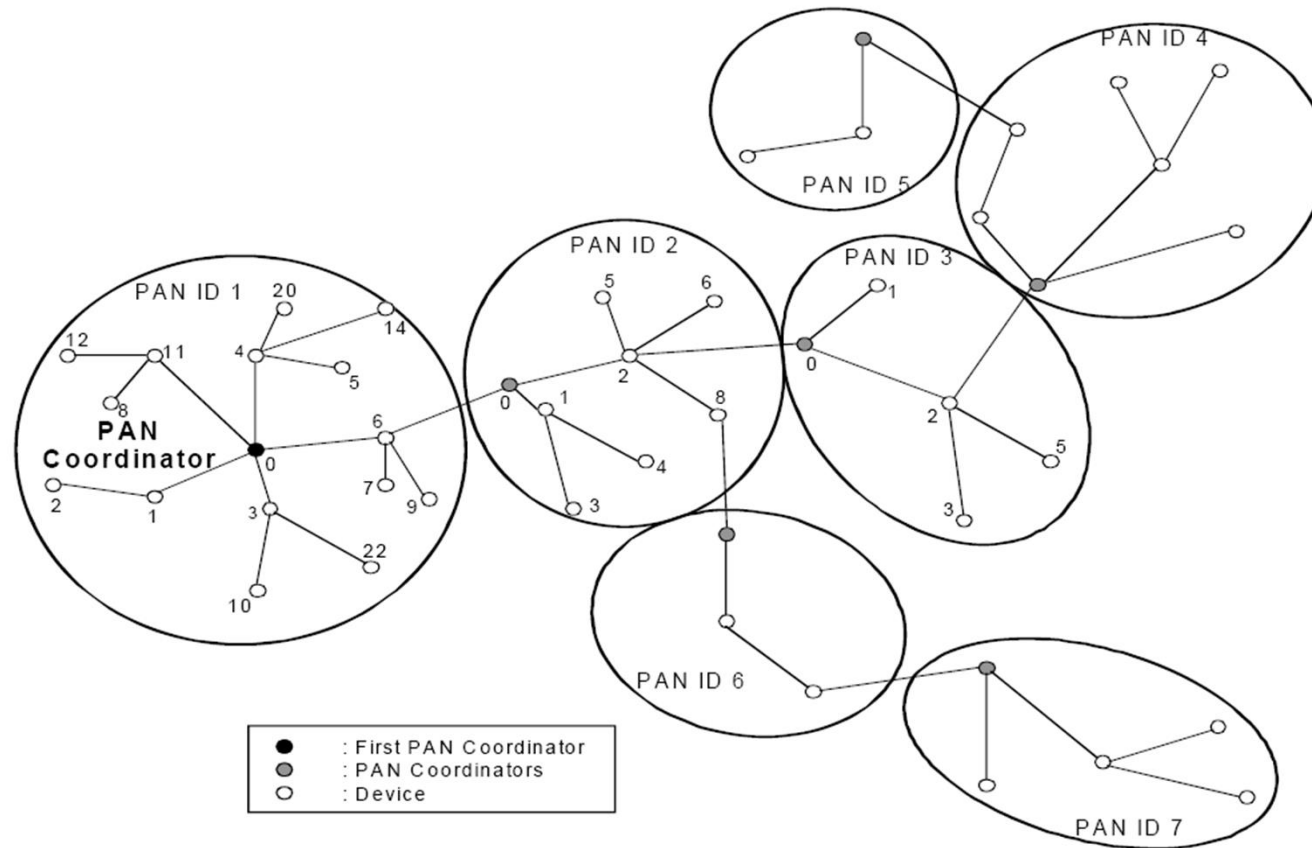
IEEE 802.15.4

- Koriste se tri tipa topologije za WSN mreže:
 1. topologija zvezde (star)
 2. topologija sa komunikacijom suseda koji imaju link između sebe (peer-to-peer, P2P)
 3. cluster tree topologija sa razgranatom strukturom i grupisanjem uređaja
- Topologije su ilustrovane sledećim slikama

Star i peer-to-peer topologije



Cluster-tree topologija



Profesor dr Miroslav Lutovac

mlutovac@viser.edu.rs

Ova prezentacija je nekomercijalna.

Slajdovi mogu da sadrže materijale preuzete sa Interneta, stručne i naučne građe, koji su zaštićeni Zakonom o autorskim i srodnim pravima.

Ova prezentacija se može koristiti samo privremeno tokom usmenog izlaganja nastavnika u cilju informisanja i upućivanja studenata na dalji stručni, istraživački i naučni rad i u druge svrhe se ne sme koristiti –

Član 44 - Dozvoljeno je bez dozvole autora i bez plaćanja autorske naknade za nekomercijalne svrhe nastave:

(1) javno izvođenje ili predstavljanje objavljenih dela u obliku neposrednog poučavanja na nastavi;

- ZAKON O AUTORSKOM I SRODNIM PRAVIMA

("Sl. glasnik RS", br. 104/2009 i 99/2011)