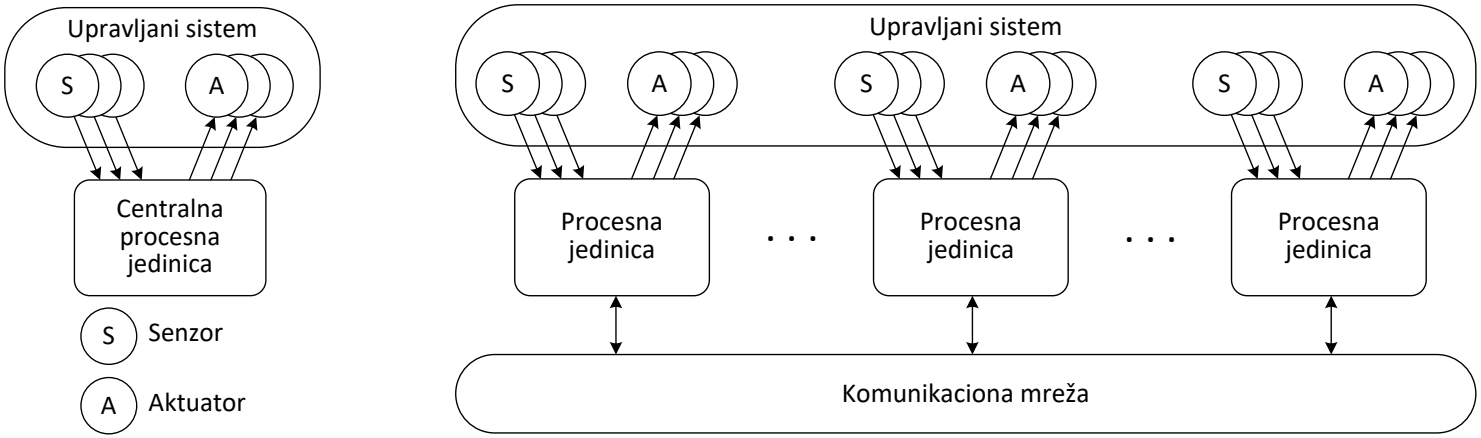
Pametni uređaji

Organizacija embeded sistema

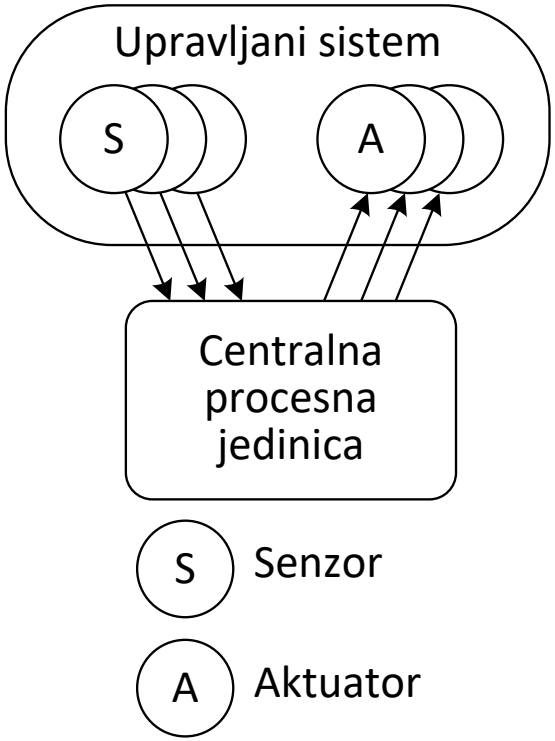
- *Centralizovana* – svi ključni resursi i obrada smeštaju se ili se koncentrišu u jednom centralnom uređaju ili čvoru
- *Distribuirana* - resursi i obrada su raspoređeni između više uređaja koji sarađuju kako bi zajedno obavljali zajednički zadatak



Centralizovani embeded sistem

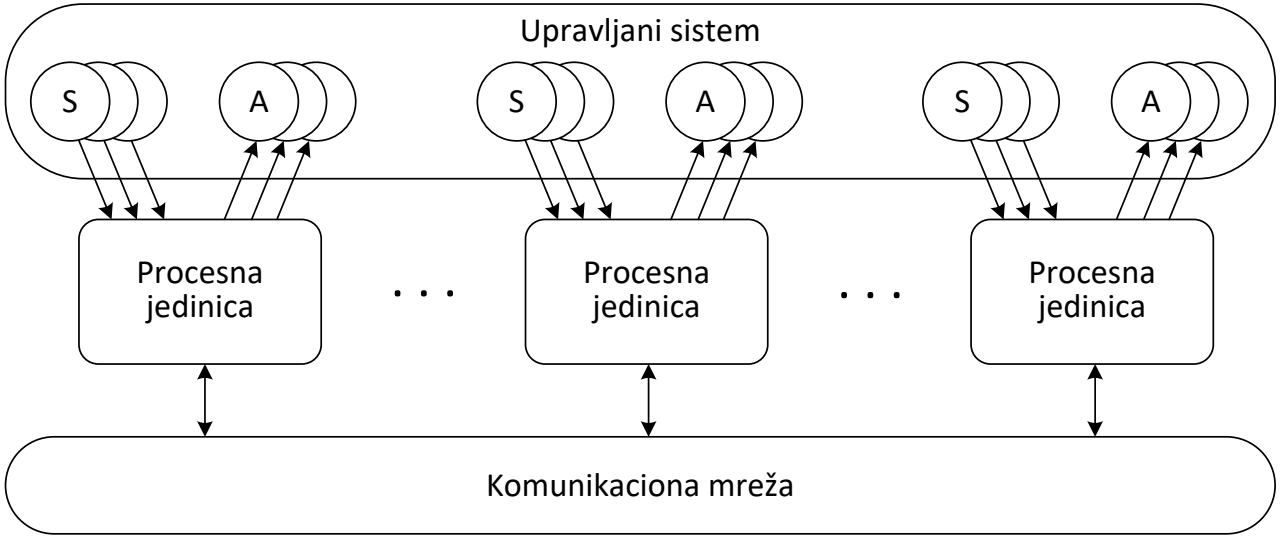
- Svi sistemski resursi su na jednom mestu, pod kontrolom glavnog uređaja
- Jedinstvena centralna procesna jedinica, koji koordinira rad svih delova sistema (senzore, aktuatore i druge komponente)

- Prednosti:
  - Jednostavnost upravljanja
  - Laka koordinacija između različitih komponenti sistema
  - Optimalno korišćenje resursa
  - Jednostavna implementacija sigurnosnih mera
  - Lakše ažuriranje softvera
  - Lakše otkrivanje i otklanjanje problema
- Nedostaci:
  - Ozbiljna ograničenja u situacijama gde se zahtevaju visoka skalabilnost, fleksibilnost, autonomija pojedinih delova sistema ili otpornost na otkaze.



Distribuirani embeded sistemi

- Sistemski resursi (računarski resursi, senzori i aktuatori i druge komponente) su fizički raspoređeni na više procesnih jedinica koje su povezane u mrežu
- Svaka procesna jedinica ima svoj procesor i memoriji, upravlja svojim senzorima i aktuatorima i obavlja specifičan set zadataka, komunicirajući pri tom sa drugim procesnim jedinicama radi postizanja zajedničkog cilja.

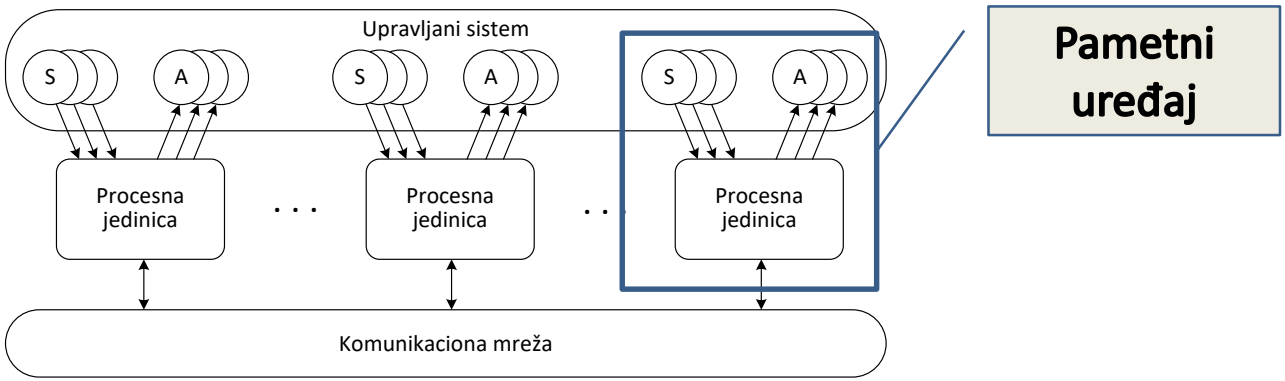


Distribuirani embeded sistemi

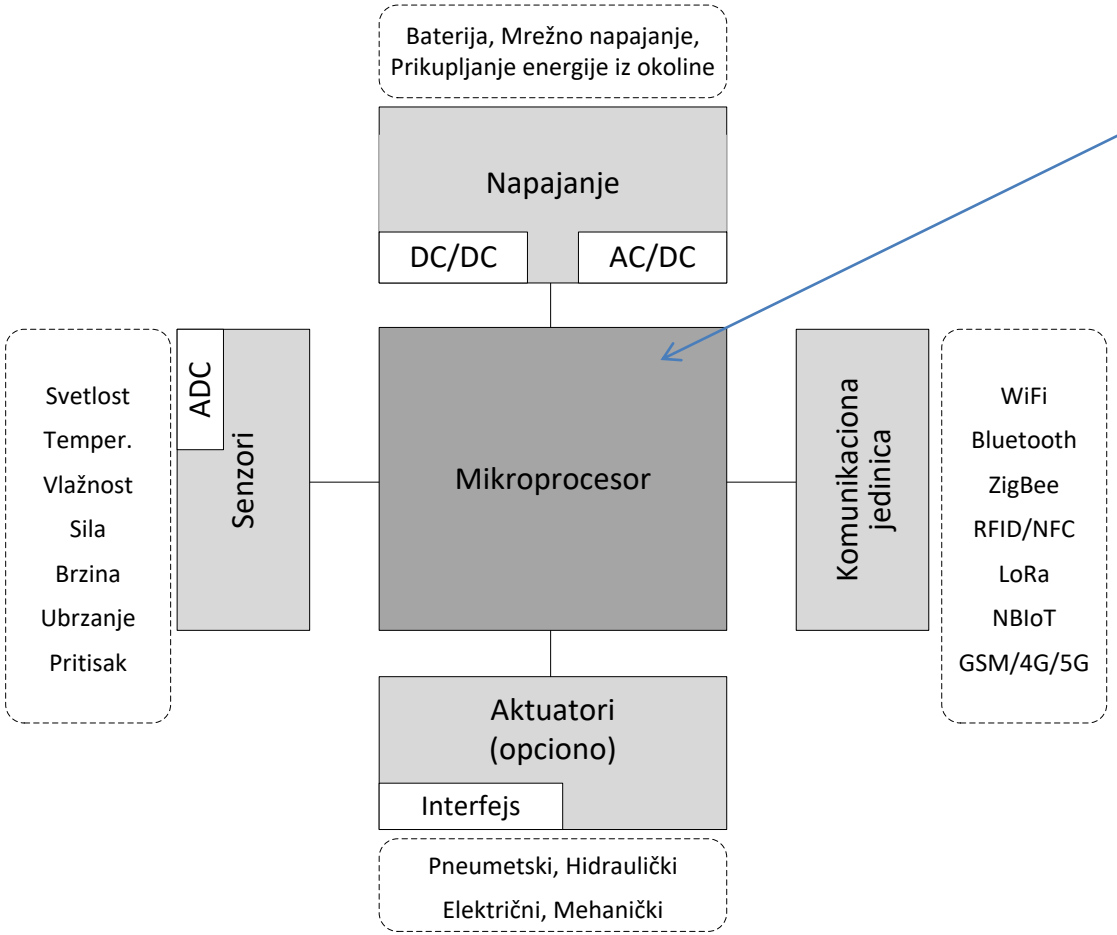
- Ključne karakteristike:
  - *Decentralizacija*: raspodela procesne inteligencije (funkcionalnosti), resursa i podataka na više procesnih jedinica ili uređaja.
  - *Komunikacija:* neophodna radi razmene podataka između samih uređaja ili između uređaja i nadređenog sistema i ostvaruje se putem komunikacione mreže (žičane ili bežične)
  - *Koordinacija i sinhronizacija aktivnosti*, radi ostvarenje zajedničke funkcionalnost, umreženi uređaji moraju da koordinišu (usklađuju) i sinhronizuju svoje aktivnosti (ne svako za sebe, već svi zajedno).
- Prednosti:
  - *Fleksibilnost*:
    - lako prilagođenje različitim primenama i zahtevima. (Npr. senzori i aktuatori se mogu postaviti na fizičke pozicije koje su optimalne u pogledu izvršenja konkretnog zadatka.
    - Dislocirane procesne jedinice mogu da obavljaju većinu obrade koja se odnosi na njihov lokalni zadatak.
  - *Skalabilnost:* lako proširenja sistema novim procesnim jedinicama i uređajima.
  - *Robusnost*: visok nivo pouzdanosti i otpornosti na greške. Otkaz jedne jedinice ne mora da izazove otkaz celokupnog sistema.

Distribuirani embeded sistemi

- Naš fokus su distribuirani embeded sistemi kod kojih se komunikacija ostvaruje bežičnim putem
- Osnovna gradivna jedinica ovakvih sistem je embeded uređaj koji se odlikuje setom specifičnih karakteristika:
  - Poseduju računarske resurse, u nivou koje je neophodan za implementaciju njihove konkretne funkcionalnosti,
  - Interaguju sa okruženjem, putem senzora i aktuatora,
  - Komunicira sa drugim uređajima, putem komunikacione mreže
  - Poseduje specifične zahteve u pogledu potrošnje energije i napajanja (najčešće, baterijsko napajanje).
- Takav jedna uređaj, u ovom poglavlju, zvaćemo *pametnim uređajem*.



Organizacija pametnog uređaja



- Niski energetski zahtevi,
- Mogućnost integracije senzora i aktuatora
- Male dimenzije
- Ugrađeni sigurnosni elementi

Trendovi razvoja pametnih uređaja

- *Smanjenje fizičkih dimenzija uređaja*:
  - sve veća upotreba MEMS senzora i aktuatora
- *Smanjenje potrošnje energije*:
  - Karakteristično za sve komponente pametnog uređaja, posebno za senzore.
- *Povećanje procesne moći*:
  - Rezultat povećanja funkcionalne složenosti pametnih uređaja
  - Upotreba kompleksnijih komunikacionih protokola.
- *Poboljšanje komunikacionih mogućnosti*:
  - ne samo veće brzine prenosa podataka i domet, već i
  - razvoj i upotreba specijalizovanih komunikacionih protokola.
- *Standardizacija u oblasti komunikacije*:
  - oslonjenost na standarde, a posebno u oblasti komunikacije, je od ključne važnosti za interoperabilnost pametnih uređaja (mogućnost povezivanja u jedinstven sistem uređaja različiti proizvođača).

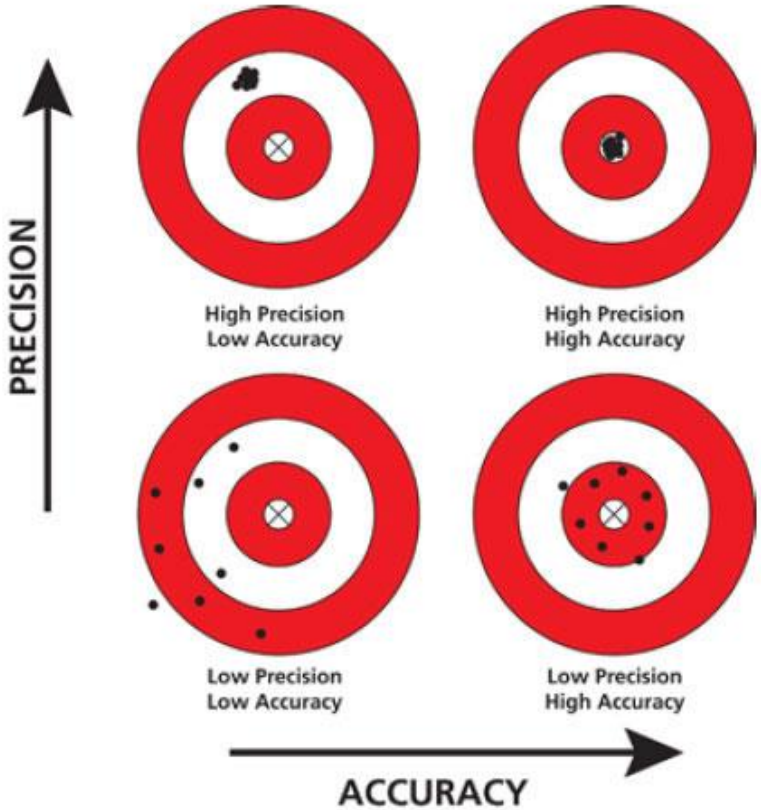
Senzori

- *Senzor*: uređaj ili instrument koji omogućava praćenje ili detekciju različitih vrsta veličina ili događaja, tako što prima i registruje fizičke ili hemijske osobine okoline i pretvara ih u električne signale ili druge merljive forme.
- Senzor je pretvarač (*transducer*), jer pretvara energiju iz jednog u neki drugi oblik, tj. jednu fizičku veličinu pretvaraju u drugu. (električni signal)
- Izlaz senzora je najčešće analogni signal, koji se A/D konvertorom konvertuje u digitalnu reprezentaciju

Senzori
- tačnost i preciznost -

- Greške u merenju su neizbežne:
  - Izmerena vrednost nije uvek podudarna stvarnoj vrednosti merene veličine
  - Uzastopna merenja iste fizičke veličine, po pravilu, ne daju isti rezultat.
- *Tačnost*:
  - Koliko se izmerena vrednost razlikuje od stvarne vrednosti veličine koja se meri
  - Netačnost je posledica sistematskih grešaka u merenju, tj. narušavajućih faktora koji jednako utiču na svako pojedinačno merenje
- *Preciznost*:
  - Ukazuje na stepen doslednosti ili reproduktivnosti merenja kada se ponavljaju pod sličnim uslovima (koliko su ponovljena merenja konzistentna, bez obzira na njihovu tačnost)
  - Nepreciznost je posledica slučajnih grešaka u merenju (promenjivi uslovi u okruženju, uticaja šumova i smetnji, nesavršenosti merne tehnike i sl.)

Senzori
- tačnost i preciznost -



Ishodi ponovljenih merenja.
Tačna vrednost je u sredini mete.
Svaka tačka jedno merenje

- Preciznost merenja se može poboljšati usrednjavanjem uzastopnih merenja (eliminacija efekta slučajnih grešaka)
- Tačnost se može poboljšati:
  - *Kalibracijom* (baždarenjem): usklađivanje i prilagođavanje mernog instrumenta ili senzora sa poznatim standardima ili referentnim vrednostima
  - *Kompenzacijom*: postupak ili tehnika koja se koristi kako bi se korigovali ili neutralisali uticaji faktora koji mogu da izazovu greške ili odstupanja u merenjima (npr. temperaturska kompenzacija)

Senzori
- klasifikacija -

- *Aktivni ili pasivni*:
  - Aktivni senzori ulažu dodatnu energiju tokom merenja, da bi, na neki način pobudili i onda merili ili analizirali odziv okruženja na pobudu. Primeri: radar, sonar, ultrazvučni senzor rastojanja i slično.
  - Pasivni senzori su neposredno izloženi dejstvu fizičke veličine koju mere, a koja menja neku njihovu osobinu. Npr. foto-otpornik čija se otpornost menja u zavisnosti od jačine svetla kome je izložen
  - Primer: Kamera se može smatrati pasivnim senzorom. Kamera sa blicom je aktivni senzor.

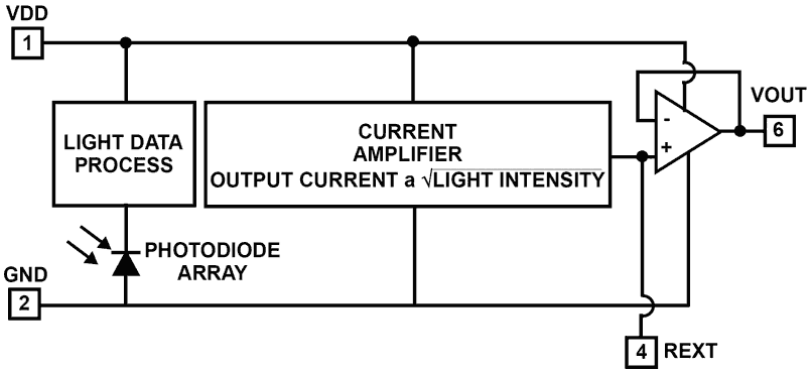
Senzori
- klasifikacija -

- *Analogni i digitalni*:
  - Analogni senzor generiše signal ili napon koji je srazmeran veličini koja se meri i pri tom je kontinualan u vremenu i neprekidno, svojom amplitudom prati promene merene fizičke veličine. (Senzori temperature, brzine, pritiska, pomaka, sile, ...)
  - Analogni senzor zahtevaju upotrebu AD konvertora radi konverzije u digitalnu reprezentaciju.
  - Digitalni senzor generiše na svom izlazu informaciju u digitalnom obliku, tipično u binarnom obliku (0 ili 1, ON ili OFF). Na primer, kontaktni senzor za detekciju otvorenih/zatvorenih vrata spada u ovu kategoriju.
  - U kategoriju digitalnih senzora se svrstavaju i senzorska IC, koja objedinjuju analogni senzor i digitalni interfejse (I2C, SPI) (primer je na sledećem slajdu).

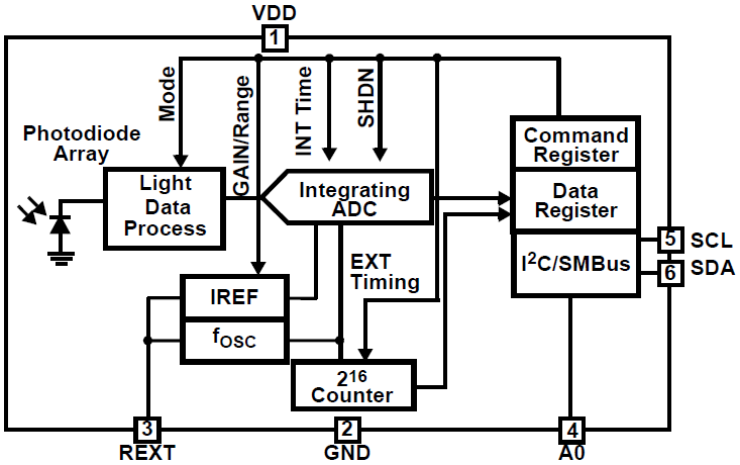
Senzori
- klasifikacija -

- Analogna i digitalna senzorska IC

Analogni senzor ambijentalnog svetla (izlaz je analogni napon, za spregu sa mikroprocesorom neophodan dodatni A/D konvertor)



Digitalni senzor ambijentalnog svetla (objedinjuje senzorski element, A/D konvertor i komunikacioni interfejs (I2C) prema mikrokontroleru)



Senzori
- klasifikacija -

- *Apsolutni i relativni*:
  - Apsolutni senzor meri fizičku veličinu u okviru apsolutne fizičke skala, nezavisno od uslova merenja.
    - Primer: temperaturno osetljivi otpornik (termistor) čija je otpornost direktno srazmerna apsolutnoj temperaturu (u Kelvinima).
  - Relativni senzor meri fizičku veličinu u odnosu na određenu referentnu vrednost.
    - Primer: termopar - vrsta temperaturnog senzora. Napon na izlazu termopara je srazmeran razlici temperature na njegova dva kraja.
- *Kontaktni i beskontaktni*:
  - *Kontaktni senzor* - zahteva direktni fizički kontakt sa objektom koji se meri
    - Primer: kontaktni termometar meri temperaturu tako što direktno dolazi u kontakt sa površinom objekta čija se temperatura meri
  - *Beskontaktni senzor*: omogućava merenje bez direktnog dodira.
    - Primer: Infracrveni termometar je beskontaktni senzor, jer meri temperaturu bez kontakta sa objektom (meri intenzitet infracrvenog zračenja koje objekat emituje).
- *Prema načinu merenja*:
  - Fizički mehanizam koji se koristi za merenje: termoelektrični, elektrohemijski, piezootporni, optički, električni, fluidni, mehanički, fotoelastički

Senzori
- klasifikacija -

- Podela prema fizičkoj veličini koja se meri:

Sensor Types	Description	Examples
Position	A position sensor measures the position of an object; the position measurement can be either in absolute terms (absolute position sensor) or in relative terms (displacement sensor). Position sensors can be linear, angular, or multi-axis.	Potentiometer, inclinometer, proximity sensor
Occupancy and motion	Occupancy sensors detect the presence of people and animals in a surveillance area, while motion sensors detect movement of people and objects. The difference between the two is that occupancy sensors generate a signal even when a person is stationary, whereas motion sensors do not.	Electric eye, radar
Velocity and acceleration	Velocity (speed of motion) sensors may be linear or angular, indicating how fast an object moves along a straight line or how fast it rotates. Acceleration sensors measure changes in velocity.	Accelerometer, gyroscope
Force	Force sensors detect whether a physical force is applied and whether the magnitude of force is beyond a threshold.	Force gauge, viscometer, tactile sensor (touch sensor)
Pressure	Pressure sensors are related to force sensors, measuring force applied by liquids or gases. Pressure is measured in terms of force per unit area.	Barometer, Bourdon gauge, piezometer
Flow	Flow sensors detect the rate of fluid flow. They measure the volume (mass flow) or rate (flow velocity) of fluid that has passed through a system in a given period of time.	Anemometer, mass flow sensor, water meter

Senzori
- klasifikacija -

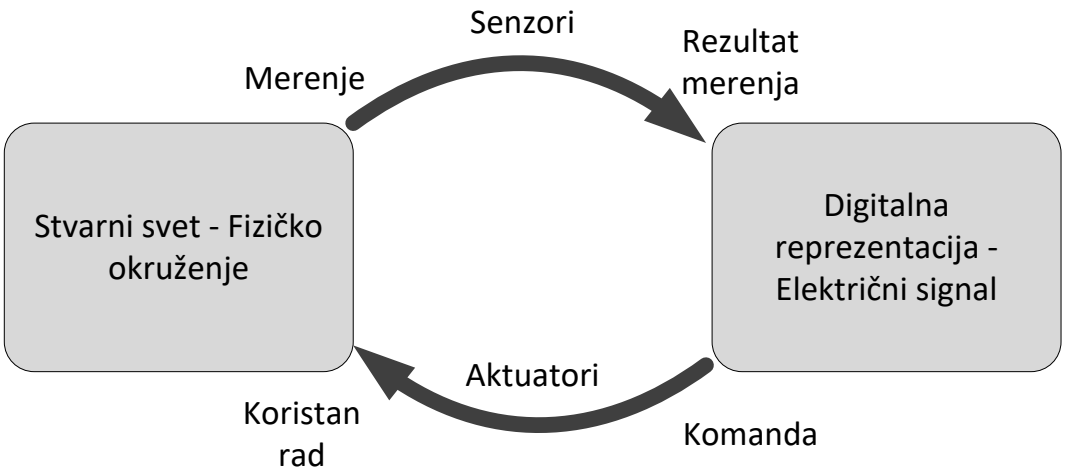
- Podela prema fizičkoj veličini koja se meri:

Acoustic	Acoustic sensors measure sound levels and convert that information into digital or analog data signals.	Microphone, geophone, hydrophone
Humidity	Humidity sensors detect humidity (amount of water vapor) in the air or a mass. Humidity levels can be measured in various ways: absolute humidity, relative humidity, mass ratio, and so on.	Hygrometer, humistor, soil moisture sensor
Light	Light sensors detect the presence of light (visible or invisible).	Infrared sensor, photodetector, flame detector
Radiation	Radiation sensors detect radiation in the environment. Radiation can be sensed by scintillating or ionization detection.	Geiger-Müller counter, scintillator, neutron detector
Temperature	Temperature sensors measure the amount of heat or cold that is present in a system. They can be broadly of two types: contact and non-contact. Contact temperature sensors need to be in physical contact with the object being sensed. Non-contact sensors do not need physical contact, as they measure temperature through convection and radiation.	Thermometer, calorimeter, temperature gauge
Chemical	Chemical sensors measure the concentration of chemicals in a system. When subjected to a mix of chemicals, chemical sensors are typically selective for a target type of chemical (for example, a CO_2 sensor senses only carbon dioxide).	Breathalyzer, olfactometer, smoke detector
Biosensors	Biosensors detect various biological elements, such as organisms, tissues, cells, enzymes, antibodies, and nucleic acid.	Blood glucose biosensor, pulse oximetry, electrocardiograph

Senzori
- šta sve imamo u mobilnom telefonu -

Aktuatori

- *Aktuator*: uređaj ili komponenta (električna, elektro-mehanička, hidraulička ili pneumatska) koja prima određeni tip kontrolnog signala (električni signal ili digitalna komanda) i izaziva određeni fizički efekat, obično neku vrstu pokreta, sile, itd.
- Transformišu električne signale u konkretno kretanje ili rad.
- Aktuatori igraju ključnu ulogu u automatizaciji sistema; omogućavaju kontrolu i upravljanje različitim procesima.
- Primeri: elektromotori, hidraulični i pneumatski cilindri, elektromagneti uređaji i slične komponente koje izvršavaju mehaničke, električne, hidrauličke i pneumatske funkcije.



Aktuatori
- primeri -

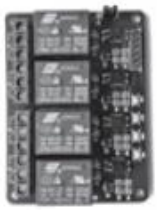
(a) Brushless DC motor

(b) Brushless DC motor

(c) Stepper motor

(d) Geared stepper motor

(e) DC motor



(f) Relay array

(g) Hydroelectric generator

(h) Hydroelectric generator

(i) Solenoid-based flow valve

(j) Solenoid-based flow valve

Aktuatori
- klasifikacija -

- *Tip kretanja*: linearno, rotaciono ili kretanje po jednoj, dve ili tri ose (tj. 1D, 2D, ili 3D).
- *Snaga*: Aktuatori se razlikuju po izlaznoj snazi, odnosno po snazi koju isporučuju okruženju tokom svog rada. Tako, postoje:
  - *Aktuatori velike snage*: koriste se tamo gde je potrebno delovati velikom silom ili izazvati veliko kretanje,
  - *Aktuatori male snage*: karakterišu se srednjim nivoom izlazne snage i koriste se u primenama gde je precizna kontrola kretanja od primarne važnosti.
  - *Aktuatori mikro snage*: pogodni za primene gde je glavni prioritet mala potrošnja energije.
- *Binarni ili kontinualni*: Broj stabilnih stanja aktuatora.
  - Binarni, ili *on/off* aktuatori imaju samo dva stabilna stanja: aktivno ili neaktivno (električni prekidač, relej, solenoid, pneumatski ventil itd.)
  - Kontinualni, takođe poznati kao analogni ili proporcionalni aktuatori karakteristični su po kontinualnom (neprekidnom) opsegu vrednosti. Omogućavaju varijabilno upravljanje izlazom (proporcionalni ventil, servo sistemi, hidraulički cilindri itd.)

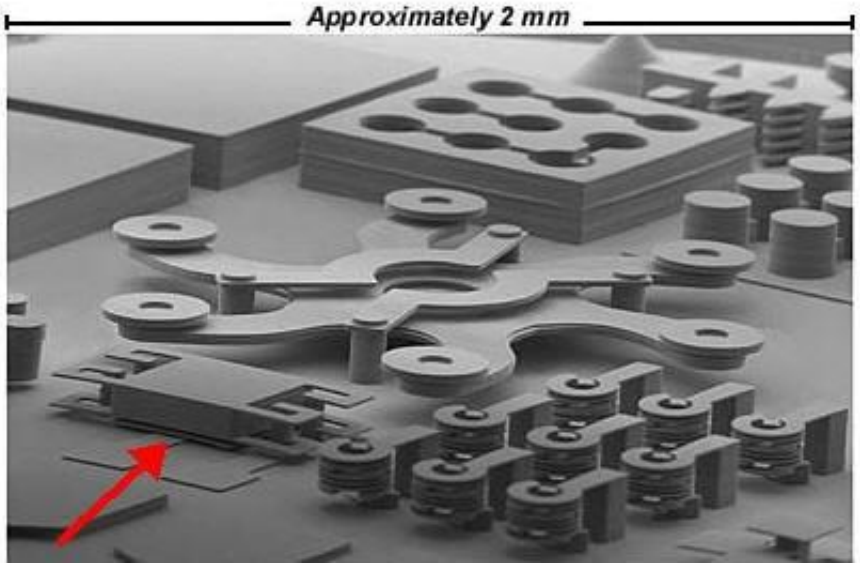
Aktuatori
- klasifikacija -

- Klasifikacija prema vrsti energije:

Type	Examples
Mechanical actuators	Lever, screw jack, hand crank
Electrical actuators	Thyristor, biopolar transistor, diode
Electromechanical actuators	AC motor, DC motor, step motor
Electromagnetic actuators	Electromagnet, linear solenoid
Hydraulic and pneumatic actuators	Hydraulic cylinder, pneumatic cylinder, piston, pressure control valves, air motors
Smart material actuators (includes thermal and magnetic actuators)	Shape memory alloy (SMA), ion exchange fluid, magnetorestrictive material, bimetallic strip, piezoelectric bimorph
Micro- and nanoactuators	Electrostatic motor, microvalve, comb drive

MEMS

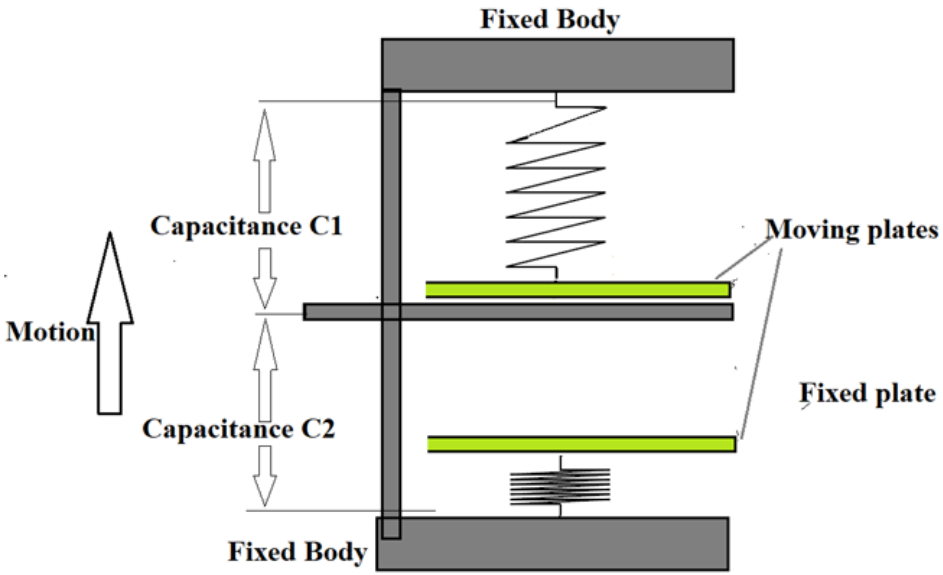
- MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) - "*Mikroelektromehanički sistemi*".
- Tehnologija koja omogućava integraciju mikro-elektronskih i mikro-mehaničkih sklopova i struktura na vrlo malom prostoru (na čipu, IC, veličine nekoliko milimetara ili manje).
- MEMS IC često sadrži male mehaničke strukture, senzore, aktuatore i mikro-elektronske komponente.
- Mogu izvršavati različite funkcije: merenje, detekciju, upravljanje i druge zadatke
- Danas se koriste u mnogim oblastima, uključujući elektroniku, telekomunikacije, medicinu, transport, senzorske mreže i druge.



MEMS
- primeri -

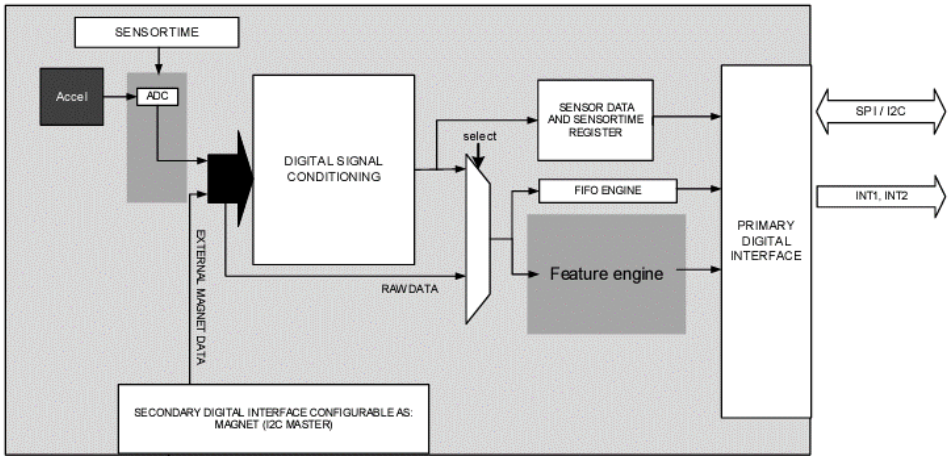
- Akcelerometar (merenje ubrzanja),
- Žiroskop (merenje rotacione orijentacije),
- Mikrofon (minijaturni mikrofoni male potrošnje i visoke osetljivosti),
- Senzor (atmosferskog) pritiska,
- Inercioni senzori (merenje ubrzanja, brzine i orijentacije),
- DLP projektorski čipovi (digitalni svetlosni procesori - za projekciju slike u televizorima i projektorskim sistemima),
- BioMEMS (koriste se u medicini za analizu bioloških materijala, dijagnostiku bolesti i druge medicinske primene),
- MEMS spektrometri (Koriste se u analitičkoj hemiji za identifikaciju i analizu hemijskih supstanci).

MEMS akcelerometar (primer)



MEMS IC

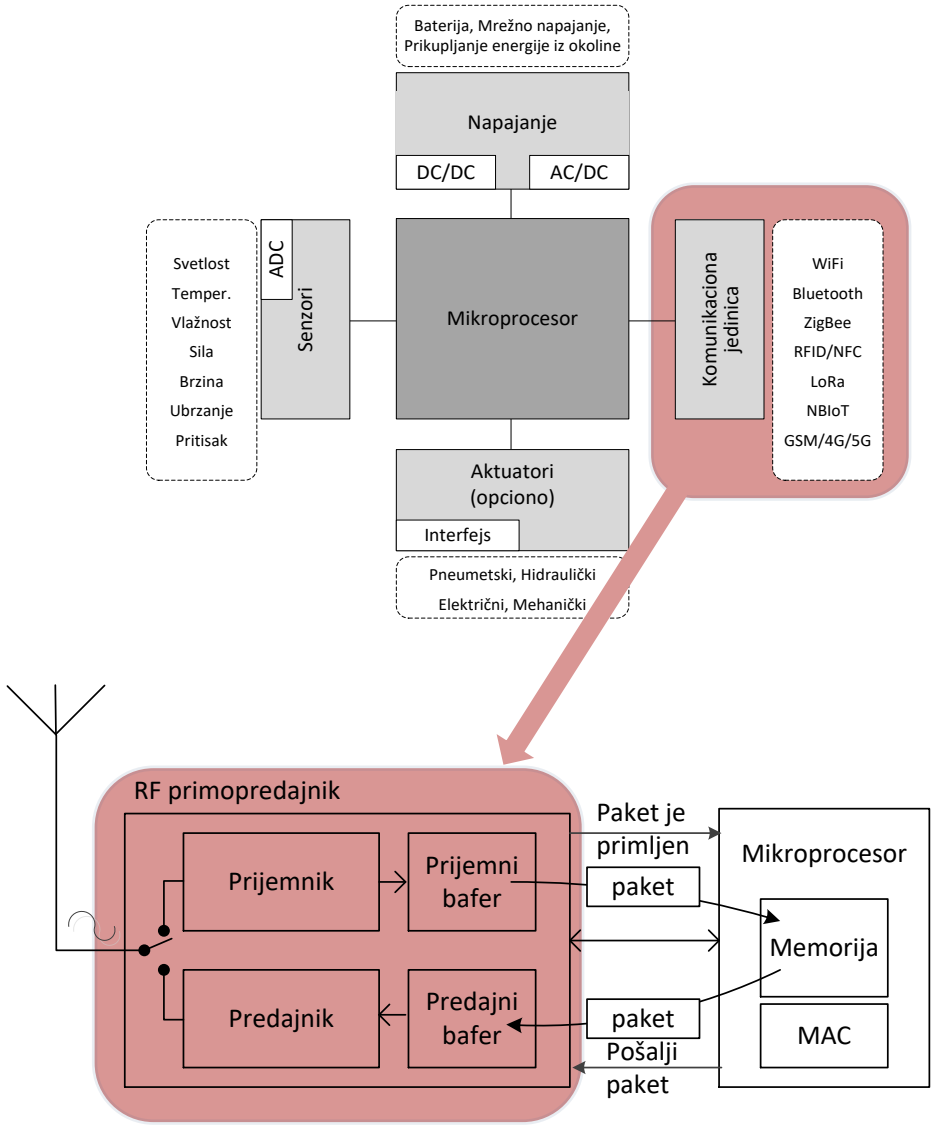
Unutrašnja struktura MEMS IC akcelerometra



Princip: pri ubrzanom kretanju na metalne ploče deluje sila zbog čega se opruga isteže ili sabija, čime se menja kapacitivnost između pokretnih i nepokretne metalne ploče

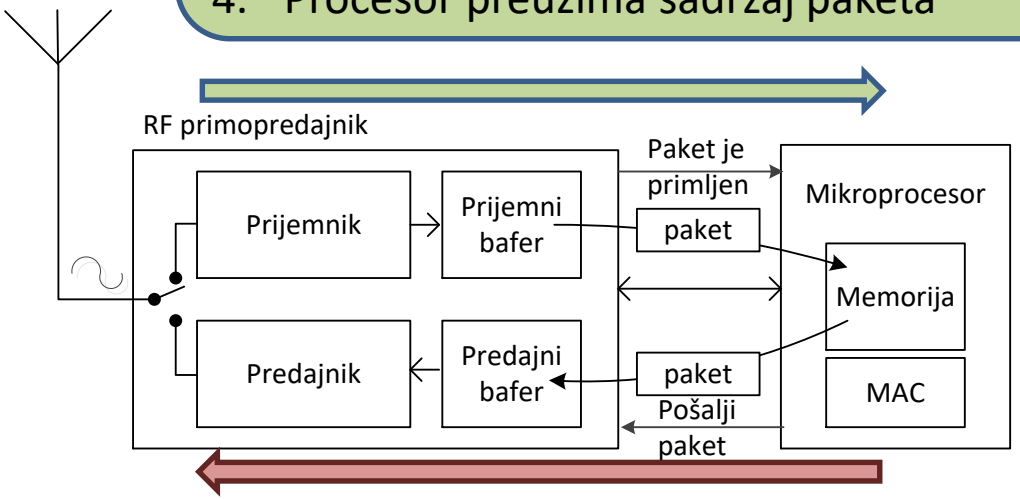
Komunikaciona jedinica

- *Bežična komunikaciona jedinica*: RF primopredajnik (kombinacija RF predajnika i RF prijemnika u okviru jedne jedinice)
- Alternativni naziv: RF transiver
- Na jednom kraju antena, na drugom mikroprocesor
- Na predajnoj strani: konvertuje informaciju koju treba preneti iz digitalnog u analogni domen, odnosno u RF signal koji se putem antene pretvara u elektromagnetni talas
- Na prijemnoj strani: konvertuje primljeni RF signal nazad u digitalni signal, koji se dalje procesira i isporučuje mikroprocesoru



RF primopredajnik

1. RF prijemnik obrađuje primljeni signal iz antene (filtriranje, pojačanje),
2. Vrši demodulaciju, proverava ispravnost prenosa i primljene podatke smešta u prijemni bafer
3. Obaveštava procesor da je primljen novi paket (prekid)
4. Procesor preuzima sadržaj paketa

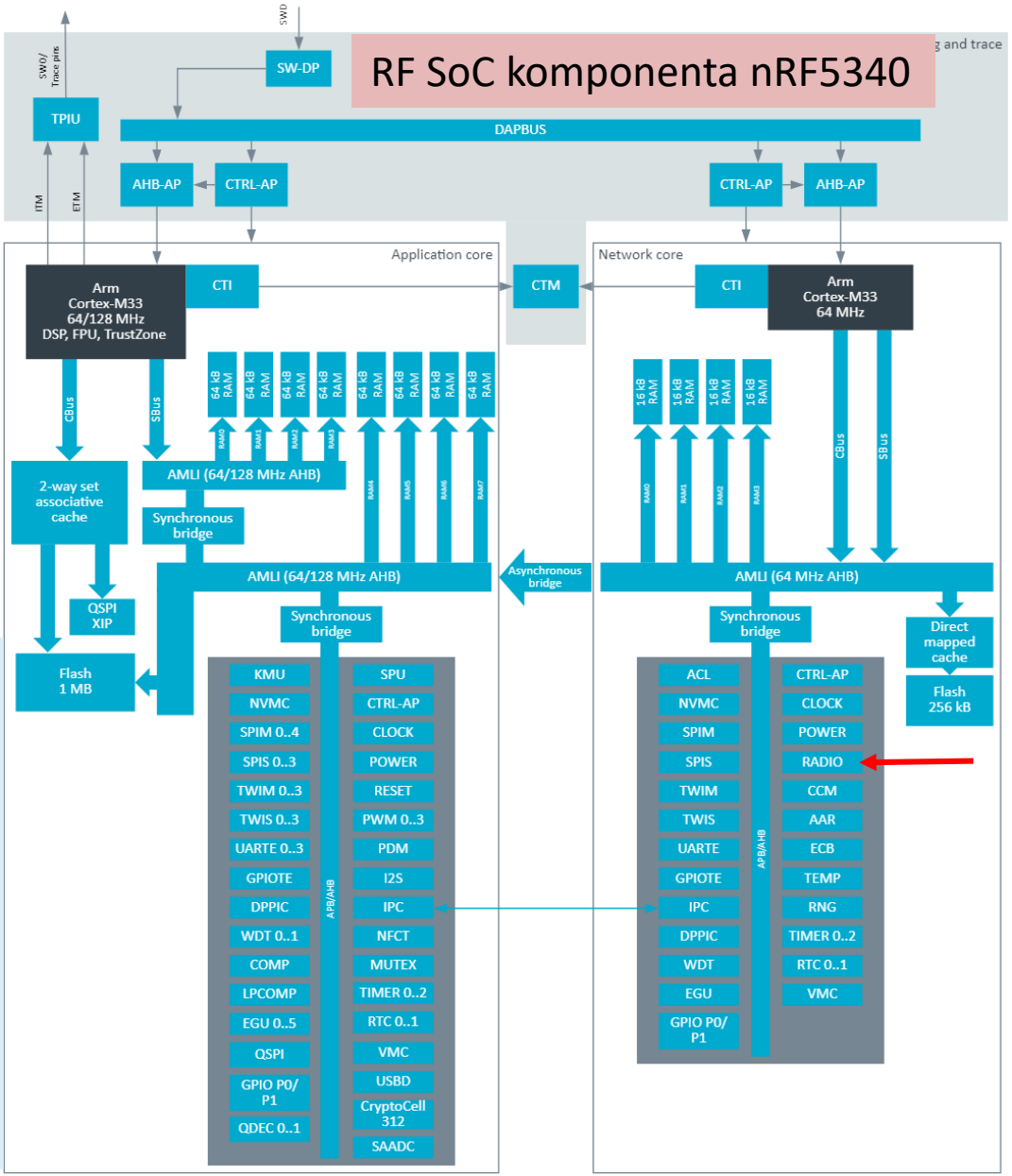


Između RF primopredajnika i procesora se razmenjuju paketi podataka.
Paket = poruka + adrese pošiljaoca i primaoca

1. Procesor upisuje sadržaj paketa u predajni bafer i izdaje komandu za prenos
2. RF predajnik vrši modulaciju i obradu modulisanog signala (filtriranje, pojačanje) i
3. Prosleđuje modulisani signal anteni.

RF primopredajnik

- RF transiver se realizuje u vidu integrisanog kola (IC), koje je putem nekog od standardnih serijskih komunikacionih interfejsa (I2C, SPI ili UART) povezano sa mikroprocesorom
- RF SoC (*RF System on Chip*) RF transiver i procesor integrisani u jedno kompaktno IC.



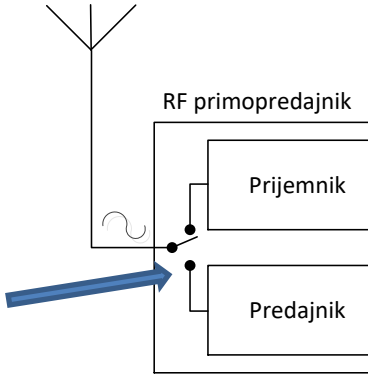
128/64 MHz Arm Cortex-M33 application processor with 1 MB Flash & 512 KB RAM
64 MHz Arm Cortex-M33 network processor with 256 KB Flash & 64 KB RAM
Bluetooth Low Energy
Bluetooth Direction Finding
Matter
Bluetooth mesh, Thread, Zigbee
NFC
Advanced security
USB, QSPI, HS-SPI
1.7-5.5 V supply voltage range

RF primopredajnik - karakteristike -

- *Frekventni opseg*:
  - RF primopredajnik radi u određenom opsegu frekvencija (ISM)
  - Frekventni opseg je, tipično, podeljen na više frekventnih kanala, uz mogućnost izbora radne frekvencije (kanala).
- *Modulacija*:
  - Podrška za osnovne tipovi modulacije: AKS, FKS i PKS
  - Kod nekih RF primopredajnika postoji mogućnost izbora tipa modulacije
- *Izlazna snaga*:
  - Snagu emitovanog RF signala.
  - Tipično, postoji mogućnost podešavanja izlazne snage.
  - Veća izlazna snaga => veći domet komunikacije.
  - Za primenu kod pametnih uređaja, mala izlazna snaga:
    - Mala izlazna snaga štedi energiju
    - Korišćenje radio-frekventnog spektra je podložno strogoj regulativi, koja, između ostalog specificira i maksimalnu izlaznu snagu predajnika. Ograničenje izlazne snage na male nivoe je karakteristično za ISM opseg.

RF primopredajnik
- karakteristike -

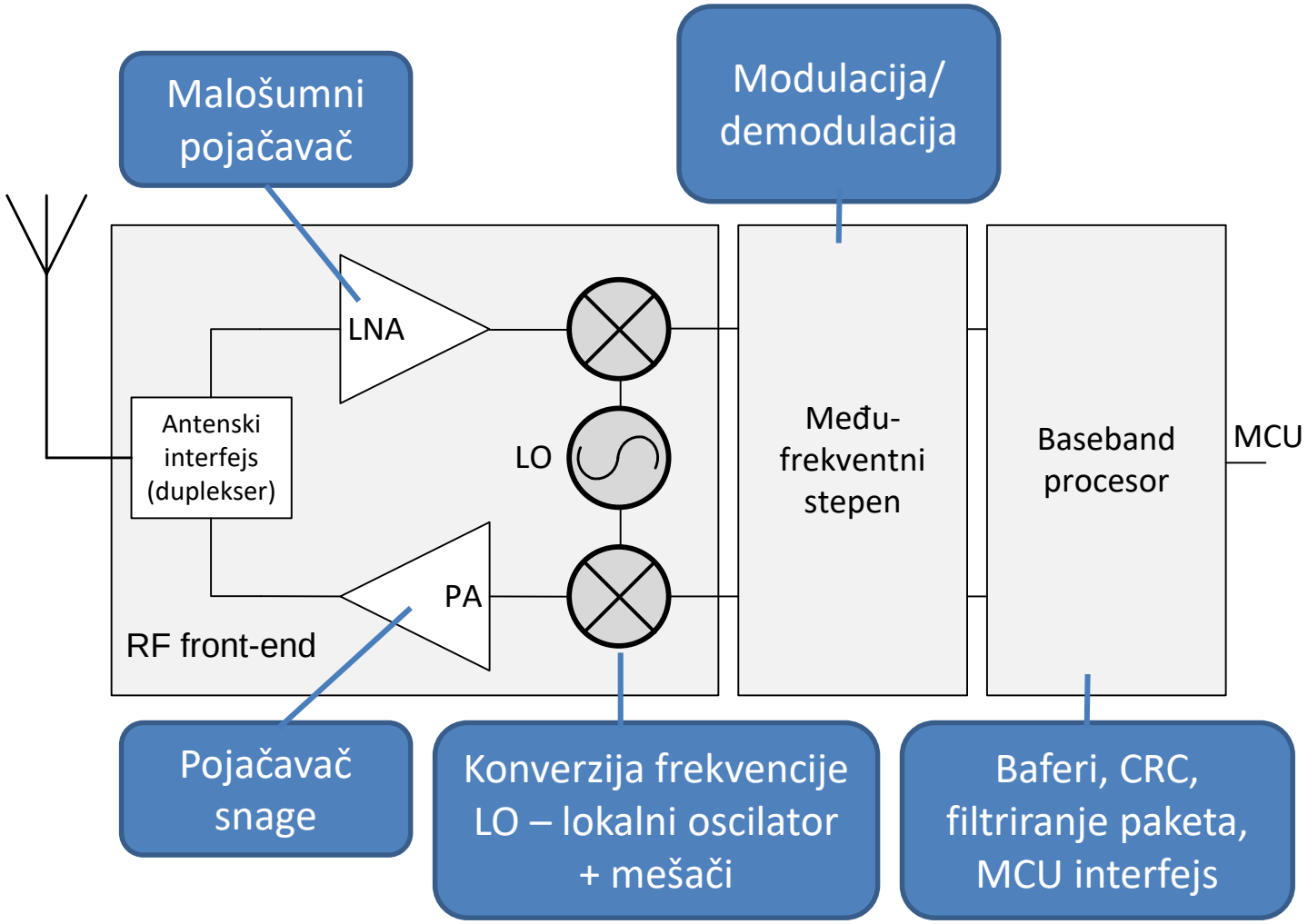
- *Osetljivost prijemnika*:
  - Minimalni nivo RF signala koji primopredajnik može da detektuje.
  - Prijemnik veće osetljivosti može da registruje slabije signale.
  - RF domet je podjednako određen izlaznom snagom predajnika i osetljivošću prijemnika.
- *Brzina prenosa podataka:*
  - Odnosi se na brzinu kojom se informacija predaje i prima.
  - Izražava se u jedinicama Kbs (kilobita u sekundi) ili Mbs (megabita u sekundi)
  - Zavisi od modulacione šeme, propusnog opsega i odnosa signal-šum u komunikacionom kanalu.
  - Kod nekih RF primopredajnika postoji mogućnost izbora brzine prenosa podataka.
  - Za veće brzine prenosa, potrebno je širi propusni opseg i dovoljno visok odnos signal-šum.
- *Polu-dupleksni način rada*:
  - RF primopredajnik može ili da emituje ili da prima, ali ne oba u isto vreme
  - Po pravilu, za predaju i prijem se koristi ista antena
  - Duplekser: RF komponenta koja omogućava da se antena deli između predajne i prijemne sekcije primopredajnika



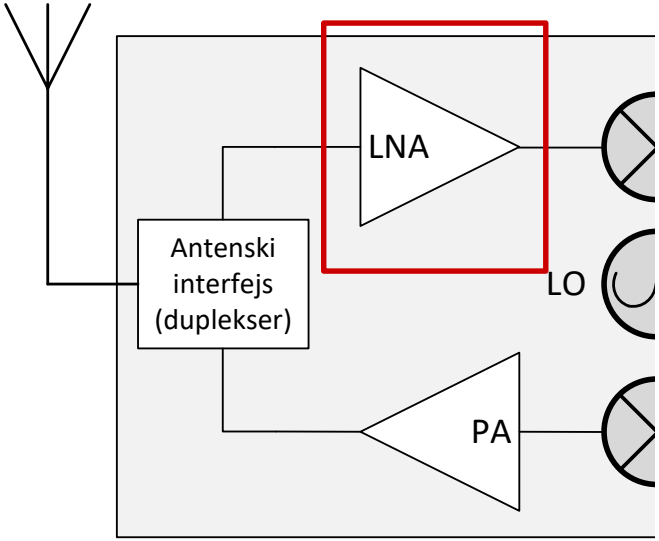
RF primopredajnik
- napomene -

- Većina parametar rada RF primopredajnika se može podešavati, tj. programirati: noseća frekvencija (kanal), tip modulacije, izlazna snaga, brzinu prenosa podataka.
- Da bi komunikacija između dva primopredajnika bila moguća, njihovi parametri komunikacije moraju biti usaglašeni.
- RF domet je veći ako je izlazna snaga predajnika veća i/ili je osetljivost prijemnika veća.
- Izloženost RF signala pojačanom šumu i interferenciji, smanjuje domet komunikacije.
- Pri istim uslovima prenosa, veća brzina prenosa podataka znači manji domet.
- Na domet značajno utiče i okruženje:
  - Da li se signal prenosi u otvorenom ili zatvorenom prostoru (domet je veći u otvorenom prostoru).
  - Da li u prostoru između predajnika i prijemnika postoje objekti i prepreke, odnosno da li je prisutna refleksija signala i feding.

Struktura RF primopredajnika



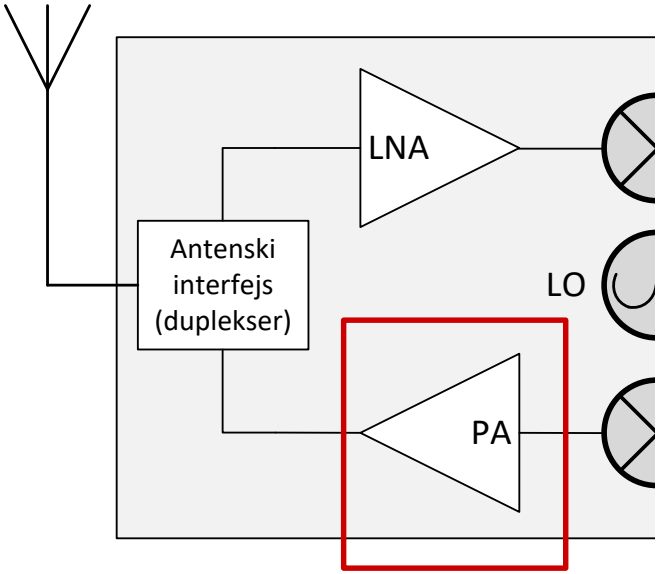
Struktura RF primopredajnika
- LNA -



- *LNA (Low-noise amplifier*), ili *malošumni pojačavač*:
- Pojačanje slabog RF signala, primljenog antenom, na nivo koji se lako može obraditi narednim stepenima u prijemniku, uz minimalni unos dodatnog šuma.
- Obično se nalazi blizu antene, kako bi se minimizirali gubici signala i poboljšao odnos signal-šum.
- Mora imati:
  - Visoku linearnost, kako bi se izbeglo unošenje distorzije i inter-modulacionih produkata, i
  - Širok dinamički opseg, kako bi mogao da pojačava i slabe i jake signale bez prekoračenja i zasićenja.
- Upotreba LNA poboljšava osetljivost prijemnika i omogućava prijem slabih signala u prisustvu šuma i interferencije.

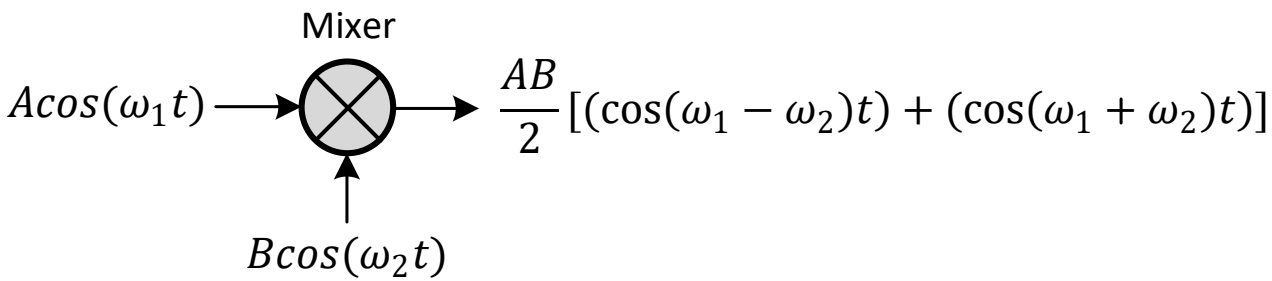
Struktura RF primopredajnika
- PA -

- *Pojačavač snage* (PA – *Power Amplifier*): pojačanje RF signala sa izlaza mešača na nivo pogodan za prenos putem antene.
- Performanse PA su važne da bi se osiguralo da izlazni signal ispunjava regulatorne zahteve koji se tiču izlazne snage i spektralne čistoće (širina spektra).
- Takođe, efikasnost PA mora biti visoka, kako bi se minimizirala potrošnja energije i disipacija toplote.



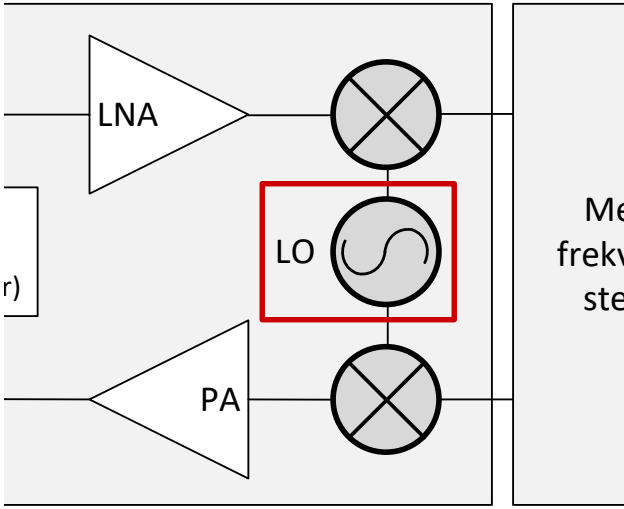
Struktura RF primopredajnika
- Mešač -

- *Mešač* (*Mixer*): množi dva signala različitih frekvencija i generiše signal nove frekvencije koja je jednaka zbiru ili razlici frekvencija ulaznih signala.
- Koristi se u procesu konverzije frekvencije:
  - *Down*_konverzija: prijemni RF signal (iz antene) se konvertuje u signal niže (tzv. među-) frekvencije
  - *Up*-konverzija: signal među-frekvencije konvertuje u visoko-frekventni RF signal (za emitovanje)
- Nakon miksera sledi filter kojim se odstranjuje neželjena komponenta, tako da ostane samo komponenta $w_1 - w_2$, u slučaju *down*-konverzije, odnosno $w_1 + w_2$, za slučaj *up*-konverzije.



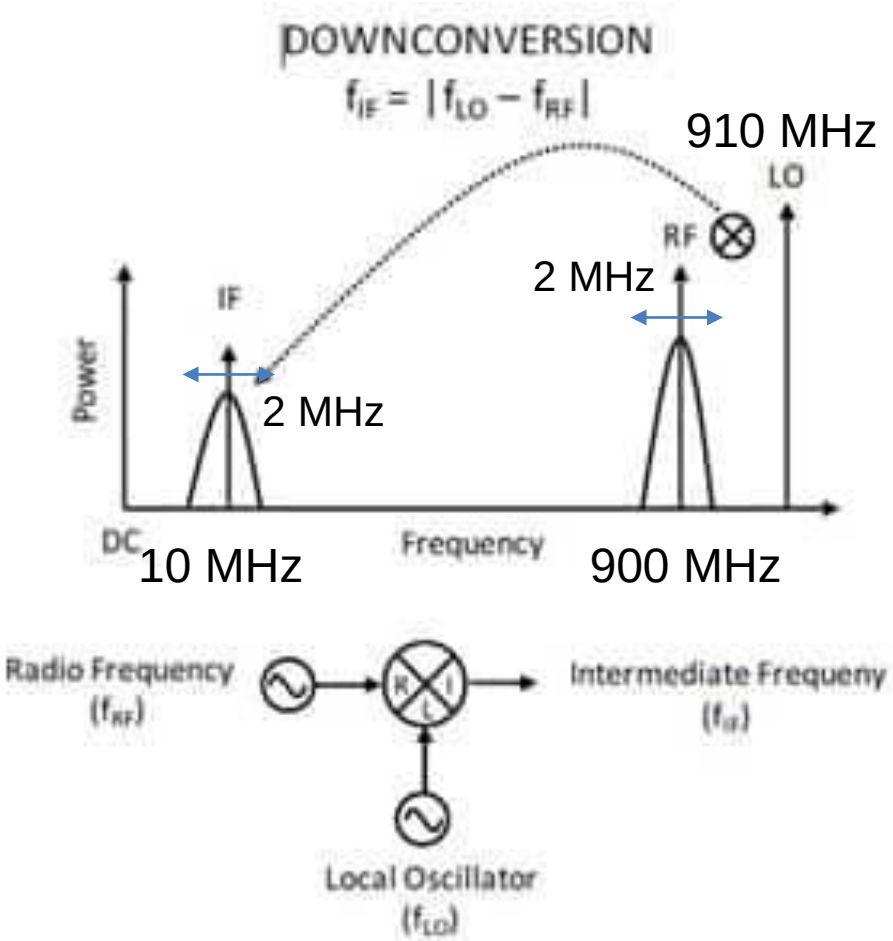
Struktura RF primopredajnika
- LO -

- *Lokalni oscilator* (LO):
- Generiše lokalni prosto-periodični signal sa frekvencijom koja je bliska željenoj RF frekvenciji, ali ne i identična.
- Signal LO-a se meša sa prijemnim RF signalom da bi se generisao IF signal; odnosno, meša se sa IF signalom, da bi se generisao RF signal za emitovanje.
- LO mora imati veoma stabilnu frekvenciju i mali nivo šuma
- Konstruiše upotrebom kristalnog oscilatora (koji garantuje frekventnu stabilnosti) i PLL kola (koje omogućava preciznu kontrolu frekvencije).
- Promenom frekvencije LO se zapravo bira RF kanal na kome će transiver raditi.



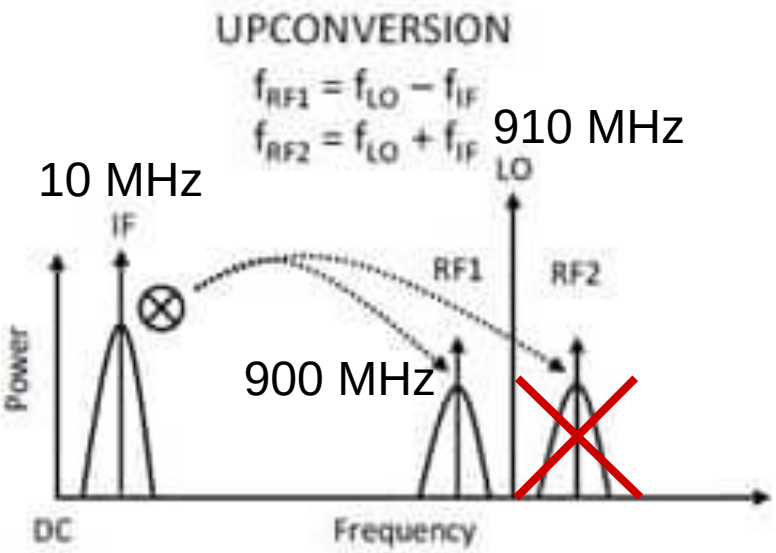
Struktura RF primopredajnika
- *down*-konverzija -

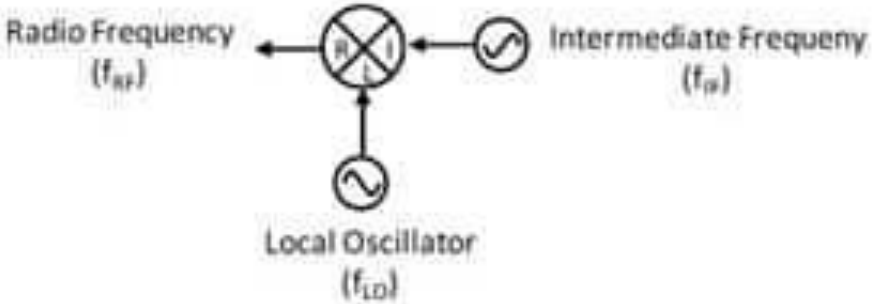
- RF signal je modulisan digitalnom informacijom ASK, FSK, PSK ili QAM modulacija i zbog toga njegov spektar zauzima određeni opseg frekvencija oko centralne, noseće frekvencije, f_{RF}
- Frekvencija LO-a, f_{LO}, je nešto viša od noseće frekvencije RF signala, tako da se mešanjem generiše među-frekventni signal čija je centralna frekvencija $f_{IF} = |f_{LO} - f_{RF}|$.
- Mešanjem se svaka frekventna komponenta RF signala preslikava u odgovarajuću frekventno komponentu IF signala, što znači da *down*-konverzijom informacija koja je sadržana u RF signalu nije izgubljena.
- IF frekvencija je mnogo niža od RF frekvencije i zato se IF signal lakše obrađuje



Struktura RF primopredajnika
- *up*-konverzija -

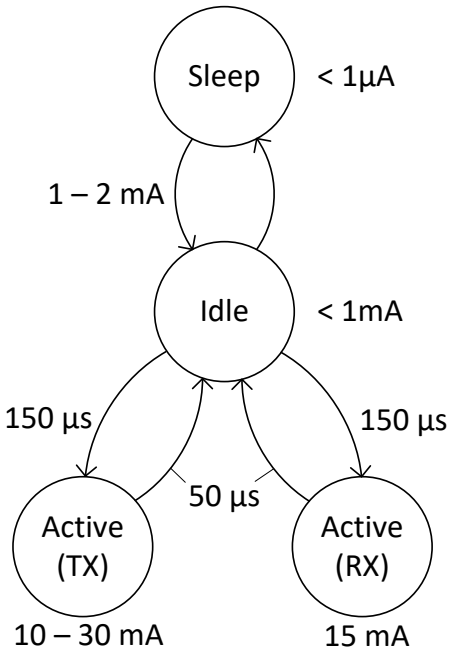
- Suprotan proces od *down*-konverzije
- Ulazi u mešač su signal lokalnog oscilatora i IF signal, koji je modulisan digitalnom informacijom.
- Mešanjem, proizvode se dve visoko-frekventne „slike“ od kojih svaka sadrži potpunu informaciju iz IF signala.
- Jedna od ovih „slika“ se odstranjuje filtriranjem, a druga se šalje ka anteni radi emitovanja.





Režimi rada RF primopredajnika

- *Aktivni režim*:
  - Transiver je u stanju predaje (TX) ili stanju prijema (RX)
  - Režim najveće potrošnje (zavisi od tipa transivera i izlazne snage):
    - Reda nekoliko desetina mA, za komunikaciju kratkog dometa (nekoliko desetina do stotinak metara) i malu brzinu prenosa podataka (od nekoliko desetina Kbs do nekoliko Mbs) - Bluetooth
    - Reda $100 - 300mA$, Za komunikaciju na malom rastojanju, ali velikom brzinom prenosa - WiFi
    - Reda $1 - 2A$, za komunikaciju na velikom rastojanju - mobilna mreža
- *Režim mirovanja* (*Sleep Mode*):
  - RF transiver je praktično isključen sa napajanja; onemogućena RF komunikacija; moguć prijem komandi od procesora
  - Koristan za štednju energije kada transiver nije u upotrebi
- *Režim pripravnosti* (*Idle Mode*):
  - Pojedini delovi RF transivera su isključeni sa napajanja; onemogućen prijem/predaja, ali
  - Transiver je spreman da veoma brzo, na komandu procesora, pređe u režim predaje/prijema.

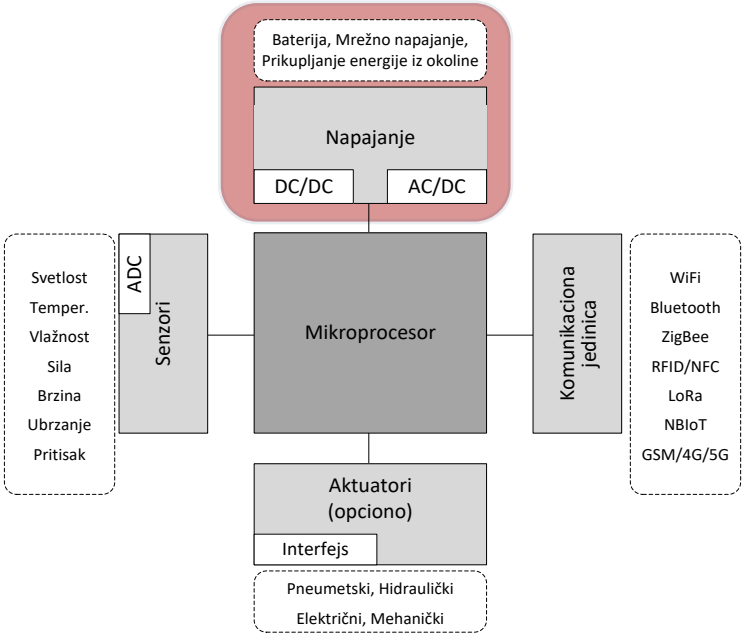


Režimi rada RF primopredajnika - napomene -

- Strategija smanjenja potrošnje:
  - Prebacivanje između različitih režima shodno trenutnim i očekivanim potrebama za komunikacijom, težeći da se što manje vremena provodi u aktivnom režimu (ali, i da se ne propusti poruka).
  - Otežavajuća okolnost: promena radnog režima unosi utrošak vremena i energije. Strategija koja vodi ka previše čestim promenama režima, može da ima suprotan efekat.
- Karakteristika RF transivera male snage (koriste se kod pametnih uređaja):
  - Potrošnja energije u režimu TX približna potrošnji u režimu RX.
  - Zašto je prijem „skup“: LNA je relativno veliki potrošač energije.
  - Posledica: Strategija gde se transiver drži u režimu prijema uvek kada ne postoji potreba za emitovanje ne doprinosi uštedi energije.
- U zavisnosti od tipa transivera, mogu postojati i neki drugi režimi rada:
  - Režim periodičnog buđenja: transiver se periodično budi na kratak vremenski period, da bi poslao ili primio podatke.
  - Periodično emitovanje tzv. bikona, tj. kratkih poruka kojima uređaj oglašava svoje prisustvo okolnim uređajima.

Napajanje

- Tri opcije za napajanje pametnih uređaja:
  - Eksterni neprekidni izvor napajanja – električna mreža 220V
  - Sopstveno napajanje – baterija
  - Prikupljanje energije iz okoline
- Najjednostavnija je prva opcija, ali nije uvek dostupna
- Treća opcija je veoma atraktivna, ali ni ona nije uvek dostupna
- Mnogi pametni uređaji se napajanju baterijom



Podsistem napajanja pametnog uređaja ne obuhvata samo izvor napajanja, već i prateću elektroniku:
Linearni regulatori napajanja, AC/DC i DC/DC konvertori, kola za punjenje i monitoring baterije.
Ovde se nećemo baviti ovom problematikom

Baterijsko napajanje

- Široko rasprostranjena opcija u bežičnim komunikacijama, Internetu stvari (IoT) i drugim aplikacijama koje zahtevaju fleksibilnost i autonomiju napajanja.
- Nekoliko glavnih prednosti baterijskog napajanja su sledeće:
  - *Mobilnost*: jer uređaj nije vezani za fiksni izvor napajanja. Korisno kada je potrebna fleksibilnost u rasporedu i lokaciji uređaja.
  - *Smanjenje žičane infrastrukture*: eliminišu potrebu za stalnim priključenjem na električnu mrežu, što pojednostavljuje instalaciju i smanjuje potrebu za žičanom infrastrukturom.
  - *Senzorske aplikacije*: često se koristi u senzorskim aplikacijama, jer omogućava postavljanje senzora na mestima gde nije dostupna električna energija.
- Glavni nedostatak - konačni energetski kapaciteta baterije:
  - Zbog toga, mala potrošnja je imperativ kod baterijski napajanih pametnih uređaja
  - Podrazumeva korišćenje energetski efikasnih komponenti i strategije uštede energije kroz različite režime.
  - Kod pametnih uređaja, glavni potrošač energije je komunikacija => redukcija komunikacije (podataka koji se prenose i radio dometa)

Baterijsko napajanje
- dva osnovna tipa baterija -

- *Primarne* (*nepunjive*) baterije:
  - Namenjene jednokratnoj upotrebi: Kada se potroše, ne mogu se puniti, već se obično zamenjuju novim.
  - Ne zahtevaju kompleksnu elektronike za punjenje
  - Koriste se u uređajima gde zamena baterija jeste praktičnija opcija, ili gde je očekivano vreme trajanja baterije veoma dugo (npr. od jedne do nekoliko godina, pa čak i deset godina).
  - Za primenu kod pametnih uređaja, primarne baterije moraju imati veoma malu struju samo-pražnjenja.
- *Sekundarne baterije* (punjive):
  - Mogu se više puta puniti i prazniti tokom svog životnog veka
  - Za punjenje sekundarnih baterija potrebna je posebna elektronika, često u obliku specijalizovanih i integrisanih IC, koja su, tipično, sastavni deo samog uređaja.
  - Često, IC za punjenje je praćeno i IC-om za monitoring baterije, koje, tokom punjenja meri količinu energije koja je predata bateriji, a tokom normalnog rada, meri količinu potrošene energiju. (Radi procene količine preostale energije)

Baterijsko napajanje
- karakteristike -

- *Nominalni napon*:
  - Standardni ili prosečni napona na krajevima baterije
  - Npr. 1.5V (za alkalne); 3.7V za Li-Ion (Litijum-jonske)
  - Napon baterije se menja (opada) tokom životnog veka baterije:
    - Alkalne: od 1.8V (puna) do 0.8V (prazna)
    - Li-Ion: od 4.2V (puna) do 3.1V (prazna)
- *Kapacitet baterije:*
  - Količina električne energije koju baterija može da uskladišti, odnosno koju može da proizvede tokom svog rada
  - Izražava se u jedinicama Ah (amper-sati), odnosno mAh (miliamper sati).
  - Jedan amper-sat znači da baterija može obezbediti struju od jednog ampera tokom jednog sata.
  - Ako je prosečna struja potrošnje uređaja koji se napaja ovom baterijom $1\ mA$, tada će ta baterija trajati $1000\ h$ oko (41 dan).
  - Energetska gustina: uskladištena energija po jedinici zapremine, $\frac{J}{cm^3}$, ili po jedinici težine, J/kg (ili J/g)

Baterijsko napajanje
- karakteristike -

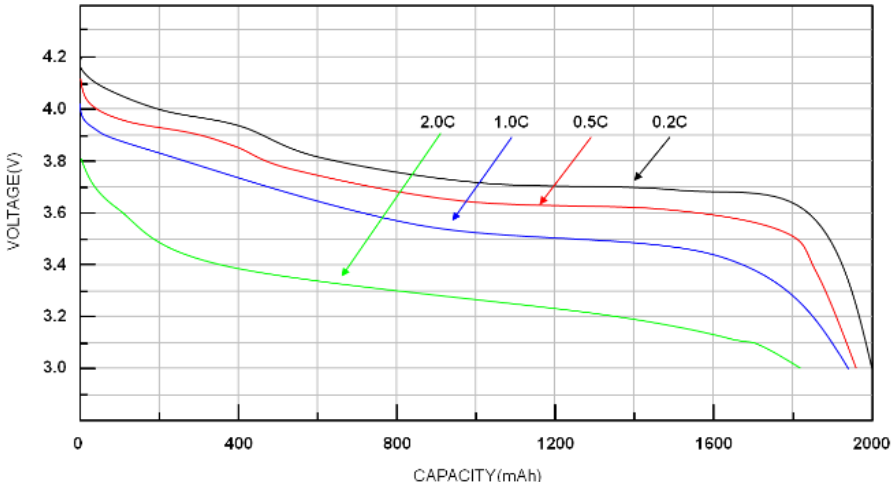
- *Maksimalna struja*:
  - Maksimalno dozvoljena struju pražnjena baterije.
  - Posebno se definiše:
    - *Maksimalna kontinualna struja:* Ako se baterija neprekidno prazni, prosečna struja pražnjenja ne bi trebalo da bude veća od maksimalne kontinualne struje
    - *Maksimalna struja u piku*: struja pražnjena bude veća od maksimalne kontinualne struje, ali samo u kratkom vremenskom intervalu, tj. u piku, (reda ms) i da pri tom ne prekorači maksimalno dozvoljenu struku u piku.
  - Prekoračenje ovih strujnih ograničena može da trajno ošteti bateriju ili da smanji njen kapacitet.
  - Maksimalna kontinualna struja Li-Ion baterija se izražava u jedinicama C i za standardnu bateriju ovog tipa iznosi $1C$. Ovde „C“ označava kapacitet baterije. Recimo, maksimalna kontinualna struja $1C$ Li-Ion baterije kapaciteta $1000\ mAh$, iznosi $1000\ mA$.

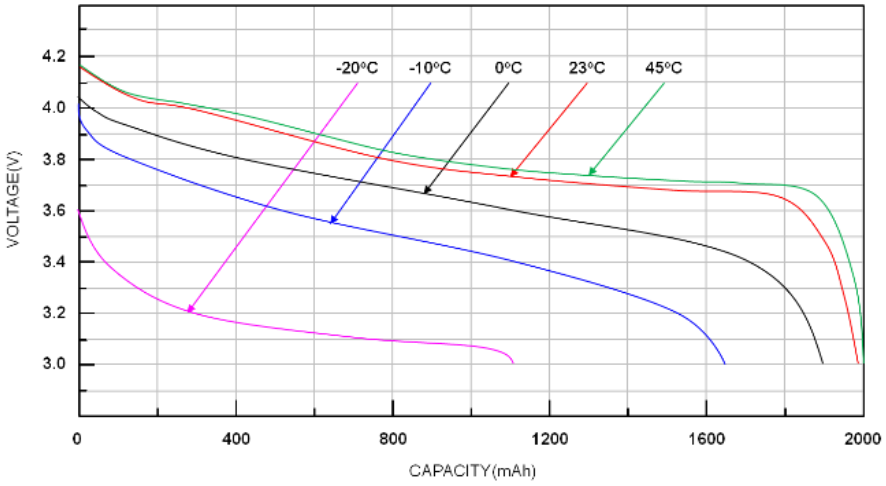
Baterijsko napajanje
- karakteristike -

- *Samo-pražnjenje*:
  - Spontano pražnjenje baterije - gubitak uskladištene energije u odsustvu potrošača
  - Posledica hemijskih reakcija i drugih procesa i faktora unutar same baterije.
  - Stopa samo-pražnjenja zavisi od tipa bateriji i uslova eksploatacije (npr. temperatura).
  - Stopa samo-pražnjenja Li-Ion baterija $1 - 2\%$ na mesečnom nivou (tokom jednog meseca kapacitet opadne za navedeni iznos čak iako se baterija ne koristi).
  - NiMH baterije su primer baterija sa visokom stopom samo-pražnjenja, koja iznosi 20-30% na mesečnom nivou.
  - Stopa samo-pražnjena alkalnih i litijumskih baterija je veoma mala, reda $1 - 2\%$ na godišnjem nivou (zbog toga se često koriste kao permanentne baterije za pametne uređaje sa dugim očekivanim periodom zamene baterije).

Baterijsko napajanje
- karakteristike -

- *Karakteristika pražnjenja*:
  - Promena napon baterije tokom pražnjenja baterije.
  - Predstavlja se u obliku grafikona zavisnosti napona na bateriji od potrošenog kapaciteta baterije.
  - Ova zavisnost se može dati za različite struje pražnjena, ili za različite temperature okoline.





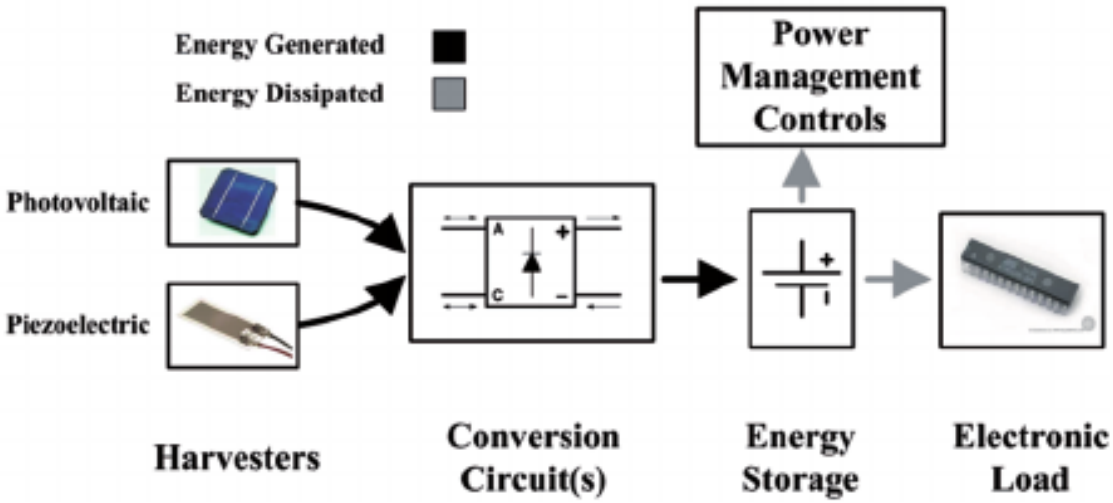
Li-Ion baterija kapaciteta 2000 mAh

Baterijsko napajanje
- karakteristike -

Feature	Alkaline	Lithium-ion (Li-ion)	Lithium-ion Polymer (Li-Po)	Lead-acid	Nickel-metal hydride (NiMH)
Chemistry	Zinc-manganese dioxide	Lithium metal oxide	Lithium polymer electrolyte	Lead and lead oxide	Nickel and metal hydride
Nominal voltage (V)	1.5	3.7	3.7	12	1.2
Energy density (Wh/kg)	250-350	150-700	250-450	30-80	150-300
Power density (W/kg)	100-200	250-1500	300-1000	150-200	250-400
Rechargeable	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Lifespan (cycles)	N/A	300-1000	500-1200	300-500	300-500
Cost per unit of energy	Low	High	High	Low	Medium
Self-discharge rate	Low	Moderate	High	Moderate	High
Operating temperature range	-20°C to 50°C	0°C to 45°C	-20°C to 60°C	-20°C to 50°C	-20°C to 45°C
Safety	Safe	Potentially flammable	Potentially flammable	Corrosive acid	Less toxic than lead-acid
Common uses	Disposable devices, low-drain electronics	Laptops, smartphones, cameras	Drones, RC vehicles, power tools	Cars, motorcycles, boats	Power tools, hybrid vehicles

Sakupljanje energije iz okoline

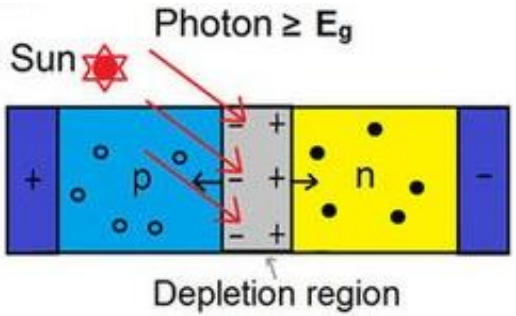
- Prirodni izvori energije postoje u različitim okruženjima, kako na otvorenom, tako i u zatvorenom prostoru, koji se, posebnim postupcima energetske konverzije, mogu pretvoriti u oblik potreban za napajanje elektronskih kola
- Tipično, veoma slabi izvori energije sa značajnim ograničenjima u mogućnostima efikasnog korišćenja
- Postoje različite tehnike sakupljanja energije, a neki od najčešćih metoda su predstavljene u nastavku



Sakupljanje energije iz okoline

- *Solarna Energija*.
  - Korišćenje solarnih (foto-naponskih) ćelija za pretvaranje energije sunčeve svetlosti u električnu energiju.
  - Energija koja se može dobiti iz solarne ćelije zavisi od toga da li se uređaj nalazi na otvorenom ili u zatvorenom prostoru, od perioda dana kao i od vremenskih uslova.
  - Rezultujuća snaga je između $10\ \mu W/cm^2$ u zatvorenom i $15\ mW/cm^2$ na otvorenom prostoru.

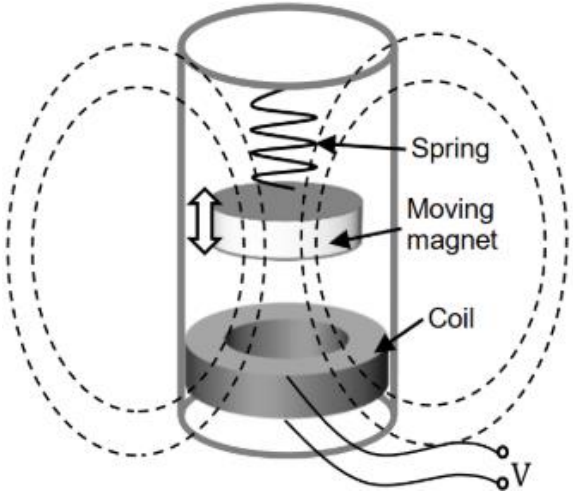
Fotonaponski efekat



pn- spoj
Svetlost obasjava osiromašenu oblast
Foton svetlosti izbija elektron iz atomskog omotača – pravi se par elektron-šupljina.
Elektron ide ka p-, a šupljina ka n- oblasti – stvara se električna struja

Sakupljanje energije iz okoline

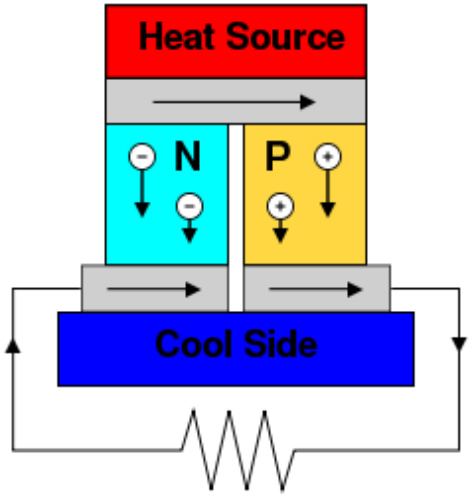
- *Vibraciona energija*:
  - Generisanje električne energije korišćenjem vibracija ili pokreta.
  - Dostupna energija zavisi od amplitude i frekvencije vibracija i kreće se od $0.1\ \mu W/cm^3$ do čak $10{,}000\ \mu W/cm^3$ u ekstremnim slučajevima.
  - Vibracije se mogu konvertovati u električnu energiju na različite načine, na bazi: elektromagnetnog, elektrostatičkog ili piezoelektričnog principa.



Pod dejstvom mehaničkih vibracija, pokreće se magnet, koji je pričvršćen oprugom za nepokretnu konstrukciju. Pomeranje magneta indukuje struju u kalemu.

Sakupljanje energije iz okoline

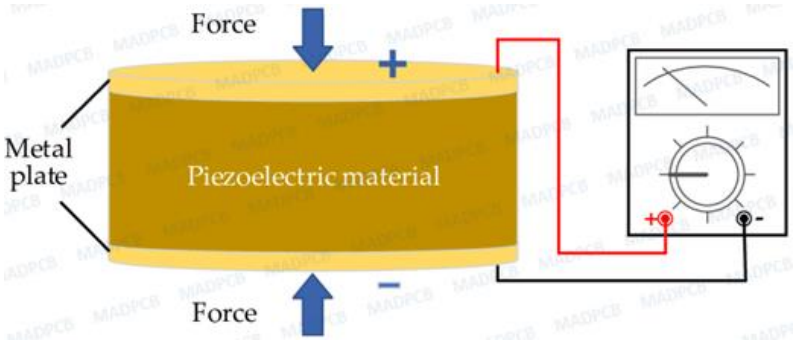
- *Termoelektrično sakupljanje energije*:
  - Generisanje električne energije iskorišćavanjem temperaturnih razlika pomoću tzv. termoelektričnih materijala.
  - Praktični uređaji za ovu namenu su po svojoj efikasnosti daleko od teorijskog limita (npr. $80\ \mu W/cm^2$ na oko $1V$ i $5K$ temperaturne razlike).



Dve poluprovodničke pločice, jedna n- i druga p-tip. Sivi blokovi su metalni kontakti. Strelica ukazuje na smer struje. Slobodni nosioci naelektrisanja se kreću u smeru od toplijeg ka hladnijem kraju

Sakupljanje energije iz okoline

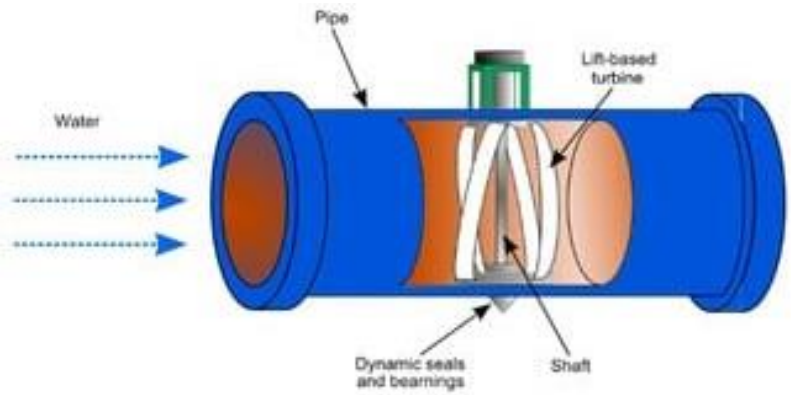
- *Piezoelektrično sakupljanje snergije*:
  - Korišćenje piezoelektričnih materijala koji generišu električnu energiju kao odgovor na mehanički pritisak ili deformaciju.
  - Može se primeniti u uređajima koji su podložni mehaničkom stresu, kao što su koraci, vibracije ili pokreti.



*P*od dejstvom mehaničke sile, na oblogama piezoelektričnog materijala nagomilava se naelektrisanje

Sakupljanje energije iz okoline

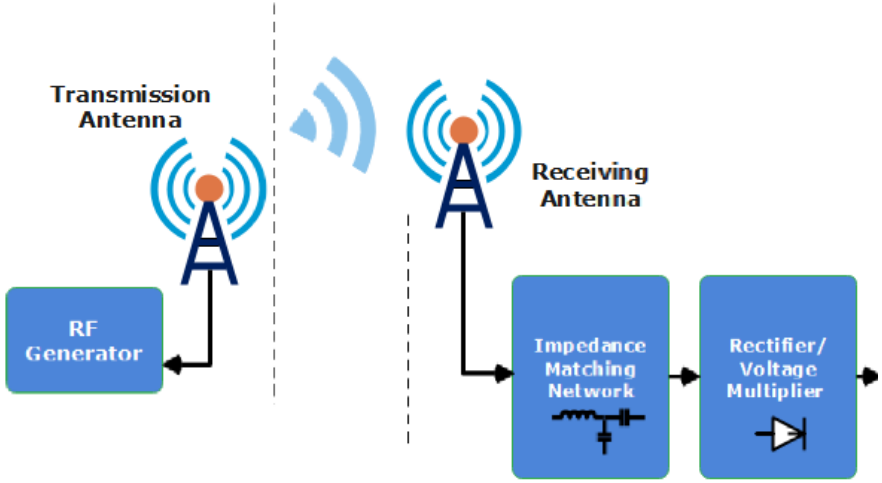
- *Sakupljanje energije protoka fluida*
  - Odnosi se na upotrebu turbina na vazduh ili vodu.
  - Izazov je minijaturizacija.



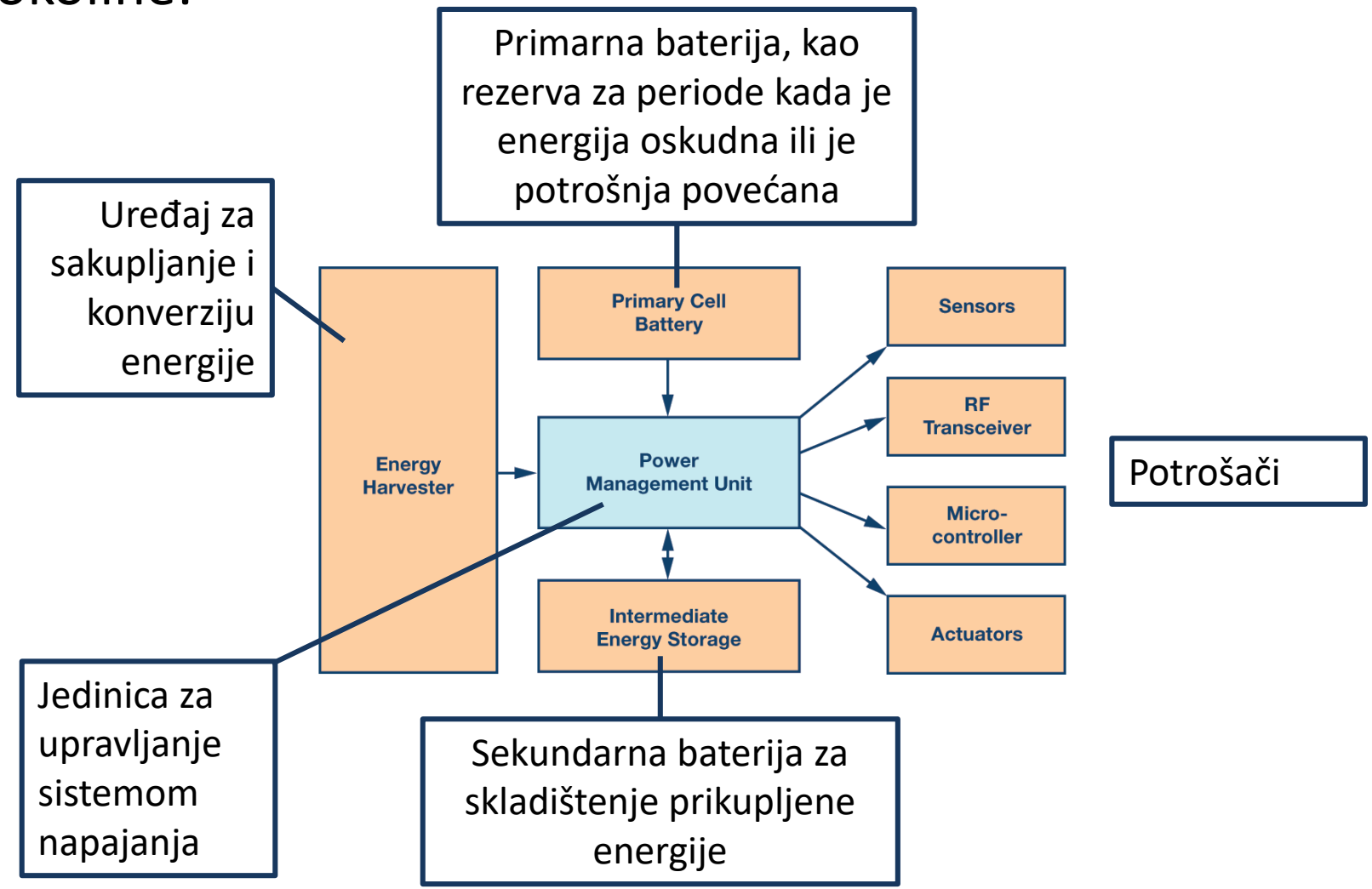
U cev je ugrađena mikro-turbina koja se okreće pod dejstvom protoka tečnosti. Rotacija turbine se konvertuje u električnu energiju.

Sakupljanje energije iz okoline

- *Sakupljanje RF energije*.
  - Prikupljanje energije iz radio talasa, poput WiFi signala ili signala mobilne telefonije.



Za prikupljanje RF energije iz okoline koristi se antena. Impedansa antene je prilagođena (*impedance matching circuit*) kao bi se maksimizirala efikasnost prikupljanja energije. Naizmenični RF signal iz antene se diodama konvertuje (ispravlja) u jednosmerni signal, koji se dalje koristi za napajanje uređaja.

Sakupljanje energije iz okoline

- Podsistem napajanja sa prikupljanjem energije iz okoline: