

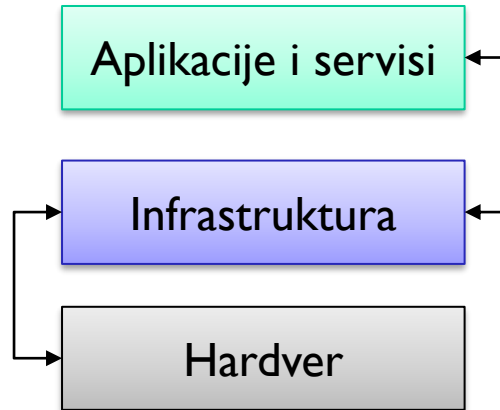
Uvod u Internet stvari i bežične senzorske mreže



Internet stvari (IoT)

- Globalna infrastruktura koja omogućava umrežavanje velikog broja fizičkih ili virtuelnih uređaja (mehaničkih i digitalnih mašina i predmeta) primjenom širokog spektra ICT tehnologija.
- Obezbjeđuje *efikasno povezivanje digitalnog i fizičkog svijeta*, tj. povezivanje senzorskih i aktuatorskih uređaja sa Internetom.
- **M2M komunikacija** – IoT uređaji direktno i indirektno međusobno razmjenjuju podatke.
- Krajnji korisnici putem web-a i mobilnih aplikacija pristupaju podacima koje šalju senzorski uređaji, konfiguriraju uređaje i upravljaju IoT sistemima.
- **Primjena**: pametni gradovi, pametna domaćinstva, logistika, digitalna transformacija industrije, zdravstva, uprave, poljoprivrede itd.

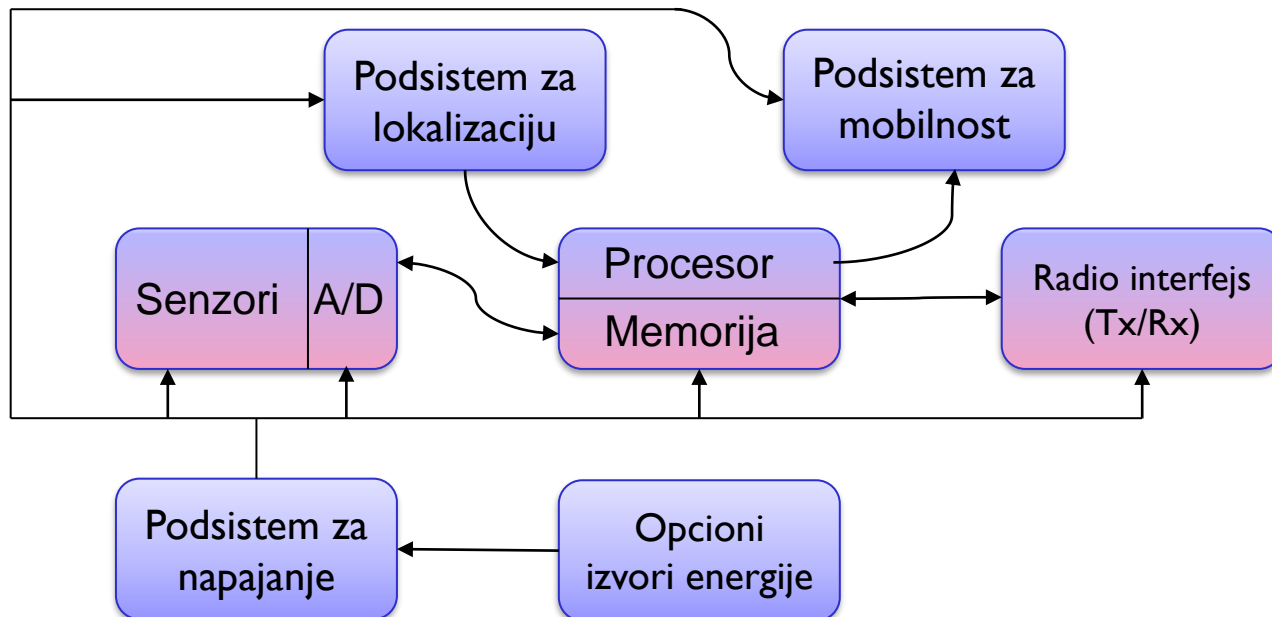
Internet stvari - struktura



- *Hardver* – “Pametni” uređaji sa ugrađenim računarskim funkcionalnostima koji međusobno razmjenjuju informacije i uče na osnovu iskustva.
- *Infrastruktura* - Omogućuje povezivanje uređaja na bežičnu ili neku drugu računarsku mrežu; Obezbeđuje okruženje za razvoj IoT aplikacija kroz kanale za upravljanje podacima i uređajima.
- *Aplikacije i servisi* – Prikupljanje podataka sa uređaja, obrada i prenos podataka.

IoT uređaji

- U opštem slučaju, strukturu senzorskog čvora čine: *modul za napajanje i upravljanje napajanjem*, *senzorska jedinica*, *procesorska jedinica/mikrokontroler* i *radio primopredajnik* (komunikacioni modul).
- U zavisnosti od namjene uređaja, arhitektura može obuhvatiti i pod sisteme za lokalizaciju, mobilnost i dodatne izvore energije.
- Primjeri IoT uređaja: kućni aparati, pametni telefoni, štampači, automobili, industrijske mašine, računari, uređaji u energetske sistemima, uređaji u zdravstvenim sistema i razni drugi.



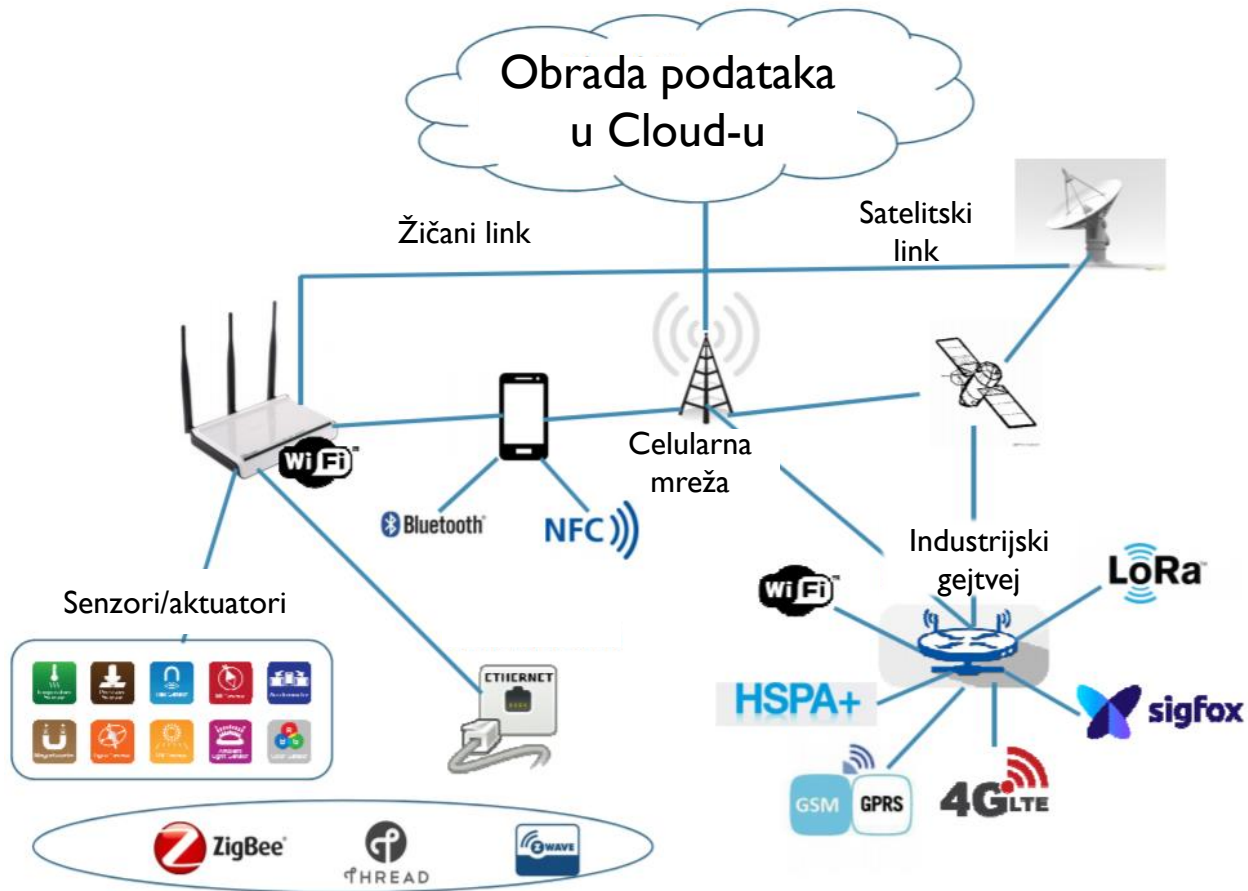
IoT uređaji

- Modul za napajanje obezbjeđuje pouzdan izvor napajanja potreban za rad kompletnog sistema.
- Uloga senzorskih uređaja (čvorova) je prikupljanje informacija o okruženju u kojem se nalaze i prenos informacija u vidu električnih signala.
- Ako je na izlazu senzora analogni signal, za njegovu konverziju u digitalni oblik se koristi analogno-digitalni (A/D) konvertor. Takav digitalni signal se prosleđuje na ulaz mikrokontrolera.
- Mikrokontroler preuzima i obrađuje digitalne podatke, a zatim ih, po potrebi, skladišti u memoriju.
- Primopredajnik je radio-frekvencijski (RF) modul koji se koristi za prenos podataka, tj. za fizičku realizaciju komunikacije sa drugim čvorovima.
- Mnoge IoT mreže osim samih senzora sadrže i aktuatore kojima se djeluje na okruženje (npr. ventili koji kontrolišu protok tečnosti ili gasa, pumpa koja reguliše količinu goriva ili motor koji otvara/zatvara vrata).

IoT uređaji

- *Karakteristike IoT uređaja su:*
 - **Dinamička samoadaptivnost** – uređaji se dinamički prilagođavaju okruženju i reaguju na promjene iz okruženja.
 - **Autonomnost** - Konfiguriraju se uz minimalno učešće korisnika.
 - **Interoperabilnost komunikacionih protokola** - Međusobnu komunikaciju ostvaruju putem standardizovanih interoperabilnih komunikacionih protokola.
 - **Jedinstveni identitet** - Imaju jedinstven simbolički ili numerički identifikator, npr. IP adresu ili jedinstveni identifikator resursa (eng. *Uniform Resource Identifier, URI*).
 - Pomoću jedinstvenog identifikatora korisnici pristupaju uređaju preko Interneta, daljinski upravljaju uređajem, konfiguriraju i prate njegov status.
 - **Umreženost** - Povezani su u računarsku mrežu koja omogućuje da međusobno komuniciraju i da budu vidljivi ostalim uređajima i aplikacijama.
 - **Ograničeni resursi** – mala procesorska snaga, mala memorija i često baterijsko napajanje.

Generalna IoT arhitektura

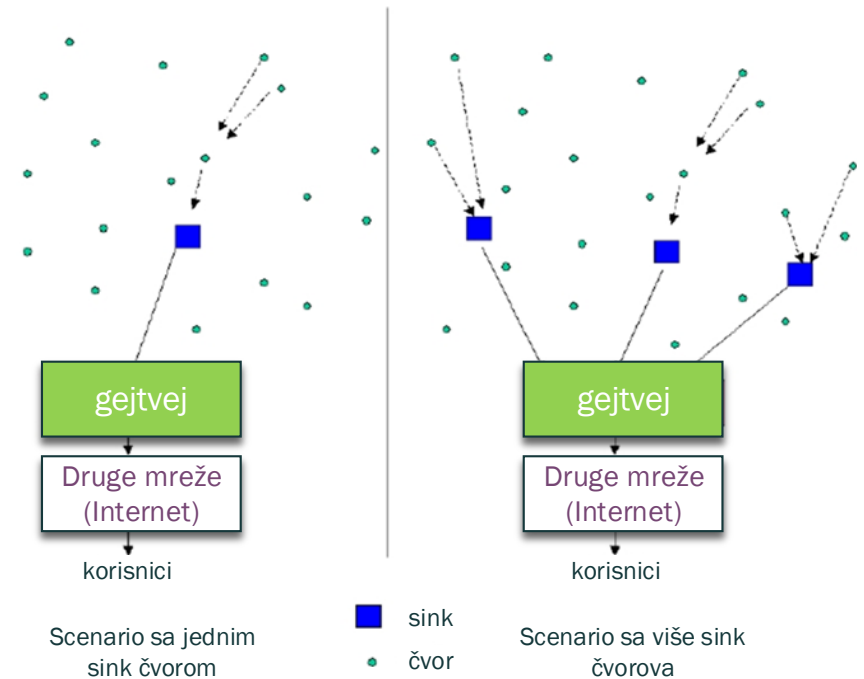


Bežične senzorske mreže (WSNs)

- Mreža prostorno distribuiranih senzorskih uređaja, koji na kooperativan način saraduju u realizaciji mjernih i komunikacionih zadataka.
- *Imaju ključnu ulogu u IoT razvoju!*
- Osnovne aktivnosti:
 - Prikupljanje podataka
 - Razmjena podataka
 - Prenos relevantnih informacija o mrežnom okruženju (npr. temperatura, pritisak, zvuk, kretanje, osvjetljenje i dr.) ka centralnom čvoru - koordinatoru (*sink* čvoru) ili baznoj stanici.
- WSN koordinador vrši agregaciju prikupljenih podataka i nakon toga ih prosleđuje ka spoljnoj mreži preko gejtvej uređaja (GW).
- U nekim slučajevima koordinador lokalno obrađuje podatke, aktivira alarm i šalje odgovarajuće instrukcije aktuatorskim i senzorskim uređajima u zavisnosti od vrjednosti primljenog podatka (*Edge computing*)

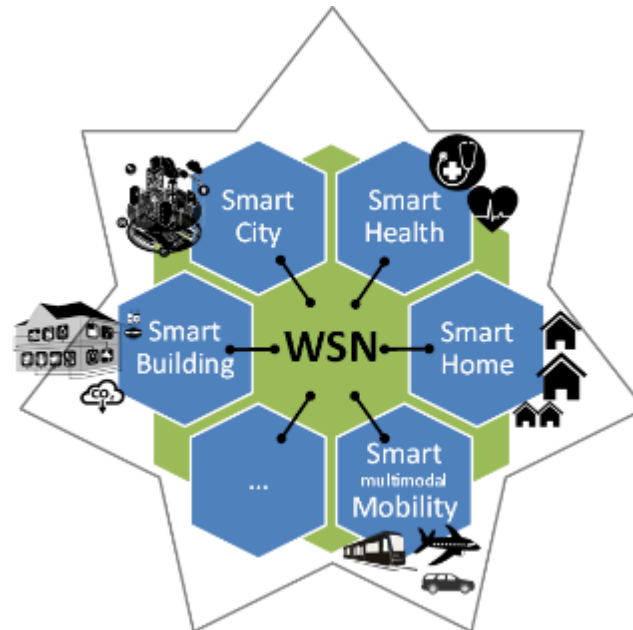
Bežične senzorske mreže

- Brojne IoT aplikacije podrazumijevaju prenos podataka preko većeg broja čvorova i linkova - hopova, do koordinatora WSN mreže.
- Funkcija GW je agregacija podataka primljenih od senzorskih čvorova, kontrola mrežnog statusa, prosleđivanje agregiranih podataka ka web platformi ili lokalno skladištenje.
- Preko odgovarajuće web platforme podaci postaju dostupni za vizuelizaciju, analizu, daljinsko očitavanje i dr.



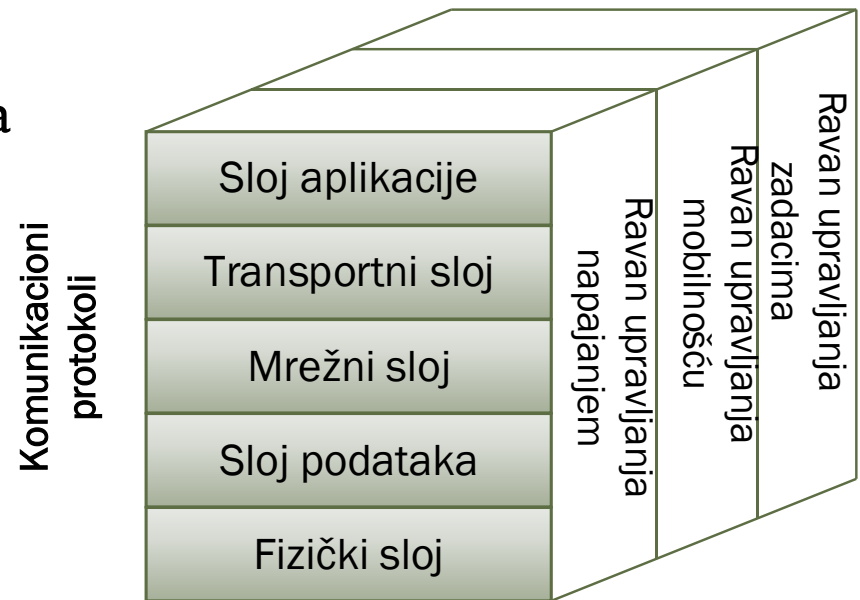
Bežične senzorske mreže

- Zavisno od okruženja u kome se primjenjuju, bežične senzorske mreže mogu se koristiti za:
 - Pojedinačna i periodična mjerenja na osnovu kojih je moguća aproksimacija vremenskih ili prostornih funkcija, praćenje promjena ili određivanje graničnih vrijednosti posmatrane veličine.
 - Vremensko i prostorno praćenje objekata i ciljeva i prenos prikupljenih informacija ka pristupnom uređaju.
- Razne oblasti primjene:
 - industrija,
 - vojska,
 - geolokacija,
 - javna bezbjednost,
 - poljoprivreda,
 - seizmologija,
 - zdravstvo, itd.



WSN arhitektura

- Osnovu komunikacija u bežičnim senzorskim mrežama čini slojevit model arhitekture.
- Mehanizmi i protokoli OSI nivoa prilagođeni su zahtjevima IoT aplikacija i ograničenim hardverskim resursima senzorskih uređaja.
- Komunikaciona arhitektura WSN mreža se bazira na pet slojeva: *fizički sloj*, *sloj podataka*, *mrežni sloj*, *transportni sloj* i *sloj aplikacija*.



WSN arhitektura

Fizički sloj

- Na fizičkom, PHY sloju (eng. *Physical Layer*) se implementiraju mehanizmi koji određuju načine obrade i prenosa signala između senzorskih čvorova.
- PHY sloj vrši izbor frekvencija za realizaciju bežične komunikacije, generiše noseće frekvencije, vrši detekciju signala, izbor modulacionog postupka i enkripciju podataka.
- WSN se najčešće implementiraju u ISM opsegu. Pri tome, brojne druge tehnologije koriste ovaj opseg (npr. IEEE 802.11, Bluetooth).
- Jedan od najpopularnijih standarda za WSN IoT primjene je IEEE 802.15.4, projektovan za aplikacije koje podrazumijevaju vrlo malu potrošnju, jednostavnu implementaciju i malu cijenu realizacije.

WSN arhitektura

Sloj podataka (eng. Data link layer)

- Čine ga dva podsloja: MAC (eng. *Media Access Control*) i LLC (eng. *Logical Link Control*).
- MAC podsloj definiše prava pristupa bežičnom medijumu, mehanizme za smanjenje vjerovatnoće kolizija u prenosu paketa, kao i mehanizme za praćenje potrošnje energije senzorskog čvora.
- LLC podsloj obavlja funkcije adresiranja na nivou linka, kreira zaglavlje frejma i multipleksira saobraćajne tokove.

WSN MAC vs. tradicionalni MAC:

- Decentralizovana kontrola
- Linkovi su veoma dinamičnih karaktersitika
- Veliki broj uređaja po jedinici površine
- Potrošnja energije ja **najveća** briga!
- Životni vijek mreže, pouzdanost, skalabilnost i kašnjenje su uglavnom bitniji od propusnosti.

WSN arhitektura

Mrežni sloj

- Upravlja adresiranjem i rutiranjem podataka dobijenih od transportnog sloja.
- IP protokol je referentni protokol ovog sloja.
- U IoT komunikacijama, IPv6 predstavlja referentni protokol prenosa.

Transportni sloj

- Transportni sloj održava tok podataka između aplikacija.
- Obezbeđuje:
 - Generisanje potvrde "od kraja do kraja" da bi se garantovala ispravnost prijema,
 - Kontrolu protoka,
 - Kontrolu zagušenja,
 - Multipleksiranje i demultipleksiranje tokova;

Sloj aplikacije

- Omogućava isporuku specifičnih usluga do krajnjeg korisnika.

WSN arhitektura

Upravljačka ravan

- Komunikaciona arhitektura WSN mreže sadrži i tri upravljačke ravni: *upravljanje napajanjem*, *upravljanje mobilnošću* i *upravljanje zadacima*.
- Ravan upravljanja napajanjem obezbeđuje mehanizme za regulisanje potrošnje senzorskog čvora prilikom realizacije tri ključne operacije: monitoring okruženja, obrada podataka i bežična komunikacija.
- Ravan upravljanja mobilnošću omogućava detekciju i praćenje kretanja senzorskih čvorova.
 - Senzorski čvor u svakom trenutku ima pregled situacije u okruženju, odnosno ima informaciju o susjednim čvorovima, što omogućava izbor adekvatnog režima potrošnje.
- Ravan upravljanja zadacima zadužena je za raspoređivanje aktivnosti vezanih za komunikaciju i obradu podataka.
- Upravljačke ravni pružaju podršku senzorskim čvorovima pri koordinaciji aktivnosti što rezultuje smanjenjem ukupne potrošnje.

IoT komunikacione tehnologije

- Podjela na osnovu udaljenosti prenosa ili pokrivenosti radio-signalom, uz osnovni zahtjev da se primjenjuju tehnologije i rešenja koja obezbeđuju energetska efikasnost:
 - **WBAN** (eng. *Wireless Body Area Network*),
 - **WPAN** (eng. *Wireless Personal Area Network*),
 - **WLAN** (eng. *Wireless Local Area Network*),
 - **WWAN** (eng. *Wireless Wide Area Network*).
- Pored navedene podjele, u literaturi se IoT komunikacione tehnologije često grupišu kao: *proximity* tehnologije, tehnologije kratkog i tehnologije dugog dometa.
 - U grupu *proximity* tehnologija se ubrajaju RFID i NFC, sa dometom od nekoliko metara i primjenom u oblasti identifikacije i prenosa kratkih paketa.
 - Tehnologije kratkog dometa, koje se označavaju i kao kapilarne (eng. *capillary*), imaju domet do 100-ak metara i pogodne su za realizaciju WBAN, WPAN i WLAN mreža.
 - Poslednjih godina se intenzivno razvijaju tehnologije dugog dometa (do 15-ak kilometara) koje su pogodne za realizaciju velikih WLAN i WWAN mreža.

IEEE 802.15.4

- IEEE 802.15.4 standard se odnosi na WPAN malih brzina prenosa podataka
- Definiše fizički (PHY) sloj i MAC podsloj
- Ovaj standard nalazi vrlo čestu primjenu u kućnoj i industrijskoj automatizaciji, rešenjima u okviru *smart city* koncepta, zdravstvenim primjenama itd.
- Brzine prenosa, u zavisnosti od frekvencijskog opsega, variraju od 20 kbit/s do 250 kbit/s.
- Iznad IEEE 802.15.4 PHY i MAC slojeva se mogu implementirati standardizovani protokoli viših slojeva, kao npr. 6LoWPAN, RPL, CoAP itd.
- Najpoznatija implementacija ovog standarda je ZigBee.
- U *indoor* komunikacijama je tipična udaljenost prenosa između 10 m i 100m, za nivoe snage između 0 dBm i 20 dBm.
- Domet se značajno smanjuje ukoliko postoje prepreke na putu prenosa između čvorova.

IEEE 802.15.4

- PHY sloj podržava frejmove veličine do 127 bajtova.
- Zaglavlje MAC sloja je veličine 10-20 bajtova, pa je višim slojevima na raspolaganju oko 100 bajtova.
- Za prenos se koristi ukupno 27 različitih kanala u opsezima definisanim IEEE 802.15.4 standardom (2.4GHz, 868MHz u Evropi i 915 MHz u SAD-u).
- U praktičnim realizacijama LP-WPAN mreža, najzastupljenija je realizacija PHY sloja u 2.4 GHz opsegu.
- U slučajevima kada se ne ostvaruje adekvatan prijem paketa, vrši se retransmisija paketa, pri čemu predajnik mora prethodno dobiti informaciju o neispravnom prijemu.
- Na MAC nivou primjenjuje se CSMA/CA protokol.
- Implementira *duty cycling* u okviru MAC protokola, sa ciljem povećanja energetske efikasnosti.
- Za predaju ili prijem paketa maksimalne veličine od 127 bajtova potrebno je oko 4 ms, a za ACK potvrdu oko 1 ms.
- Tipično trajanje slota je 10 ms, pa preostaje oko 5 ms za obradu paketa, sigurnosne mehanizme i dr.

IEEE 802.15.4

- DSSS modulacija, sa BPSK mapiranjem za manje brzine prenosa.
- Mrežne topologije: zvijezda i meš.
- Dvije klase uređaja:
 - **FFD** (*Fully Functional Devices*) - posjeduje sve mrežne funkcionalnosti i konfigurirše se za rad u jednom od sledeća tri režima: PAN (eng. *Personal Area Network*) koordinator, koordinator i uređaj. PAN koordinator je FFD koji inicira aktivnosti za uspostavljanje mreže (sinhronizacija, adresiranje, upravljanje i dr.).
 - **RFD** (*Reduced Function Devices*) - ima ograničene resurse i memorijske kapacitete, pa realizuje jednostavne mrežne operacije.
- U zvijezda topologiji se komunikacija uspostavlja direktno između uređaja i PAN koordinatora.
- Sve mreže u zvijezda topologiji funkcionišu nezavisno jedna od druge, što je omogućeno izborom PAN ID-a koji trenutno ne koristi nijedna druga mreža u radio-komunikacionom dometu.
- Kada se izabere PAN ID, PAN koordinator omogućava drugim uređajima da se pridruže mreži.
- U meš topologiji uređaj može direktno da komunicira sa svim uređajima u radio opsegu.

IEEE 802.15.4

- Svi uređaji koji učestvuju u komunikaciji imaju jedinstvenu adresu.
- IEEE 802.15.4 definiše dva tipa adresa:
 - *Proširena adresa* sadrži 64 bita i koristi se kao univerzalni jedinstveni identifikator za uređaj, kako bi se omogućila jednoznačna identifikacija svakog uređaja u mreži (eng. *Extended Unique Identifier* - EUI).
 - *Kratka adresa* sadrži 16 bita i jedinstvena je samo u mreži u kojoj se uređaj trenutno nalazi.

IoT komunikacione tehnologije

- Uzimajući u obzir karakteristike IoT tehnologija, u literaturi se može pronaći i sledeća kategorizacija:
 - Tehnologije vrlo kratkog dometa (tipičan predstavnik su NFC sistemi),
 - Aktivni i pasivni RFID sistemi kratkog dometa,
 - Sistemi zasnovani na *IEEE 802.15.4* standardima kao što su: ZigBee, 6LoWPAN, 6TiSCH i Thread-bazirani sistemi,
 - Bluetooth-bazirani sistemi (npr. BLE),
 - Komercijalni sistemi, npr. Z-Wave, CSRMesh, EnOcean i dr.,
 - Sistemi bazirani na IEEE 802.11/Wi-Fi, npr. AllSeen Alliance specifikacije ili Open Connectivity Foundation,
 - Tehnologije dugog dometa (LoRaWAN, SigFox, NB-IoT).

IoT komunikacione tehnologije

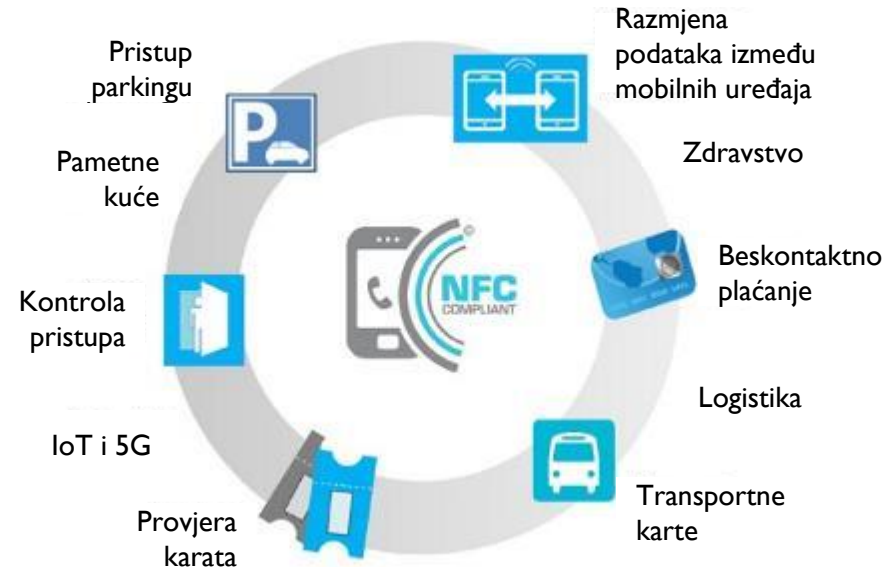
RFID

- RFID sistem se obično sastoji od Taga/Labele/ koja sadrži podatke, i RFID čitača sa antenom koji komunicira s tagovima.
- Tagovi/Labele nalaze se na ambalaži ili na samom proizvodu i predstavljaju bazu podataka.
- Tagovi mogu biti aktivni (imaju internu bateriju) i pasivni (koriste energiju RFID čitača za napajanje).
- Aktivni tagovi mogu se očitati i na NLOS rastojanjima do 100m.
- LF/HF/UHF/Mikrotalasni frekvencijski opsezi.
- Brzine prenosa relativno male; zavise od frekvencijskog opsega.
- Najviše se koristi u transportu i logistici, proizvodnji, kontroli ulaza i radnog vremena.

IoT komunikacione tehnologije

NFC

- Prenos na kratka rastojanja (manja od 20 cm).
- Nelicencirani ISM opseg od 13.56 MHz.
- Brzinu prenosa od 106 kbit/s do 424 kbit/s.
- Baziran na RFID tehnologiji: podaci se prenose na principu elektromagnetske indukcije između antene čitača i tag-a
- NFC ima široku primjenu u povezivanju uređaja, u npr. *smart home* aplikacijama, uslugama mobilnog plaćanja itd.



IoT komunikacione tehnologije

Bluetooth

- Maksimalna brzina prenosa podataka 1-3 Mbps (Smart/BLE 1 Mb/s)
- Frekvencija: 2.4 GHz (ISM)
- Domet: 50-150 m (Smart/BLE)
- BLE nudi značajno manju potrošnju energije u odnosu na tradicionalne Bluetooth standarde
- Bluetooth Mesh standard baziran na BLE omogućava *many-to-many* komunikaciju (meš topologija)
- U praktičnim primjenama su najčešće zastupljene aplikacije u kojima se prenos realizuje do udaljenosti od 10 m.
- Bluetooth 5.1 donosi novu funkciju “pronalaženja pravca”, koja omogućava precizno pozicioniranje u zatvorenom prostoru.
 - Koristi se u jednostavnijim formama IoT umrežavanja.
 - Pogodan za aplikacije praćenja u *indoor* okruženju (npr. praćenje zaposlenih u fabrici ili pacijenata u bolnici)
 - Nedostatak adekvatne podrške za *multihop* prenos.

IoT komunikacione tehnologije

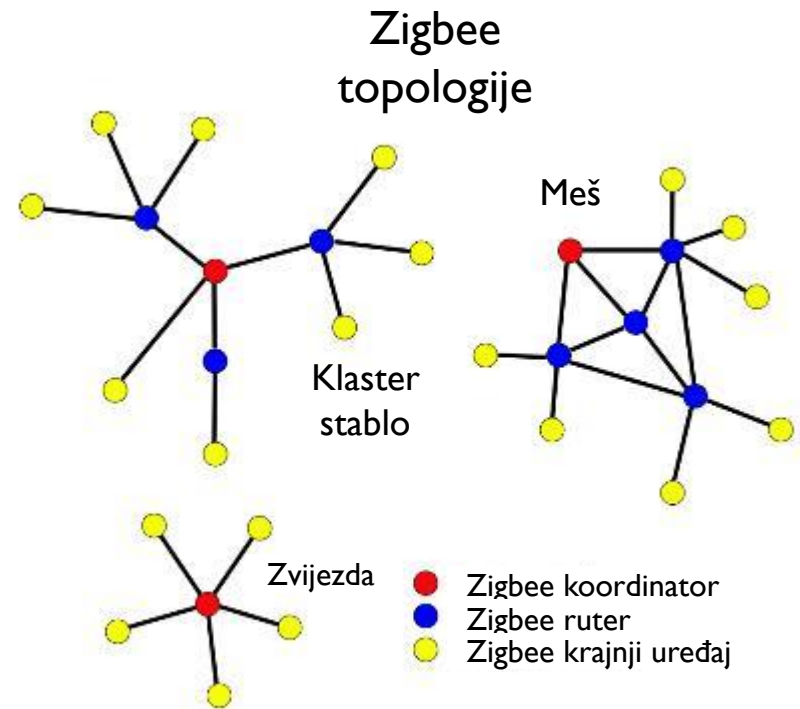
Zigbee

- Niži slojevi defisani su IEEE 802.15.4 standardom.
- Viši slojevi - Zigbee Alliance.
- Radi u nelicenciranim opsezima uključujući 2.4GHz, 900 MHz i 868 MHz.
- Brzine prenosa: od 20 kbit/s (868 MHz opseg) do 250 kbit/s (2.4 GHz opseg)
- Fizički domet: 10-20m (10-100m LoS)
- ZigBee mreža nije vremenski sinhronizovana
- Prenos paketa se realizuje na jednom frekvencijskom kanalu.
- Iako je moguće rekonfigurisati kompletnu mrežu tako da se komunikacija ostvaruje na drugoj frekvenciji, u mreži se ne koristi prenos na bazi frekvencijskog skakanja, pa je ova tehnologija podložna negativnim uticajima vanjske interferencije i *multipath* fadinga.
- Niska cijena i mala potrošnja energije
- Malo kašnjenje

IoT komunikacione tehnologije

...Zigbee

- Topologije: meš, stablo, zvijezda.
- Tri tipa uređaja:
 - *Koordinator* – Inicijalizuje mrežu, dodjeljuje mrežne adrese, brine se o sigurnosti i ispravnosti razmjene podataka između čvorova.
 - *Ruter* – Neobavezan. Povećava fizički doomet mreže.
 - *Krajnji uređaj* – sadrži upravo onoliko funkcija koliko mu je dovoljno da komunicira sa matičnim čvorom (bilo koordinatorom ili ruterom). Omogućava senzorskom čvoru da “spava” i na taj način štedi bateriju. Zahtjeva najmanju količinu energije, pa je i jeftiniji od koordinatora i rutera.



IoT komunikacione tehnologije

...Zigbee

- 128-bitno AES šifrovanje za bezbjedan prenos podataka
- Koristi se u IoT aplikacijama koje zahtjevaju bežični prenos malih količina podataka na kraćim rastojanjima.
- Nizak stepen QoS garancija
- Fleksibilan dizajn protokola pogodan za mnoge aplikacije:
 - Smart energy/Smart grid, AMR (*Automatic Meter Reading*), upravljanje osvjetljenjem, sistemima automatizacije u zgradama, praćenje stanja u rezervoarima, HVAC upravljanje, medicinski uređaji, itd.

IoT komunikacione tehnologije

6LoWPAN

- Adaptacioni sloj za IPv6 koji se realizuje preko IEEE 802.15.4 fizičkog sloja i sloja podataka.
- Definiše enkapsulaciju i mehanizme kompresije zaglavlja, omogućujući tako IPv6 paketima da budu poslani i primljeni preko mreža zasnovanih na IEEE 802.15.4 standardu.
- 6LoWPAN omogućava interoperabilnost sa bežičnim uređajima baziranim na 802.15.4 standardu i drugim uređajima koji koriste IP protokol na mrežnom nivou (e.g. Ethernet ili WiFi uređaji) korišćenjem jednostavnog bridž uređaja.
- Interoperabilnost između Zigbee i drugih uređaja zahtijeva kompleksniji mrežni gejtvej na kojem je implementiran nivo aplikacije.
- Osnovna ideja jeste da IP protokol može biti primijenjen i na malim uređajima i da uređaji s malom snagom i ograničenim procesorskim resursima mogu biti uključeni u IoT.
- Kada veličina IPv6 paketa prelazi veličinu paketa definisanu standardom IEEE 802.15.4, 6LoWPAN sloj vrši fragmentaciju paketa.

IoT komunikacione tehnologije

Wi-Fi (IEEE 802.11 a/b/e/g/n/p/ad/ac)

- Ne pripadaju grupi energetski efikasnih rešenja
- Ne omogućavaju prenos na veće udaljenosti
- Ne podržavaju veliki broj krajnjih uređaja
- Prenos podataka većim brzinama u opsegu od 2.401 GHz do 2.473GHz.
- Za razliku od ZigBee i Bluetooth tehnologija, Wi-Fi ima nedostatke koji se odnose na povećanu potrošnju energije i veću cijenu realizacije sistema.
- Izražena *multipath* interferencija, kao posledica refleksije signala od prepreka, posebno u *indoor* industrijskim okruženjima.
- Podrška mobilnosti još uvijek nije adekvatna za IoT primjene.
- Nema QoS garancija, što smanjuje pouzdanost, kao ni adekvatnih mehanizama za smanjenje uticaja interferencije kod prenosa u nelicenciranim opsezima.

IoT komunikacione tehnologije

Wi-Fi (IEEE 802.11ah)

- Poznat pod nazivom Wi-Fi HaLow
- Frekencijski opseg na 900MHz u neliceniranom dijelu spektra
- Brzine prenosa do 8Mb/s
- Poboľšanja u pogledu energetske efikasnosti
- Duplo veći domet od prethodnih WiFi standarda (do 1km)
- Primjena u *smart home* aplikacijama, video nadzoru, industrijskim M2M aplikacijama

Standard	Frek. opseg	Brzina prenosa	Domet
WiFi a (802.11a)	5 GHz	54 Mbit/s	10 m
WiFi B (802.11b)	2.4 GHz	11 Mbit/s	140 m
WiFi G (802.11g)	2.4 GHz	54 Mbit/s	140 m
WiFi N (802.11n)	2.4 GHz / 5 GHz	450 Mbit/s	250 m
IEEE 802.11ah	900 MHz	8 Mbit/s	1000 m

IoT komunikacione tehnologije

NB-IoT

- LP-WAN tehnologija koja je zasnovana na uskopojasnom prenosu.
- NB-IoT može koegzistirati sa GSM i LTE mrežama u licenciranim frekvencijskim opsezima (npr. 700 MHz, 800 MHz i 900 MHz).
- Zauzima frekvencijski opseg širine 200 kHz, što odgovara jednom resursnom bloku GSM i LTE prenosa.
- 3GPP preporučuje integraciju NB-IoT sa LTE celularnom mrežom, jer je dovoljan samo softverski *upgrade* u okviru postojeće LTE infrastrukture.
 - Može se posmatrati i kao novi vazdušni interfejs za LTE infrastrukturu.
 - NB-IoT komunikacija je zasnovana na LTE protokolu, tj. u određenoj mjeri redukuje neke funkcionalnosti LTE mreže i prilagođava LTE mrežu zahtjevima IoT aplikacija.
- Definisani su sledeći načini rada:
 - "Stand-alone" način rada: koriste se GSM frekvencijski opsezi.
 - "Guard-band" način rada: zasniva se na primjeni neiskorišćenih resursnih blokova unutar LTE *guard* opsega.
 - "In-band" način rada: korišćenje resursnih blokova sa LTE nosiocem.

IoT komunikacione tehnologije

...NB-IoT

- NB-IoT omogućava konektivnost za vrlo veliki broj uređaja, čak do 100000 krajnjih uređaja po ćeliji, sa mogućnošću skaliranja i povećanja kapaciteta dodavanjem više NB-IoT nosilaca.
- Brzina prenosa podataka je ograničena na 200 kbit/s za *downlink*, 20 kbit/s za *uplink* prenos (*Release 13*)
- Maksimalna veličina pejloda za svaku poruku iznosi 1600 bajtova.
- NB-IoT tehnologija može obezbijediti životni vek baterije od 10 godina, ukoliko se u prosjeku prenosi do 200 bajtova/danu.

IoT komunikacione tehnologije

LoRa

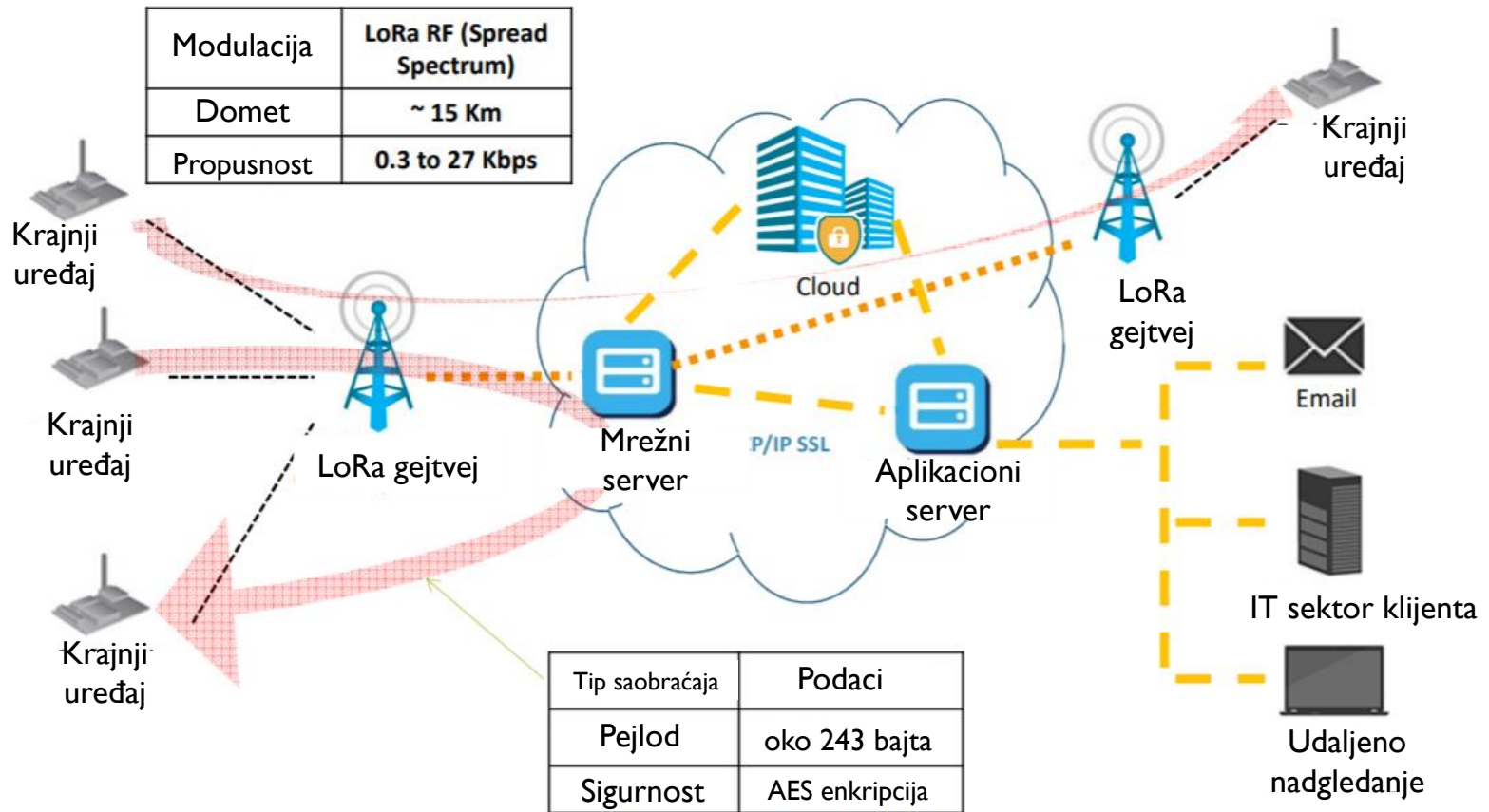
- Alternativa za NB-IoT tehnologiju koju nude mobilni operatori
- Tehnologija fizičkog nivoa
- Lora prenos se realizuje u nelicenciranim ISM opsezima: 433 MHz i 868 MHz u Evropi i 915 MHz u SAD
- Tehnologija je prilagođena aplikacijama koje zahtjevaju prenos malim brzinama na duga rastojanja (do 15 km), uz malu potrošnju energije.
- Moduliše signale u sub-GHz ISM opsegu primjenom patentiranog Chirp Spread Spectrum (CSS) modulacionog postupka, sa tipičnom širinom kanala od 125 kHz.
 - Rezultujući signal ima mali nivo šuma, što omogućava otpornost na interferenciju, Doplerov efekat, slabljenje signala, pri čemu je otežano detektovanje ili ometanje signala.
- Brzina prenosa između 300 b/s i 50 kbit/s.

IoT komunikacione tehnologije

LoRaWAN

- Dodavanjem LoRaWAN protokola na MAC sloju, formira se cjelokupno rešenje za umrežavanje IoT uređaja preko jednostavne ćelijske arhitekture koju čine LoRa uređaji, LoRaWAN gejtveji, mrežni serveri i aplikacioni serveri.
- LoRaWAN mreža je veoma jednostavne **zvijezda topologije** koja sadrži LoRaWAN gejtvej koji povezuje određeni broj LoRaWAN krajnjih uređaja.
- LoRaWAN gejtvej se dalje povezuje sa mrežnim serverima na Internetu oslanjajući se na standardne protokole TCP/IP protokol steka.
- LoRaWAN gejtveji u okviru jedne LoRa mreže povezani su na isti mrežni server koji dalje može biti povezan na veći broj aplikacionih servera.
- Visoka osetljivost prijemnika: za krajnje čvorove ona iznosi -137 dBm, a za gejtveje -142 dBm.

IoT komunikacione tehnologije



LoRaWAN mreža

LoRa pokrivenost

Izvor: <https://lora-alliance.org/>

142 Countries with
LoRaWAN® Deployments

121 Network Operators in
58 countries

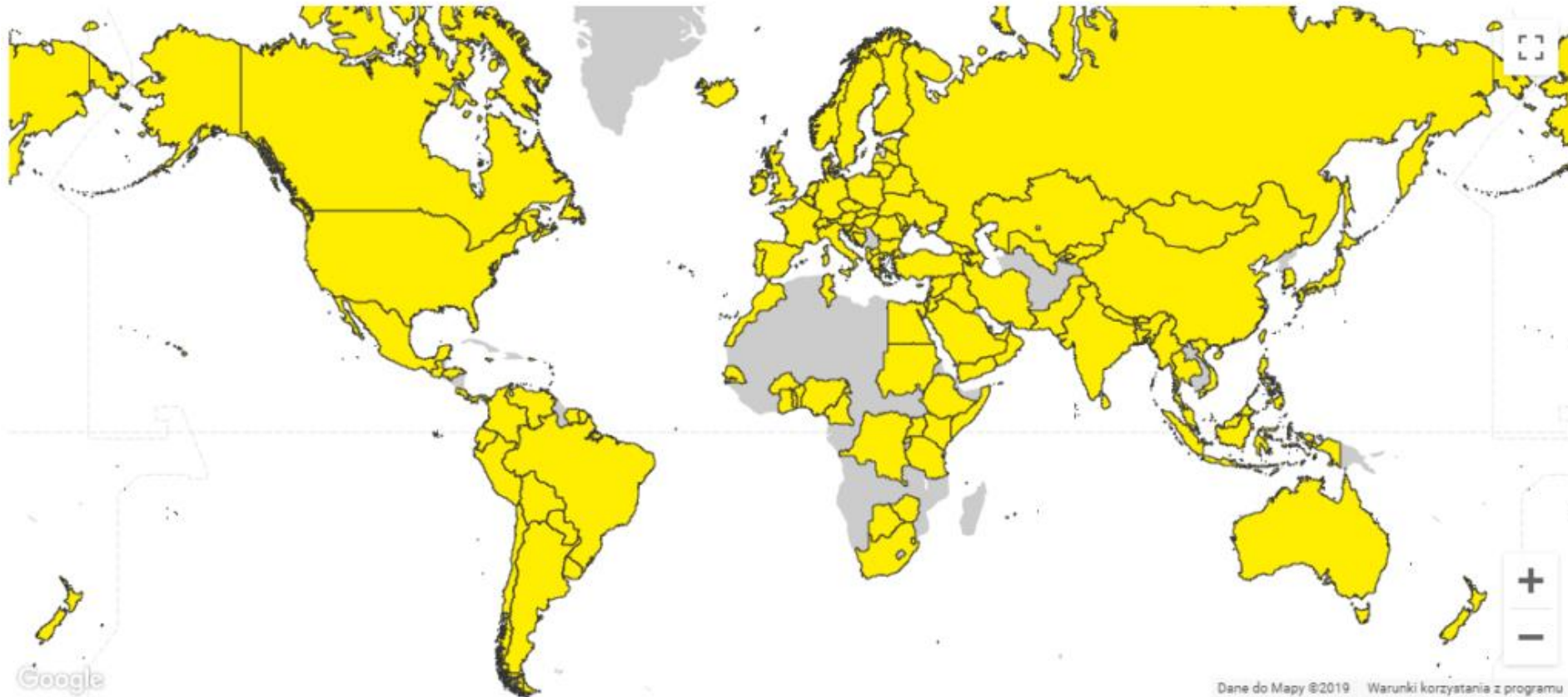
76 LoRa Alliance®
Member Operators

LoRaWAN®
Global Network Coverage

LoRaWAN®
Public Network Operators

LoRaWAN®
Open Community Networks

LoRaWAN®
Network System Integrators



IoT komunikacione tehnologije

...LoRaWAN

- LoRaWAN podržava različite klase krajnjih uređaja kako bi se ispunili različiti zahtjevi IoT aplikacija u pogledu kašnjenja i potrošnje energije
 - **Uređaji klase A** (bidirekciono krajnji uređaji) obezbjeđuju dvosmjernu komunikaciju u kojoj nakon *uplink* prenosa za svaki krajnji uređaj slijede dva kratka perioda (eng. *receive window*) za prijem poruka. Uređaji u ovoj klasi imaju najmanju potrošnju.
 - **Uređaji klase B** (bidirekciono krajnji uređaji sa dodjeljenim prijemnim slotovima) koriste dodatne periode za prenos u predefinisanim vremenskim intervalima.
 - **Uređaji klase C** (bidirekciono krajnji uređaji sa maksimalnim brojem prijemnih slotova) imaju praktično u kontinuitetu omogućen prijem poruka, ali je i potrošnja maksimalna.

IoT komunikacione tehnologije

SigFox

- Razvoj SigFox tehnologije je 2010. god. pokrenula istoimena kompanija iz Tuluza, Francuska, koja je ujedno i LP-WAN mrežni operator.
- Koristi sopstvene bazne stanice, opremljene kognitivnim softverski-definisanim radio modulom, koje su IP mrežom povezane sa krajnjim serverima.
- SigFox se implementira u nelicenciranim ISM opsezima: 868 MHz u Evropi, 915 MHz u Sjevernoj Americi i 433 MHz u Aziji.
- Uređaji se povezuju na baznu stanicu primjenom BPSK modulacionog postupka u vrlo uskom (100 Hz) sub-GHz ISM opsegu.
- Na ovaj način se propusni opseg koristi efikasno i sa vrlo malim nivoima šuma, što obezbjeđuje izuzetno malu potrošnju, visoku osjetljivost prijemnika i jednostavan dizajn antena.
- Maksimalna brzina prenosa $< 1 \text{ kb/s}$
- Korisni protok je vrlo mali (oko 100 b/s)

IoT komunikacione tehnologije

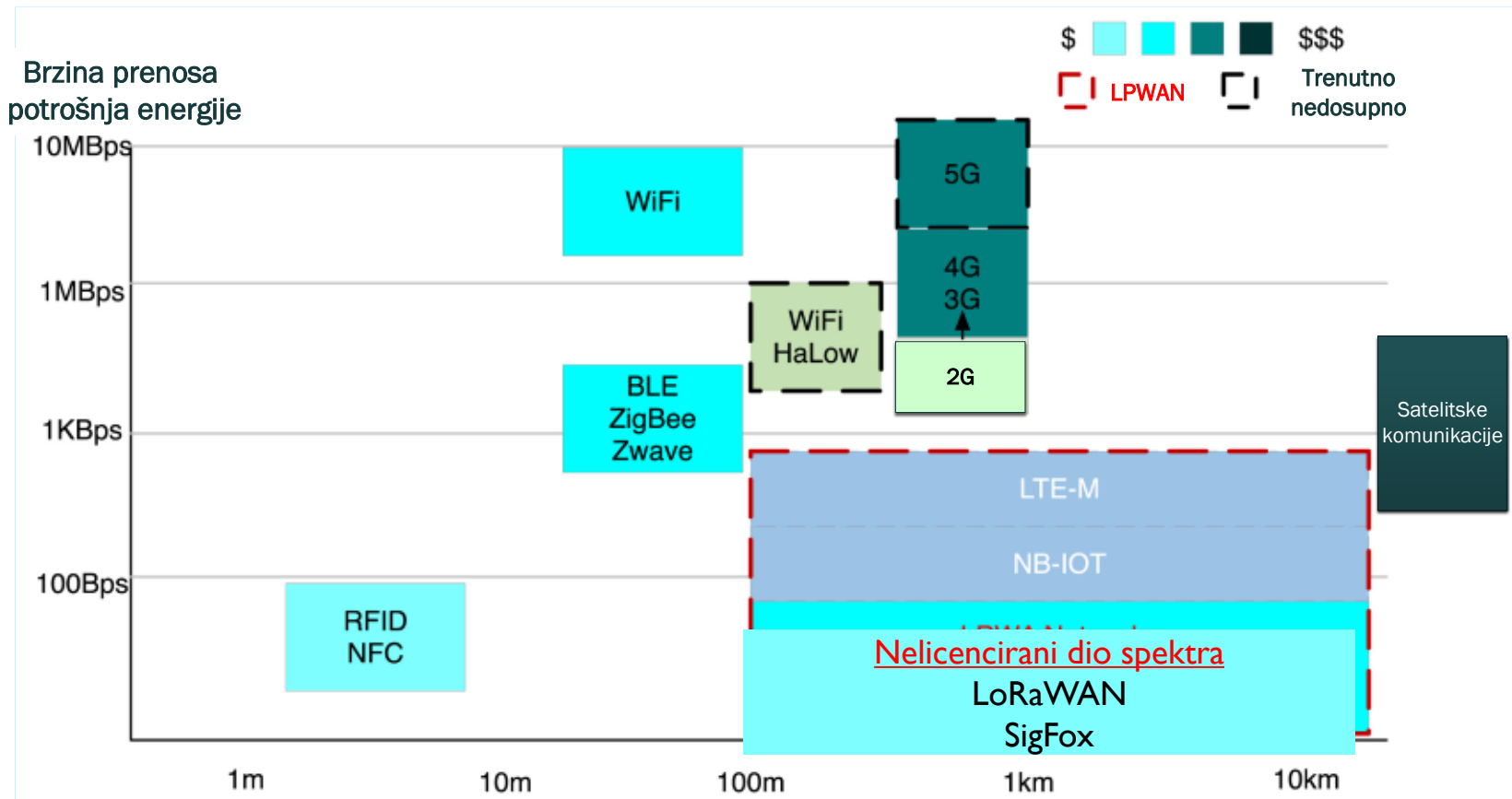
...SigFox

- Omogućavaju domet do 50km u ruralnim oblastima.
- Sigfox je inicijalno podržavao samo *uplink* komunikaciju, ali je kasnije razvio dvosmjernu tehnologiju, sa značajnom asimetrijom linka.
- Broj poruka koji se šalje na uplinku je ograničen na 140 dnevno.
- Maksimalna dužina pejloda za svaku *uplink* poruku je 12 bajtova.
- Broj poruka koje se šalju preko *downlinka* je ograničen na četiri poruke po danu, pri čemu se potvrda ne šalje za svaku *uplink* poruku.
- Maksimalna dužina pejloda za svaku *downlink* poruku je 8 bajtova.
- Pouzdan prenos na *uplinku* je obezbjeđen primjenom vremenskog i frekvencijskog diverzitija, kao i postupkom dupliranja prenosa.
- Svaka poruka koju emituje krajnji uređaj se prenosi nekoliko puta (standardna vrednost je tri) preko različitih frekvencijskih kanala.

SifFox pokrivenost



IoT komunikacione tehnologije



Radio-komunikacioni domet