



# Računarske komunikacije

Prof. dr Enis Kočan ([enisk@ucg.ac.me](mailto:enisk@ucg.ac.me))

*Saradnik:* Dr Slavica Tomović ([slavicat@ucg.ac.me](mailto:slavicat@ucg.ac.me))

# SADRŽAJ KURSA

---

1. Uvod. Osnovni principi računarskih komunikacija
2. Signali. Vrste prenosa signala. Harmonijska analiza signala
3. Sistemi prenosa. Izobličenja pri prenosu signala
4. Obrada signala kodiranjem. Uticaj šuma na prenos signala
5. Obrada signala modulacijom. Osnovni tipovi digitalnih modulacija
6. Medijumi za prenos
7. Pravila strukturnog kabliranja
8. Tehnike multipleksiranja. Prenos višestrukim nosiocima
9. Detekcija i korekcija greške. Kontrolni protokoli na nivou linka
10. Tehnike za poboljšanje veze na bežičnom linku. Analiza kvaliteta prenosa (BER, PER, kapacitet sistema)
11. Osnovni parametri fizičkog sloja za IEEE 802.11 grupu standarda
- 12. Komunikaciona rješenja za IoT mreže**
13. Trendovi u računarskim komunikacijama

# Termin 12 - Sadržaj

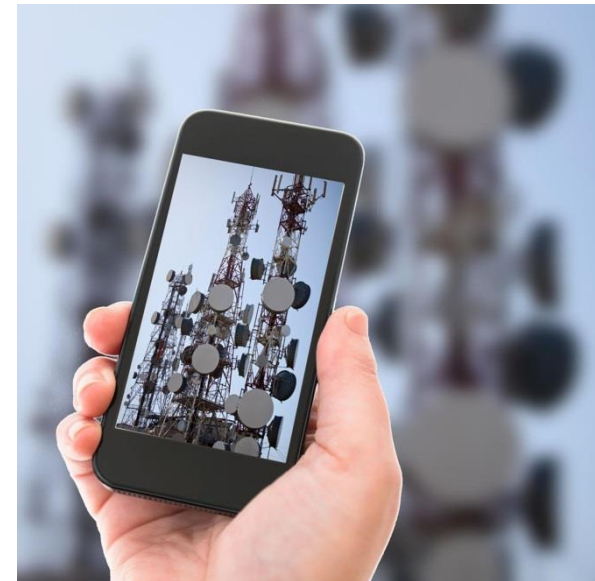
---

- **Uvod**
- Podjela IoT komunikacionih tehnologija
- Celularne IoT komunikacione tehnologije
- LPWAN
- Kapilarne IoT komunikacione tehnologije
- Zaključak

# Uvod

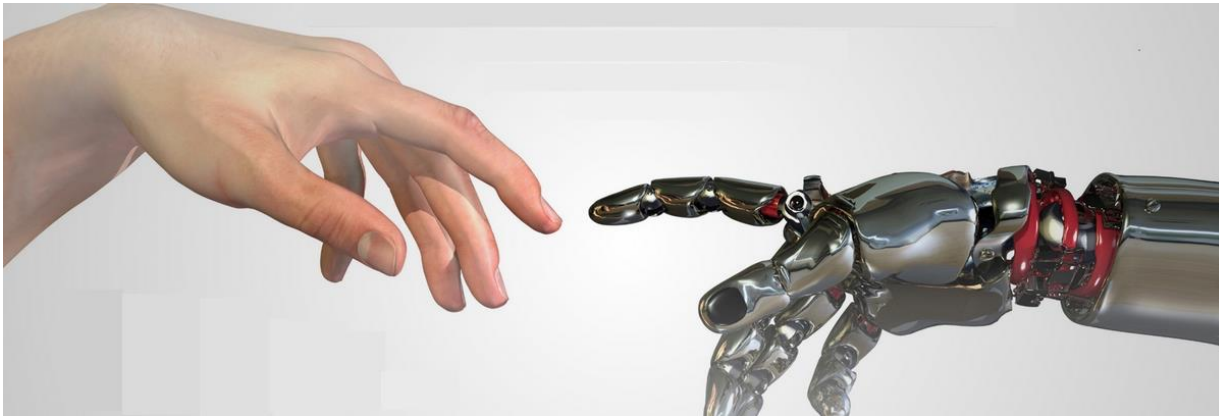
---

- ✓ Primarni cilj telekomunikacija je bio ostvarivanje komunikacije između ljudi (*Human-to-human communications*)



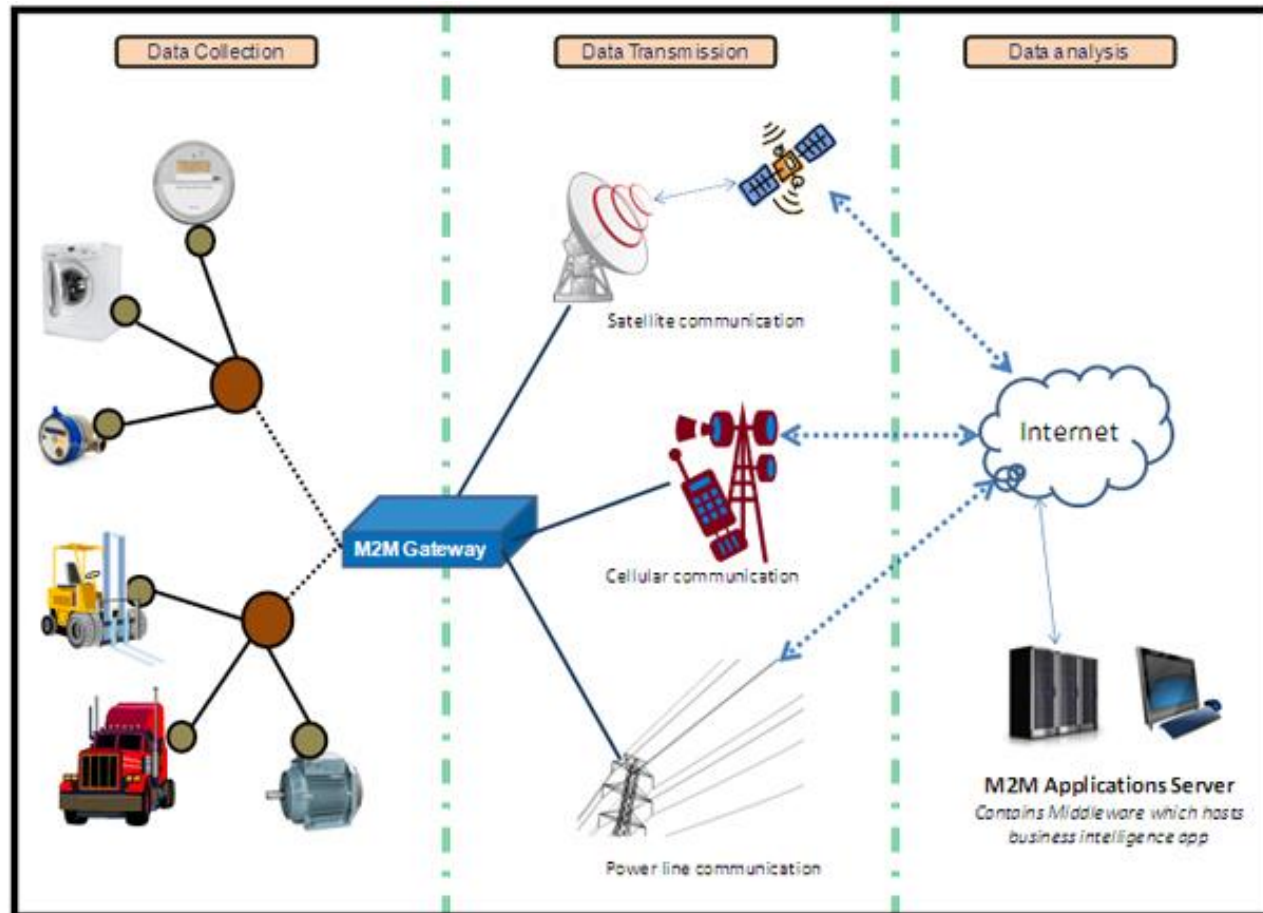
# Uvod

- *Human-to-machine (H2M) communications*
- Sa razvojem računarskih tehnologija, a posebno ekspanzijom Interneta, sve veći značaj u telekomunikacijama dobijaju komunikacije između ljudi i mašina



# Uvod

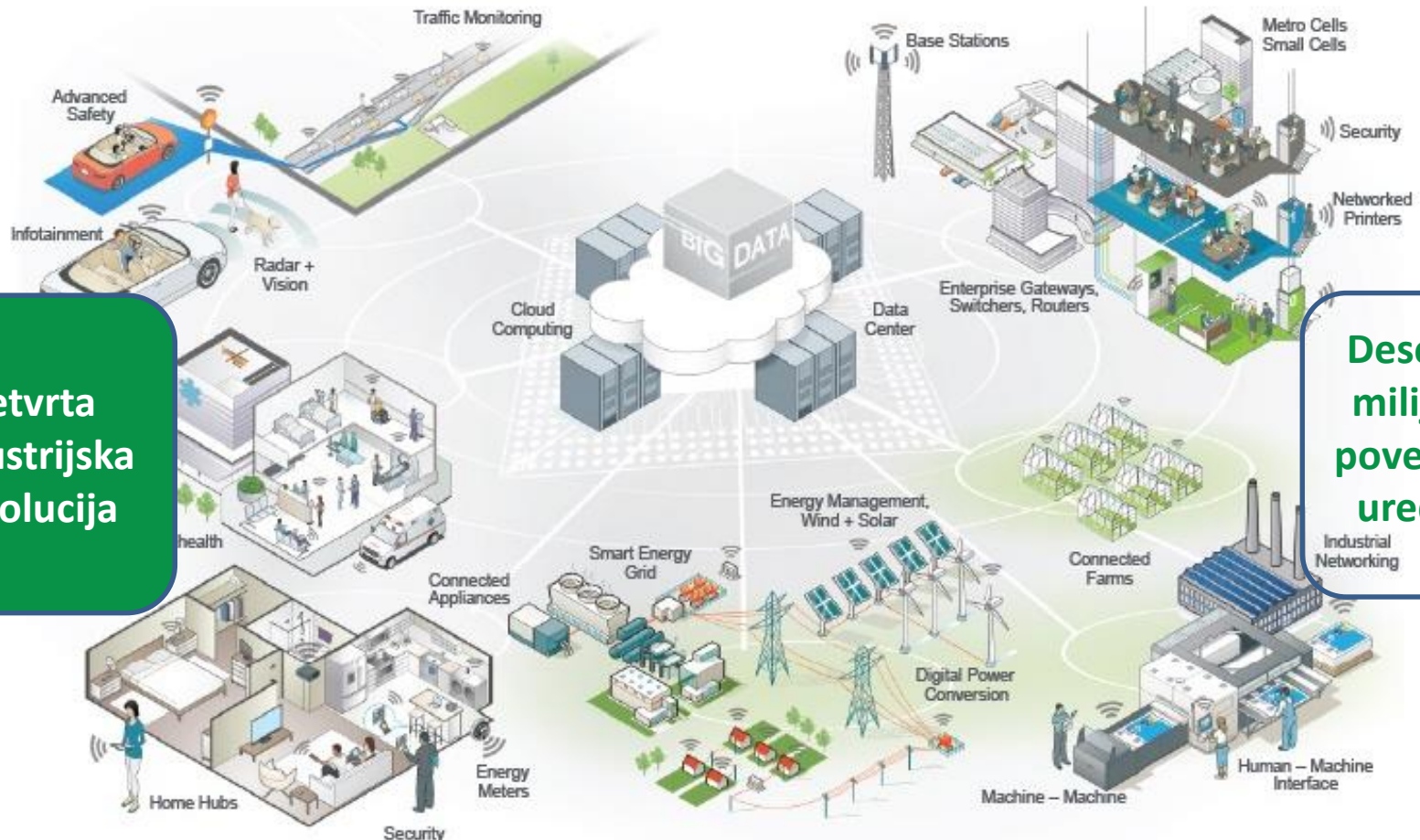
- *Machine-to-machine (M2M) communications*
- Komunikacija između različitih mašina (uređaja) bez učešća ljudi.





# Internet of Things

- Internet stvari (**Internet of Things – IoT**) je širi kontekst od M2M

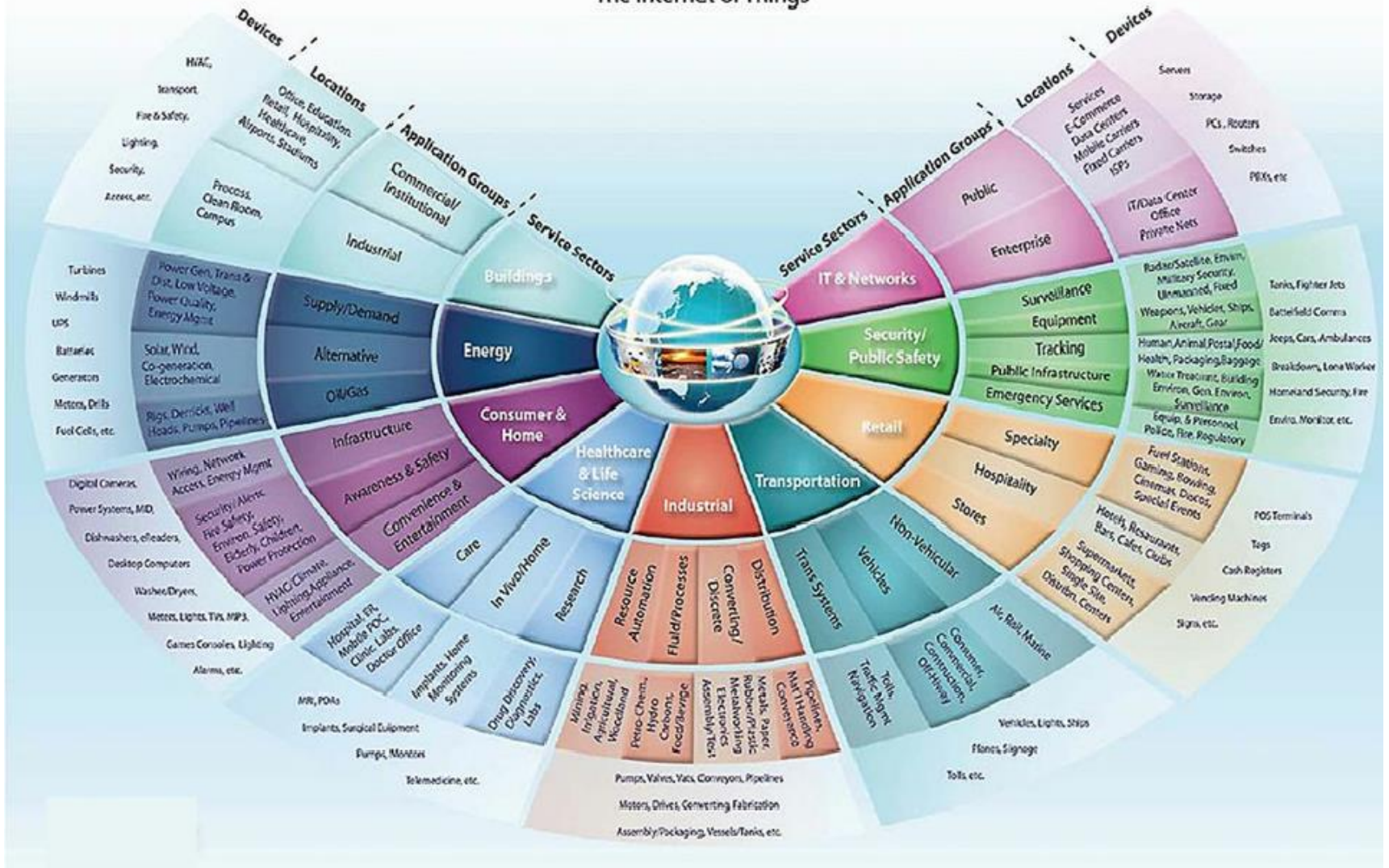


Četvrta  
industrijska  
revolucija

Desetine  
milijardi  
povezanih  
uređaja

# IoT oblasti primjene

The Internet of Things



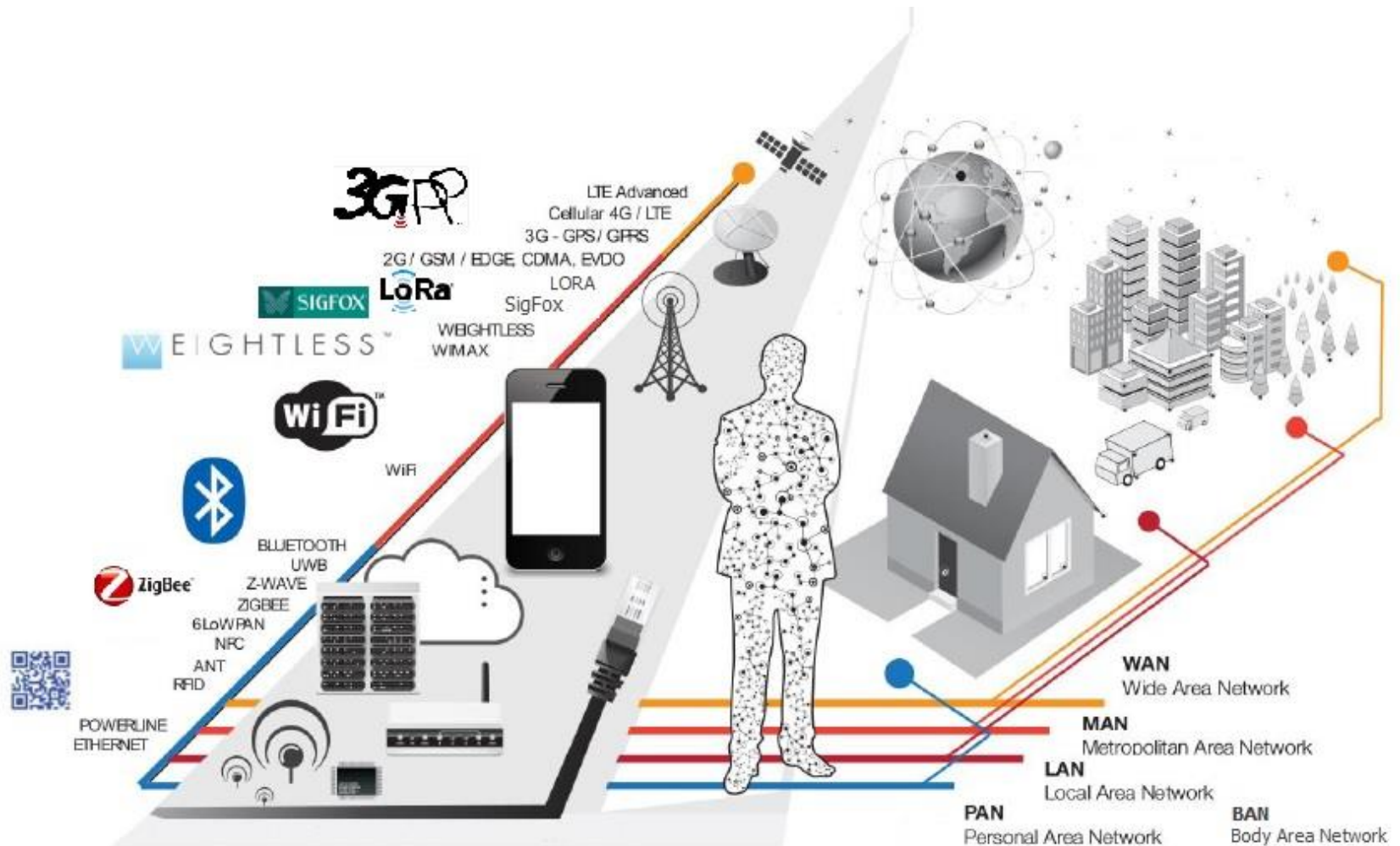


# IoT elementi



- **Identifikacija** je ključno bitna radi imenovanja servisa i povezivanja servisa sa odgovarajućim zahtjevima. Uključuje ID objekta i IP adresu.
- **Komunikacija** podrazumijeva prenos podataka od heterogenih objekata prema cloud-u, u cilju pružanja odgovarajućih servisa.
- **Obrada podataka** se obavlja u mikrokontrolerima, odnosno mikroprocesorima na samim IoT uređajima, i u cloud platformama
- **Semantika** predstavlja mozak IoT sistema, i odnosi se na mogućnost ekstrakcije znanja od strane različitih mašina, a u cilju pružanja zahtijevanih servisa.

# IoT komunikacione tehnologije



# Termin 12 - Sadržaj

---

- Uvod
- **Podjela IoT komunikacionih tehnologija**
- Celularne IoT komunikacione tehnologije
- LPWAN
- Kapilarne IoT komunikacione tehnologije
- Zaključak

# Podjela IoT komunikacionih tehnologija

---

- IoT komunikacione tehnologije se mogu klasifikovati na više načina.
- U zavisnosti od ostvarivog **dometa**, IoT komunikacione tehnologije se mogu podijeliti na rješenja:
  - veoma malog dometa (npr. RFID, NFC, BAN – *Body Area Networks*),
  - malog dometa (npr. različita rješenja za PAN – *Personal Area Networks*),
  - srednjeg dometa (npr. rješenja za LAN – *Local Area Networks*)
  - širokog dometa (npr. rješenja za WAN – *Wide Area Networks*)
  - globalnog pokrivanja (npr. Celularne mreže i satelitske mreže)
- U zavisnosti od **tipa** primijenjenog **medijuma za prenos**, obično se dijele na:
  - bežične IoT komunikacione tehnologije i
  - realizovane vođenim medijumom za prenos (kablovima sa upredenim bakarnim paricama, optičkim kablovima, PLC – *power line communications*)

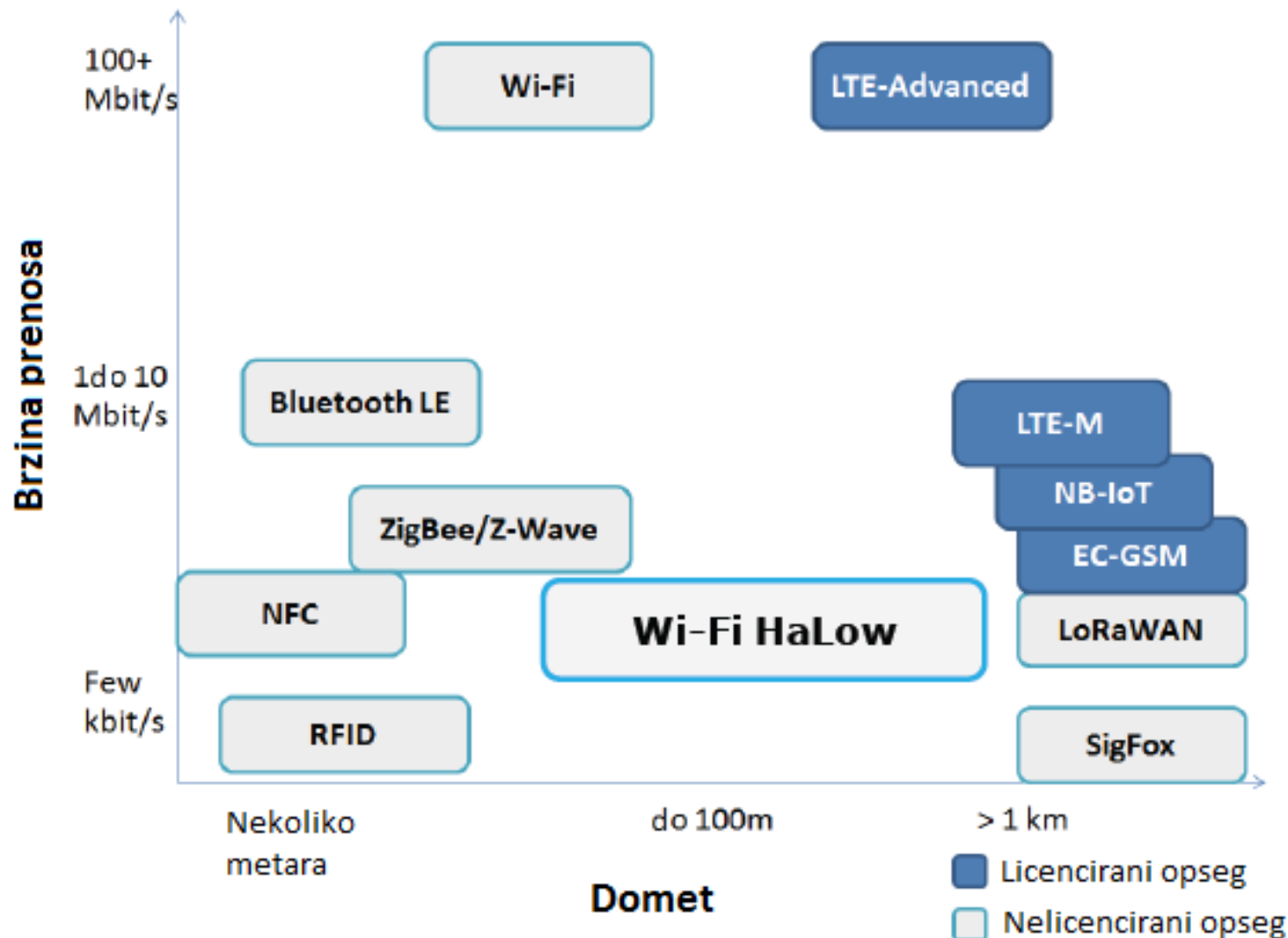


# Bežične IoT komunikacione tehnologije

---

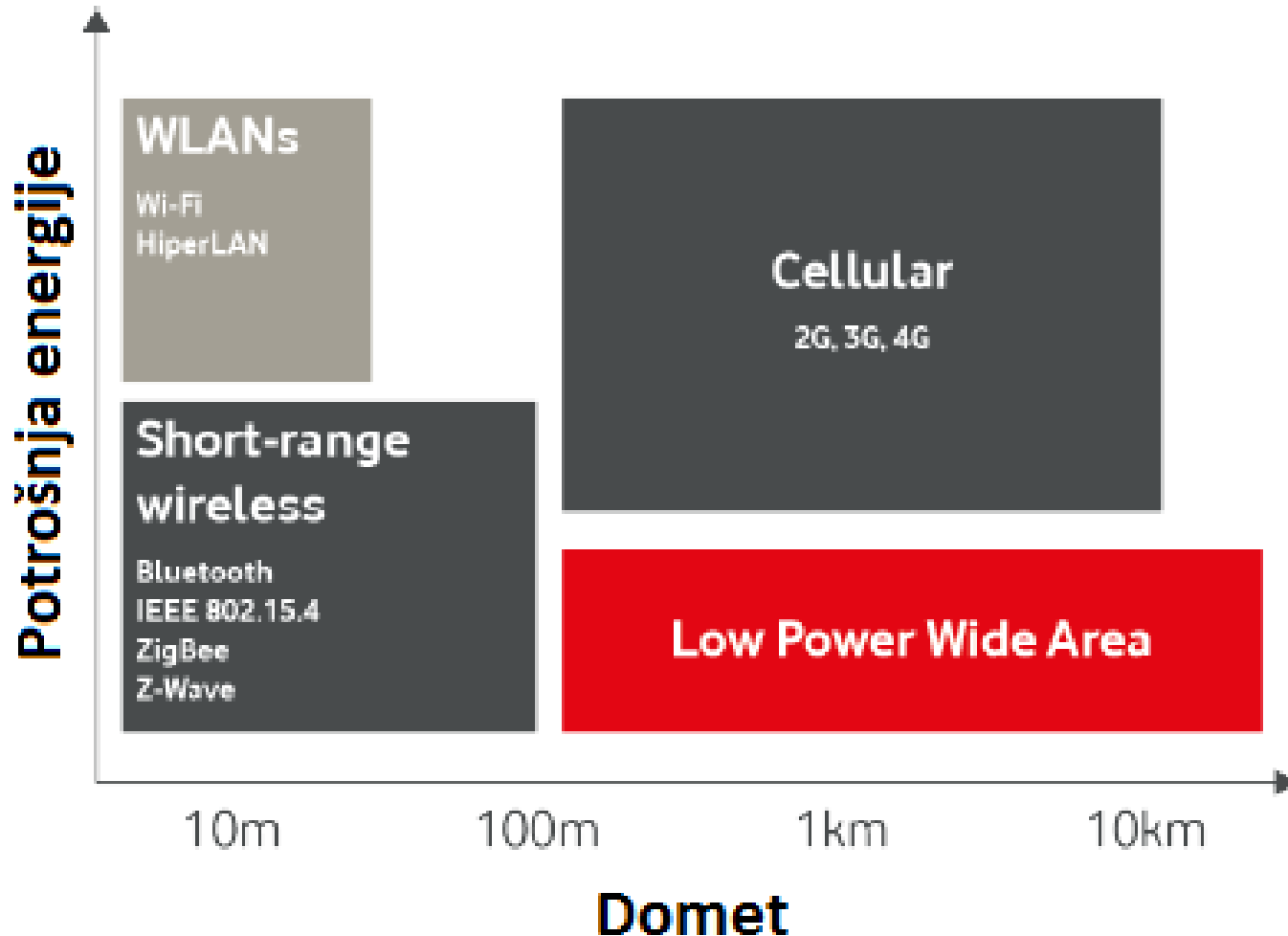
- Rješenja za bežične komunikacione IoT tehnologije se mogu klasifikovati u zavisnosti od toga da li koriste licencirani ili nelicencirani dio sektra.
- U **licenciranim opsezima** funkcionišu 3GPP (*3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project*) IoT komunikacione rješenja (mobilne celularne mreže):
  - NB-IoT (*Narrowband IoT*),
  - LTE-M (*Long Term Evolution Machine Type Communications*),
  - EC-GSM (*Extended Coverage GSM*).
- Sva ostala bežična IoT komunikaciona rešenja koriste **nelicencirane opsege**:
  - Bluetooth Low Energy (BLE), WiFi, ZigBee, Z-Wave, LoRaWAN, SigFox, ...

# Bežične IoT komunikacione tehnologije



# Bežične IoT komunikacione tehnologije

---



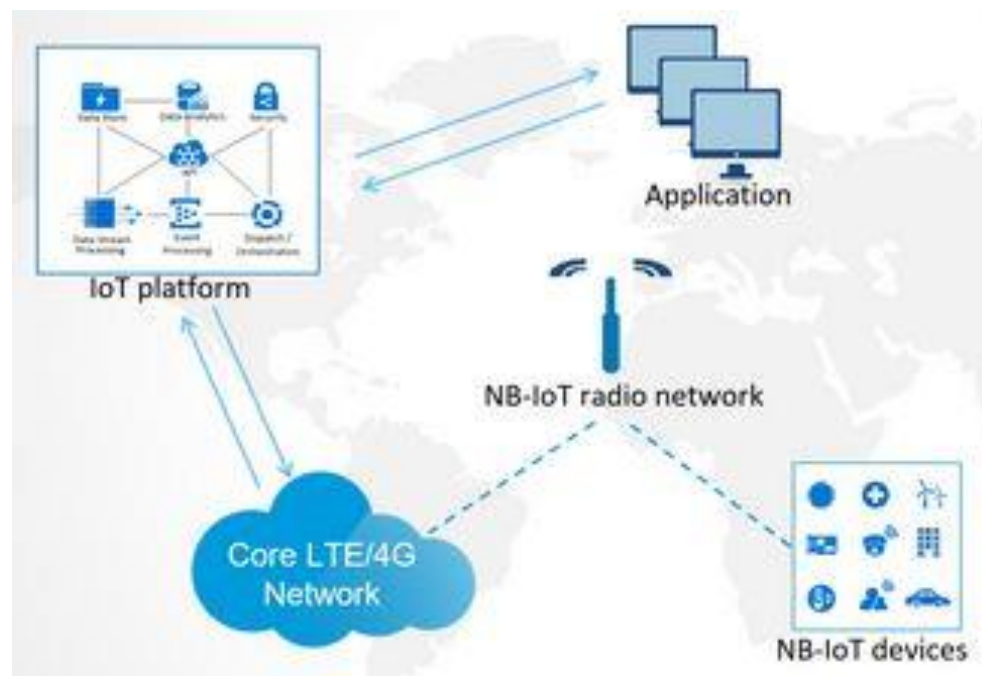
# Bežične IoT komunikacione tehnologije

- Još jedan način podjele bežičnih IoT komunikacionih rješenja je u odnosu na kompletnu komunikacionu arhitekturu, pri čemu se mogu razdvojiti sledeće kategorije:

1. Mobilne celularne mreže (3GPP)
2. LPWAN (*Low Power Wide Area Networks*)
3. Kapilarne multi-hop mreže

## 1. Mobilne celularne mreže

- Evolucija radio dijela i jezgra mreže
- **NB-IoT, LTE-M, EC-GSM**



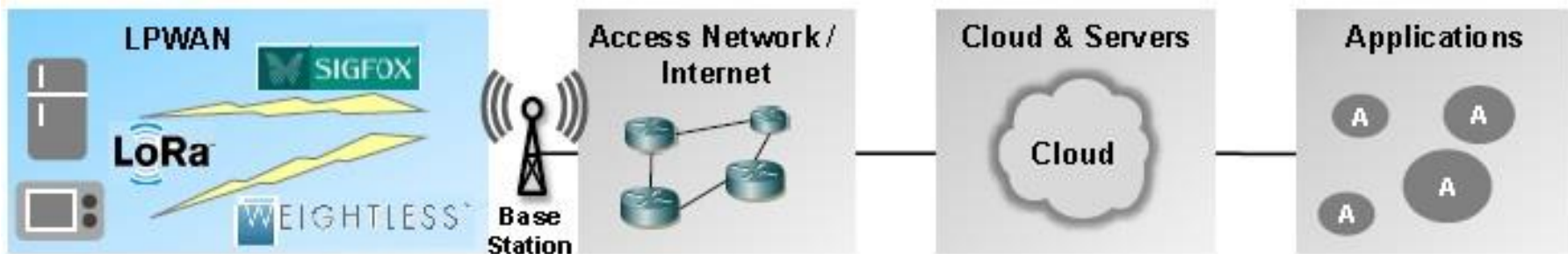


# Bežične IoT komunikacione tehnologije

---

## 2. LPWAN

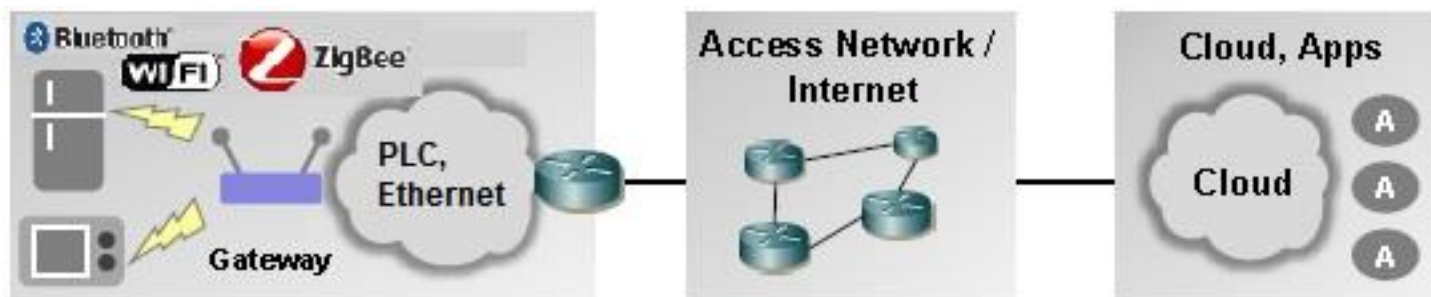
- **LoRaWAN, SigFox, Weightless**



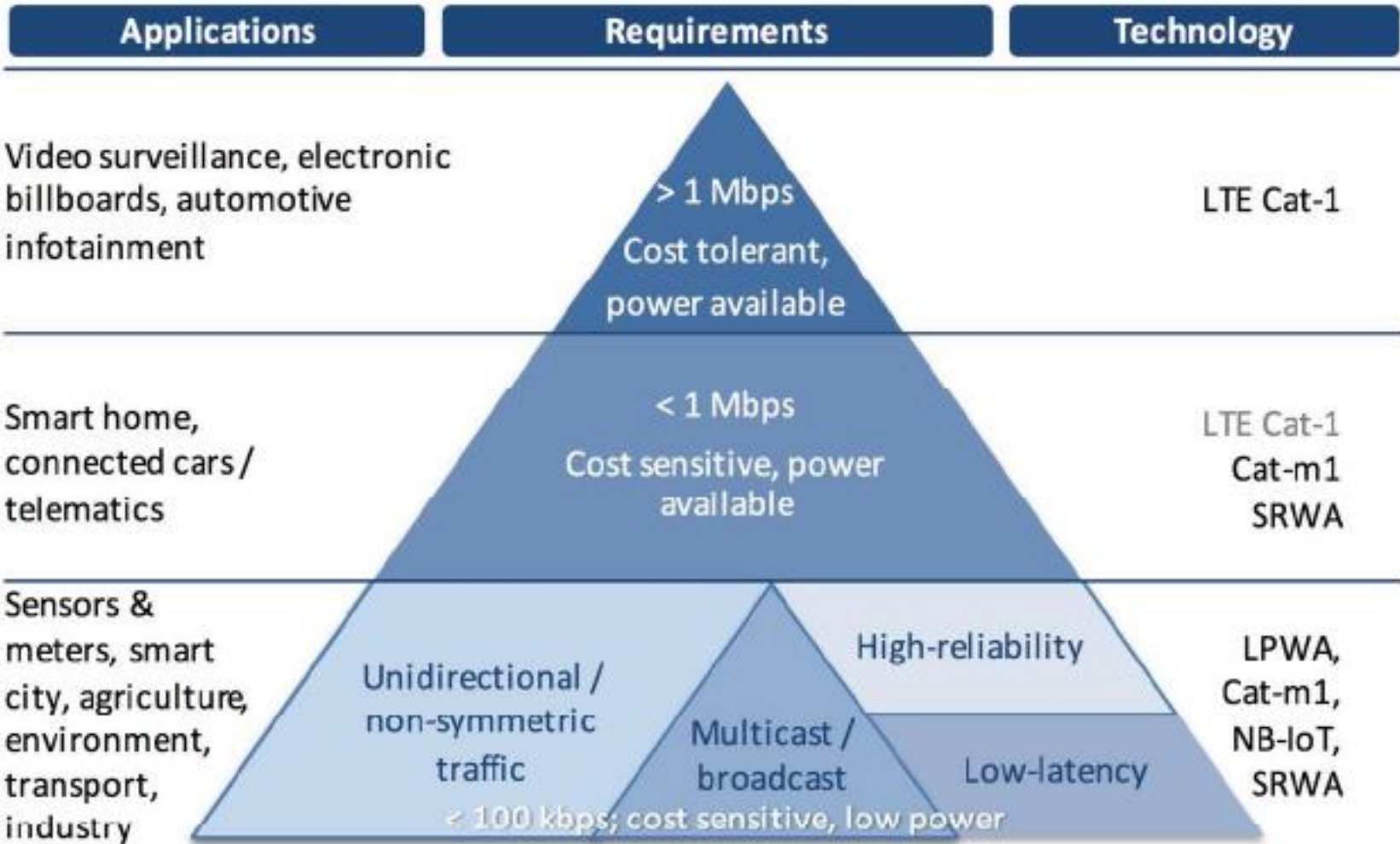
# Bežične IoT komunikacione tehnologije

## 3. Kapilarne multi-hop mreže

- U pristupnom dijelu se koriste tehnologije kratkog/srednjeg dometa (RFID, Bluetooth, WiFi, Zigbee,..)
- Na drugom hopu (*backhaul*) se mogu koristiti različite komunikacione tehnologije (2G/3G/4G, WiFi, Ethernet, PLC)



# Oblasti primjene bežičnih IoT komunikacionih rješenja



**SRWA** – Short-range Wide Area Technologies (IEEE 802.15.4, IEEE 802.11ah/af, ZigBee, WirelessHART)

# Kriterijumi za izbor IoT komunikacione tehnologije

---

- ✓ **Scenario primjene** utiče na izbor tehnologije zbog:
  - ✓ Oblasti pokrivanja,
  - ✓ tipa saobraćaja,
  - ✓ pouzdanosti,
  - ✓ napajanja (trajanja baterije) ...
  
- ✓ **Cijena**
  - ✓ Cijena servisa,
  - ✓ cijena opreme
  
- ✓ **Mogućnost nadogradnje preko radio linka**



# Termin 12 - Sadržaj

---

- Uvod
- Podjela IoT komunikacionih tehnologija
- **Celularne IoT komunikacione tehnologije**
- LPWAN
- Kapilarne IoT komunikacione tehnologije
- Zaključak

# Mobilne celularne IoT tehnologije

---

- Jedna od glavnih prednosti 3GPP standardizovanih IoT komunikacionih rješenja je u tome što iza njih stoji veliki konzorcijum koji uključuje preko 400 članova.
- Cilj je interoperabilnost između rješenja različitih proizvođača, kao i između različitih operatora.
- Ono što izdvaja ova IoT komunikaciona rješenja od ostalih je:
  - Funkcionisanje u licenciranom opsegu (manja interferencija)
  - Autentifikacija korisnika i bezbijednost konekcije
  - Pojednostavljena primjena
  - Skalabilnost mreže za potrebe povećanja kapaciteta

# Mobilne celularne IoT tehnologije

---

- ✓ 3GPP je kroz **Release 13** dokument, objavljenom u **junu 2016.** godine, definisao tri komplementarne IoT komunikacione tehnologije:
  1. Enhanced Coverage – GSM (EC-GSM)
  2. Machine Type Communication Category M1 (LTE MTC Cat M1), ili LTE-M, i
  3. Narrowband – IoT (NB-IoT), ili NB LTE-M
- ✓ Komercijalna upotreba NB-IoT i LTE/M tehnologija je počela krajem 2017. godine

# Mobilne celularne IoT tehnologije

	Cat-0 Release 12	EC-GSM Release 13	LTE-M Release 13	NB IoT Release 13
Frekv. opseg	LTE opsezi	GSM opsezi	LTE opsezi	2G/3G/4G
Širina kanala	20MHz	200kHz	1,4MHz	180kHz (200kHz)
DL brzina pren.	1Mb/s	~ 300kb/s	200kb/s	200kb/s
UL brzina pren.	1Mb/s	< 10kb/s	200kb/s	144kb/s
Tip dupleksa	Polu-dupleks	Polu-dupleks	Polu-dupleks	Polu-dupleks
UL Tx snaga	23dBm	23-33dBm	20dBm	23dBm
Trajanje bat. (200b/danu)		~ 10 god.	~ 10 god.	više od 10 god.

# EC-GSM

---

- ✓ GSM proširenog dometa (**Extended Coverage GSM**) je rješenje zasnovano na eGPRS, dizajnirano kao energetska efikasna tehnologija velikog kapaciteta i male kompleksnosti, za IoT komunikacije.
- ✓ EC-GSM je kompatibilan sa prethodnim standardima mobilnih celularnih mreža, što omogućava da se implementira kao softverska nadogradnja radio dijela i jezgra GSM mreža.
  - ✓ Mod uštede snage (**PSM - power saving mode**) i prošireni mod mirovanja u diskontinualnom prijemu (**eDRX - extended idle-mode Discontinuous Reception**) se implementiraju kao softverska rješenja na jezgru mreže, u cilju postizanja **trajanja baterije do 10 god.** za krajnje uređaje
- ✓ Dizajniran je sa ciljem da ponudi servise za M2M uređaje na lokacijama na kojima je veliki izazov ostvariti radio pokrivanje

# LTE-M

---

- ✓ 3GPP Release 13 je specificirao korisničku opremu **Cat-M1**, sa tri glavna cilja:
  - ✓ Dalje smanjiti kompleksnost u odnosu na opremu Cat-0,
  - ✓ Povećati pokrivanje za najmanje 15dB,
  - ✓ Produžiti vijek trajanja baterije,a sve uz **korišćenje postojećih LTE baznih stanica**.
- ✓ Najveće smanjenje cijene uređaja u odnosu na Cat-0 je ostvareno kroz **ograničenje opsega** na 6 LTE resursnih blokova (6 x 180kHz = 1,08MHz).
- ✓ Cat-M1 oprema omogućava trajanje baterije više od 10 godina za većinu IoT aplikacija, primjenom **PSM** i **eDRX** - modova



# NB-IoT

---

- ✓ Predstavlja otvoreni standard zasnovan na LTE tehnologiji
  - ✓ To će olakšati i ubrzati implementaciju kod postojećih operatera
  - ✓ Kod većine LTE baznih stanica biće dovoljna softverska nadogradnja radi primjene NB-IoT
- ✓ Ne postoji ograničenje vremenskih intervala kada je dozvoljeno emitovanje informacija (tzv. “duty cycle”)
  - ✓ Time je omogućeno ostvarivanje većih brzina prenosa podataka nego kod drugih LPWAN tehnologija
- ✓ Trajanje baterije za krajnje uređaje **do 15 godina**
- ✓ Jednostavni IoT uređaji, za koje se očekuje da cijena bude svega nekoliko dolara kada počne masovna proizvodnja
  - ✓ Jednostavniji nego GSM IoT uređaji

# Primjena mobilnih celularnih IoT tehnologija

---

✓ Mason Analysis je 2015. god. objavila rezultate studije, u kojoj je identifikovano sedam oblasti primjene 3GPP IoT rješenja:

## 1. Pametno očitavanje

- Gasa, vode, monitoring cjevovoda, pametne mreže ...

## 2. Poljoprivreda i monitoring životne sredine

- Praćenje životinja, mjerenje parametara zemljišta, vremenskih uslova, parametara zagađenosti vazduha, parametara morske/jezerske/riječne životne,...

## 3. Korisnička i medicinska elektronika

- Pametni satovi, praćenje ljudi ili ljubimaca, bijela tehnika/uređaji, praćenje pametnih bicikala, udaljeni monitoring medicinskih parametara

## 4. Pametne zgrade

- Detektori dima, alarmni sistemi, monitoring temperature, vlažnosti, kontrola garažnih vrata, itd.

# Primjena mobilnih celularnih IoT tehnologija

---

## 5. Pametni gradovi

- Parking senzori, upravljanje otpadom, pametno osvetljenje, monitoring saobraćaja, itd.

## 6. Logistika

- Praćenje sredstava (npr. industrijska sredstva, kontejneri, vozila, podaci o lokaciji i ažuriranje statusa)

## 7. Industrija

- Monitoring različitih rezervoara i procesa njihovog punjenja
- Kontrola mašina (status opreme, fabrička kontrola, monitoring bezbjednosti,..)
- Automati (informacije o nivou popunjenosti različitih automata, dijagnostički izvještaji, alarmi o pokušaju krađe, verifikacija podataka za kartično plaćanje, itd.)

# Termin 12 - Sadržaj

---

- Uvod
- Podjela IoT komunikacionih tehnologija
- Celularne IoT komunikacione tehnologije
- **LPWAN**
- Kapilarne IoT komunikacione tehnologije
- Zaključak

# LPWAN

---

- ✓ Dizajnirane su da
  - ✓ Ostvare pokrivanje velikih oblasti, uključujući i korisnike koji se nalaze unutar objekata, ili ispod zemlje
  - ✓ Omoguće energetske efikasne komunikacije, odnosno da uređaji mogu funkcionisati 10-tak godina, ili više, na baterijskom napajanju
  - ✓ Povežu veliki broj uređaja (više hiljada) na jednu pristupnu tačku
  - ✓ Omoguće realizaciju veoma jednostavnih krajnjih uređaja, sa cijenom od svega nekoliko dolara
  - ✓ Koriste veoma uzak opseg i prenose male količine podataka od pojedinačnih uređaja

# LPWAN – pravilo pet desetki

---

- ✓ Ne postoji precizna definicija LPWAN mreža, ali se često podrazumijeva tzv. “**pravilo pet desetki**”
  1. LPWAN uređaj bi trebao da funkcioniše najmanje **10 godina** bez zamjene baterijskog napajanja
  2. LPWAN uređaj bi morao ostvariti domet od najmanje **10km**
  3. Cijena LPWAN uređaja treba da bude ispod **10 dolara**, ako uređaj emituje informacije reda veličine nekoliko **desetina bajta** svakog sata
  4. Svaka ćelija LPWAN mreže bi morala da podrži konektovanje više od **10 hiljada** uređaja



# LPWAN

	SigFOX	LoRaWAN (EU)	Weightless -N	Weightless -P
Frekv. opseg	868-902MHz	863-870MHz	subGHz (ISM)	subGHz (ISM)
Širina kanala	100Hz	125-250kHz	200Hz	12,5kHz
UL brzina pren.	< 100 b/s	250b/s-50kb/s	250b/s	200b/s-100kb/s
DL brzina pren.	256 b/danu	250b/s-50kb/s	/	6,25kb/s-100kb/s
Vel. paketa	≤ 12B	≤ 222B	≤ 20B	10B/min.
UL Tx snaga	-30 do 20dBm	14dBm	17dBm	17dBm
Maks. domet	Ruralno: 30-50km Urbano: 3-10km	Ruralno: 10-15km Urbano: 3-5km	Ruralno: 10-12km Urbano: 3km	Ruralno :5-10km Urbano: 2km
Broj stanica po BS	≈ 10 <sup>6</sup>	≈ 10 <sup>5</sup>	/	≈ 10 <sup>6</sup>
Standard			dostupan	dostupan

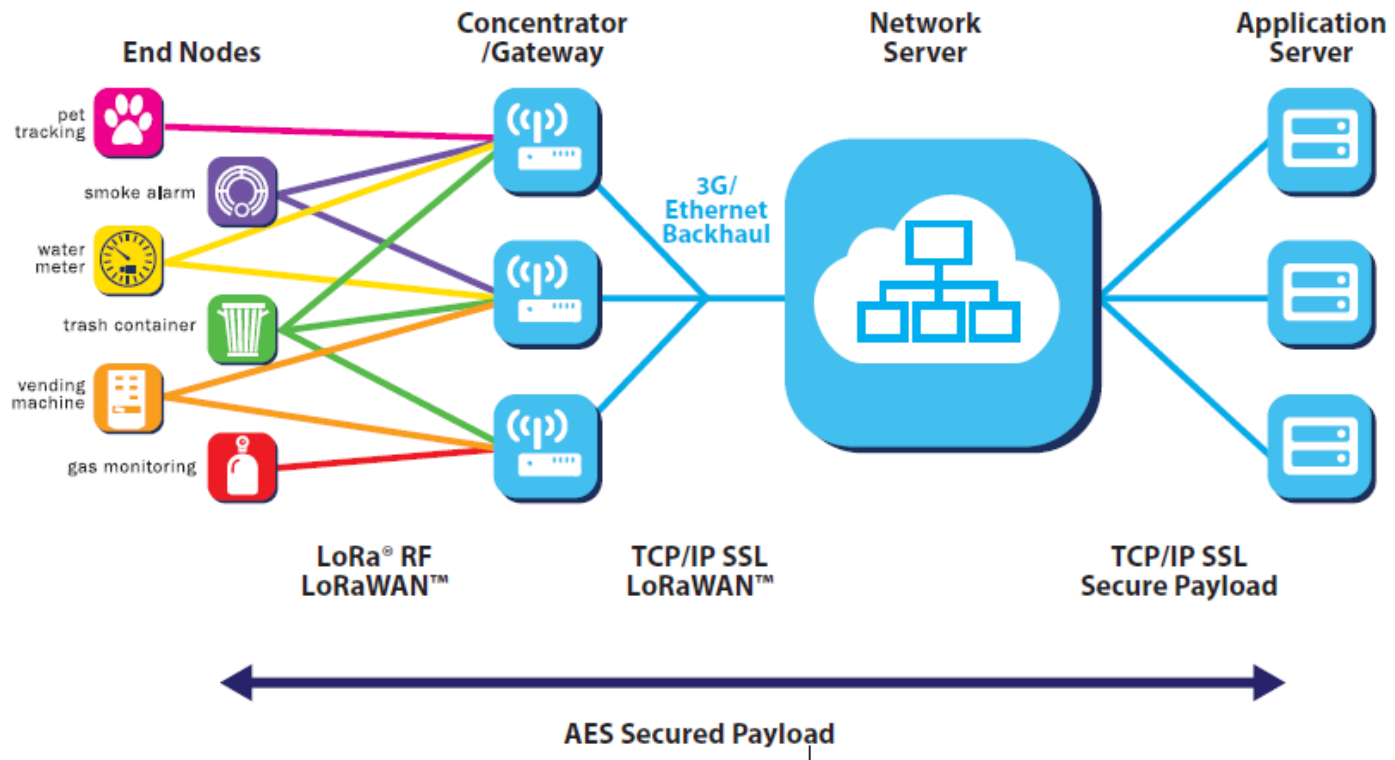
# LoRaWAN

---

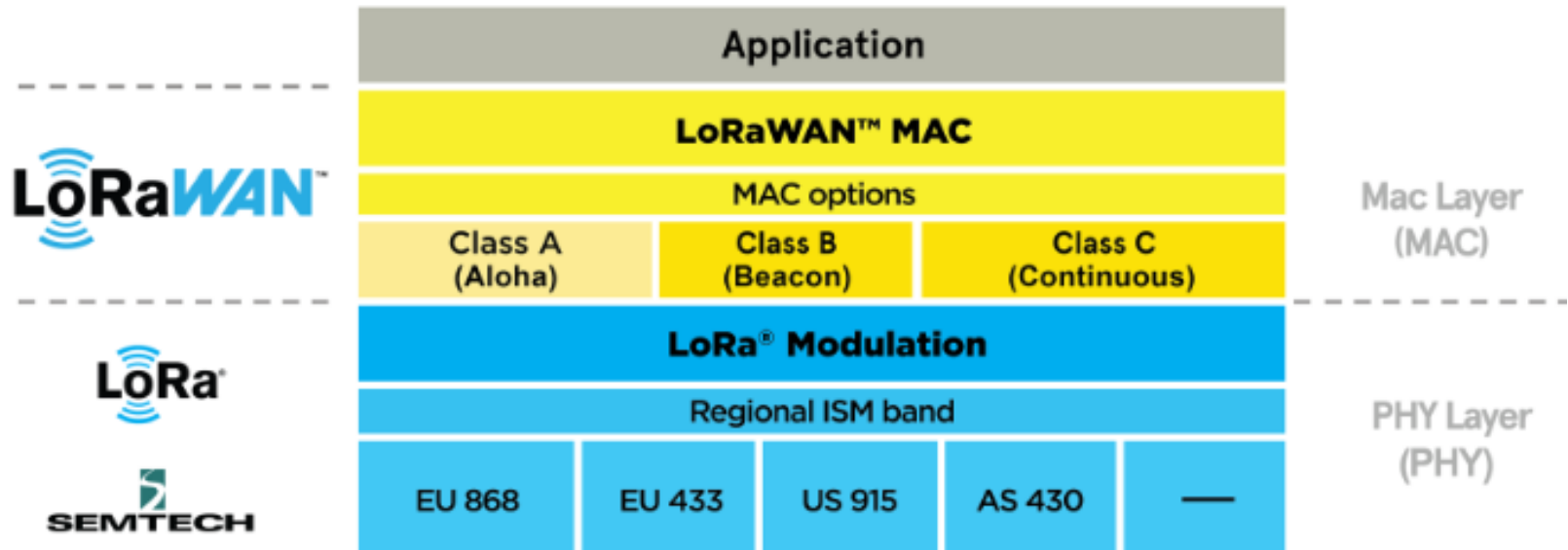
- ✓ **LoRa** je tehnologija na **fizičkom nivou** dizajnirana da ostvari komunikacione linkove velikog dometa
  - ✓ Koristi novu modulacionu tehniku: **Chirp Spread Spectrum (CSS)**
  - ✓ U Evropi podrazumijeva primjenu **10 komunikacionih kanala**
  - ✓ **8 kanala** su širine **125kHz**, i u zavisnosti od primijenjenog spreading faktora, mogu da ostvare brzine prenosa od **250b/s do 5,5kb/s**.
    - ✓ Primjenom tehnike adaptivne brzine prenosa (**ADR - Adaptive Data Rate**), može se naći kompromis između ostvarivog dometa i željene brzine prenosa podataka
  - ✓ **Jedan kanal** širine **250kHz** omogućava brzine prenosa od **11kb/s**
  - ✓ **Drugi kanal** širine **250kHz** primjenjuje **FSK** modulaciju i omogućuje brzine prenosa podataka od **50kb/s**

# LoRaWAN mreža

- ✓ **LoRaWAN** definiše komunikacione protokole i arhitekturu sistema iznad LoRa fizičkog sloja
  - ✓ Koristi se zvijezda topologija



# LoRaWAN arhitektura protokola

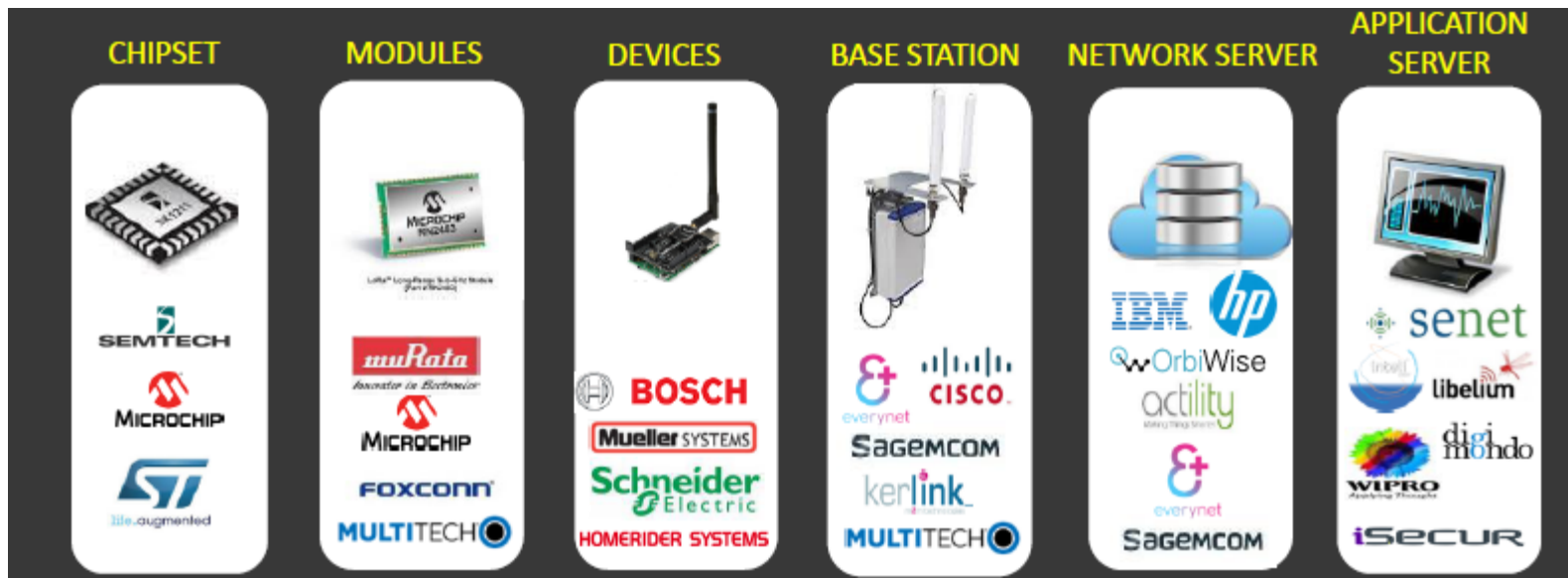


# LoRaWAN

---

- ✓ Koristi **dva nivoa garancije bezbijednosti podataka**
  - ✓ Na mrežnom nivou se obezbjeđuje autentifikacija krajnjih uređaja
  - ✓ Na aplikativnom nivou bezbjedonosni protokol garantuje da mrežni operator nema pristupu podacima krajnjih korisnika
- ✓ Definisana su **tri tipa LoRaWAN korisničkih uređaja**
- ✓ Omogućena je **lokalizacija**, pošto svaki paket primaju barem 3 gateway-a
  - ✓ Preciznost je reda 20-50m u ruralnim sredinama, odnosno 120-200m u urbanim sredinama
- ✓ Radi podrške LoRa tehnologiji osnovana je **LoRa Alliance**, koja broji preko 500 članova
  - ✓ Između ostalog, cilj je i obezbjeđenje podrške romingu LoRa zasnovanim IoT uređajima

# LoRaWAN Alliance



✓ Od osnivanja, marta 2015. god., do kraja 2019. godine, su stekli preko 500 članova

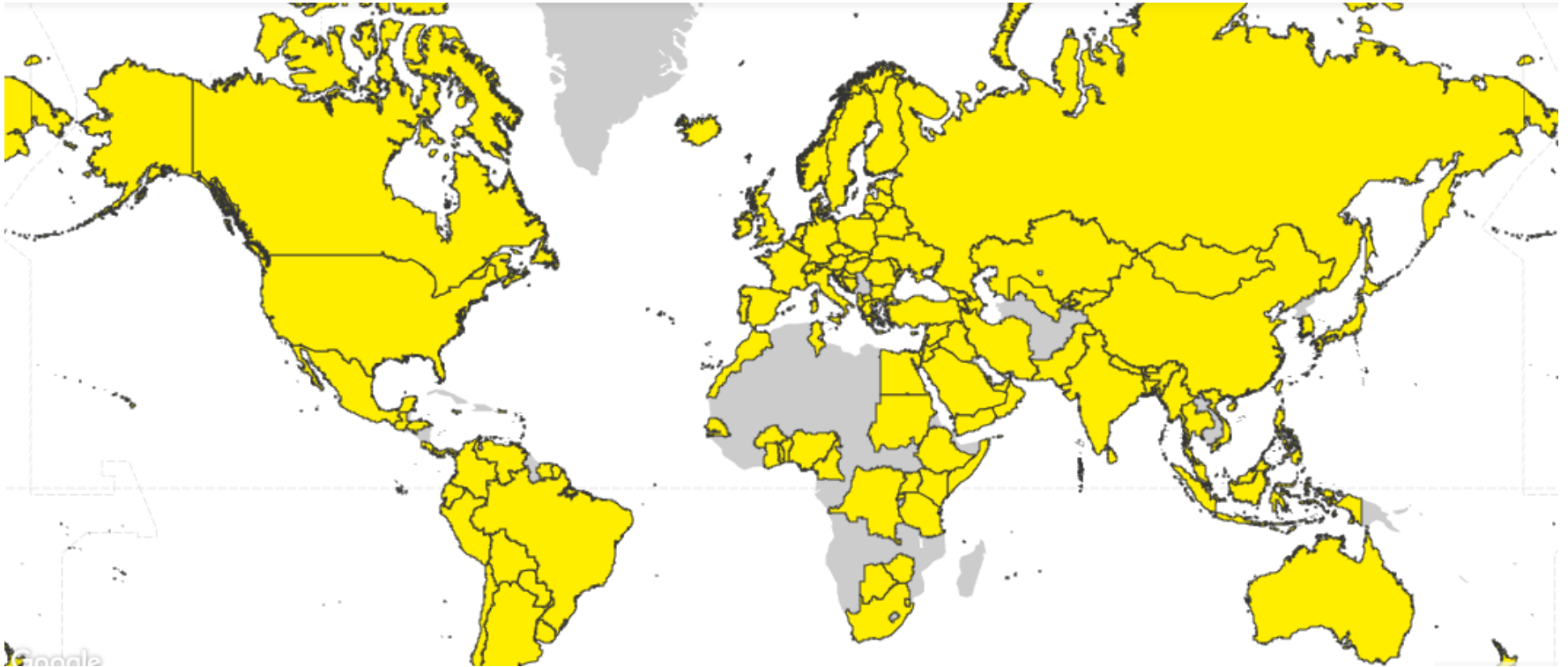




# LoRaWAN mreže širom svijeta

---

- ✓ LoRaWAN je implementirana u **157 zemalja** širom svijeta
  - ✓ Od toga, u **58 zemalja** su LoRaWAN mreže implementirali javni mrežni operatori



# SigFOX

---

- ✓ SigFox je **ultra-uskopojasna** tehnologija za IoT komunikacije velikog dometa
  - ✓ Nije otvoreni standard
  - ✓ Koristi **BPSK** modulaciju na kanalu širine samo **100Hz**, pri čemu jedna bazna stanica implementira **8000 kanala**
  - ✓ Veoma mali nivo šuma i robustna modulacija, sa malom brzinom prenosa podataka, omogućavaju domet **do 50km** u ruralnim oblastima
  - ✓ Mala brzina prenosa podataka (100b/s) znači da će svaka emisija trajati nekoliko sekundi
- ✓ Radi garancije pouzdanosti prenosa od **99,9%**, svaka poruka se prenosi **3 puta** na različitim frekvencijskim kanalima
- ✓ Zbog duty-cycle ograničenja u Evropi od 1%, u praksi se može emitovati **do 140 uplink poruka** maksimalne veličine **12B**, kao i **do 4 downlink poruke** veličine do **8B**

# SigFOX

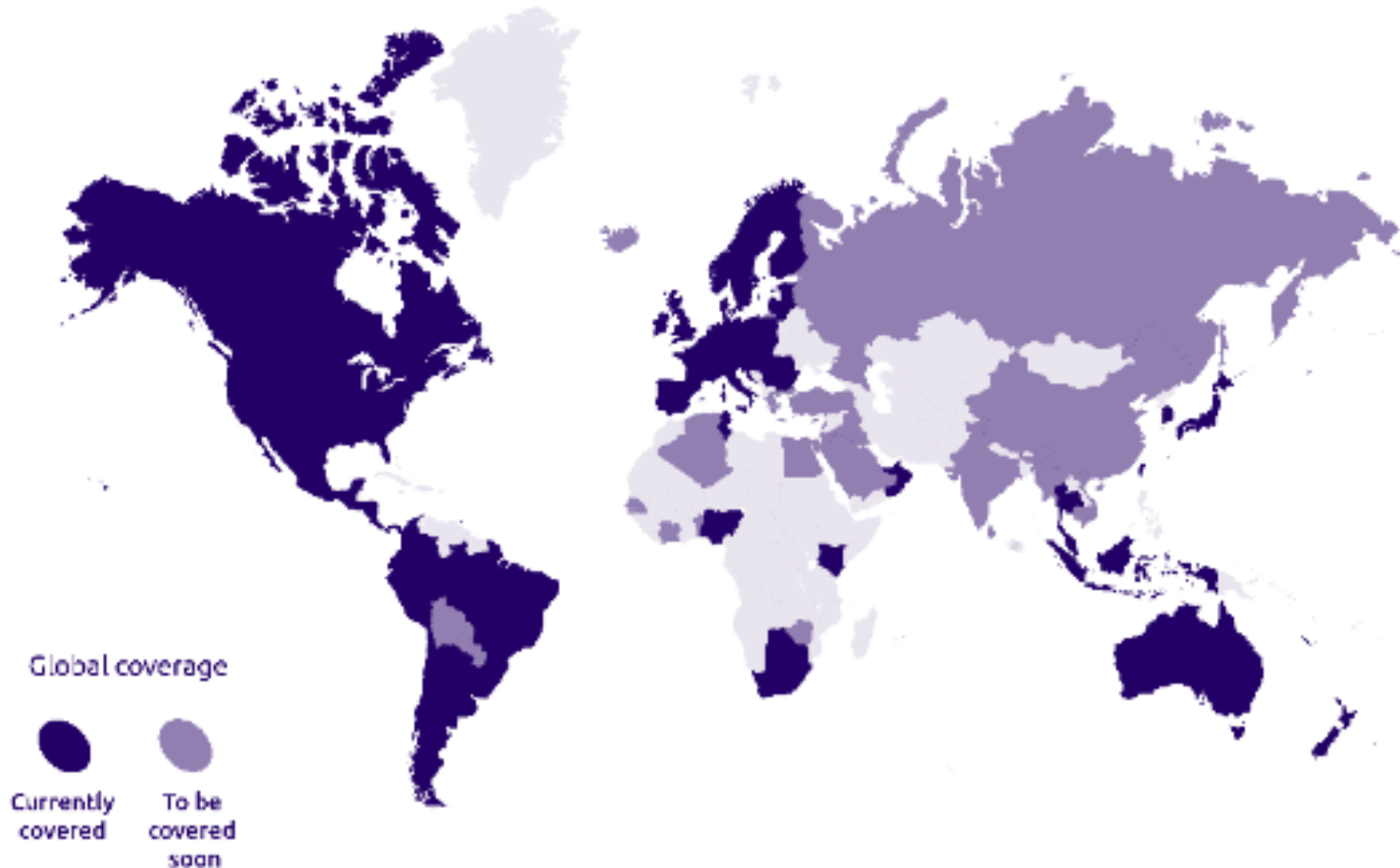
---

- ✓ Krajnji uređaji su veoma jednostavni, i samim tim imaju veoma nisku cijenu
- ✓ SigFox **bazna stanica** koristi sofisticiranu **softverski definisanu platformu**, koja omogućava da se istovremeno prati 8000 kanala.
- ✓ Izazovi u realizaciji:
  - ✓ Veoma ograničen DL saobraćaj
  - ✓ Mogućnost izazivanja interferencije prema drugim LPWAN tehnologijama u ISM sub-GHz opsegu, zbog dugog trajanja transmisije, i nepostojanja tehnika za izbjegavanje kolizije
  - ✓ Nije javno dostupan standard
- ✓ Prednost je što postoji jaka industrija proizvođača SigFox radio opreme, kao što su Texas instruments, Silicon Labs, Axom, i drugi.

# SigFOX mapa pokrivanja

---

- ✓ Sigfox je dostupan u oko 80 zemalja svijeta, a ima ambiciozan cilj da ostvari globalno pokrivanje u narednih nekoliko godina



# Weightless-N

---

- ✓ Weightless-N je jedno od tri LPWAN rješenja koje nudi **Weightless Special Interest Group (SIG)**
- ✓ Sva rješenja predstavljaju **otvorene standarde**
- ✓ **Nwave** je kompanija koja radi na razvoju hardverskih i softverskih rješenja za Weightless tehnologije
- ✓ Weightless-N je LPWAN rješenje, koje je ultra-uskopojasno, i dominantno fokusirano na **uplink komunikaciju**, po čemu je slično SigFox-u
  - ✓ Najbitnija razlika je utome što je Weightless-N otvoreni standard, pa je na drugim kompanijama da kreiraju IoT rješenja oko ovog standarda
- ✓ Jedan od glavnih nedostataka Weightless-N tehnologije je potreba primjene temperaturno-kompenziranih kristalnih oscilatora (TCXO) u krajnjim uređajima, što im povećava cijenu u odnosu na konkurentne tehnologije

# Weightless-N

---

---

- ✓ Weightless-N primjenjuje **diferencijalnu BPSK (DBPSK)** modulaciju, i algoritam frekvencijskog skakanja, radi smanjenja interferencije
- ✓ Podržava enkripciju i autentifikaciju korisnika primjenom dijeljenog tajnog ključa, u cilju kodiranja informacija 128-bitnim AES algoritmom
- ✓ Weightless-N tehnologija podržava mobilnost
- ✓ Omogućava da više mreža različitih kompanija budu ko-locirane
- ✓ **Primjena:** pametni gradovi, poljoprivreda, monitoring životne sredine, pametna očitavanja,...



# Weightless-P

---

- ✓ Primjenjuje **GMSK** i **O-QPSK** modulacije, što omogućava primjenu pojačavača snage velike efikasnosti
- ✓ Omogućen je handover i roaming
- ✓ Omogućen *firmware upgrade* korisničkih uređaja preko radio linka
  - ✓ Prednost u odnosu na LoRa rješenje
- ✓ Domet **do 2 km** u urbanom okruženju
- ✓ Garantovana je interoperabilnost opreme različitih proizvođača
- ✓ **Ubiik** je kompanija koja radi na softveru i hardverskim rješenjima za Weightless-P standard

# LPWAN

---

- ✓ Primarne aplikacije LPWAN mreža uključuju
  - ✓ poljoprivredu,
  - ✓ pametne gradove,
  - ✓ monitoring transporta i
  - ✓ monitoring okruženja.
- ✓ Aplikacija gdje bi LPWAN tehnologije mogle da ostvare zapaženu primjenu su oblasti pametne proizvodnje, pametne industrije, pametne proizvodnje i distribucije energije, gdje će imati jaku konkurenciju drugih tehnologija.
- ✓ Procjena je da LPWAN mreže ne mogu ostvariti značajnu primjenu u oblastima kao što su pametno zdravstvo, pametne zgrade, pametna vozila, itd.

# Termin 12 - Sadržaj

---

- Uvod
- Podjela IoT komunikacionih tehnologija
- Celularne IoT komunikacione tehnologije
- LPWAN
- **Kapilarne IoT komunikacione tehnologije**
- Zaključak

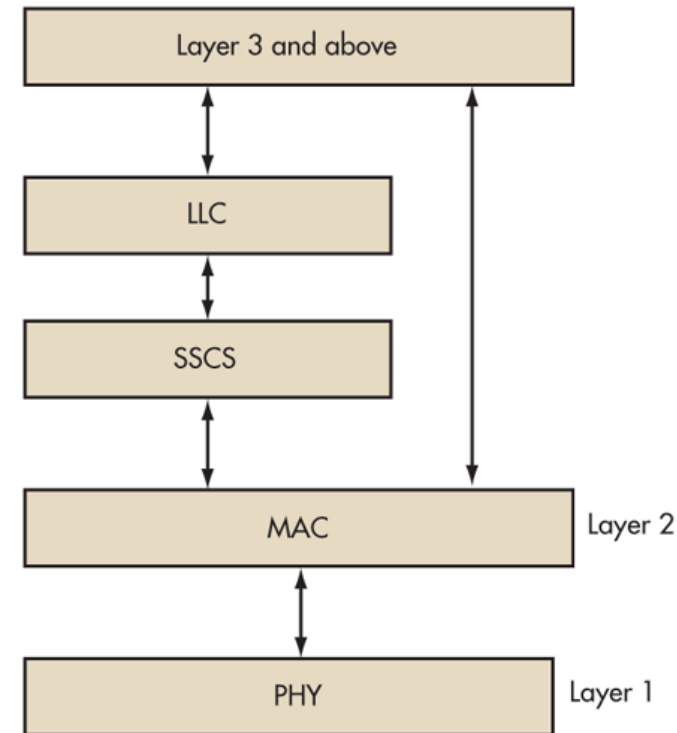
# Kapilarne IoT tehnologije

	IEEE 802.11ah Wi-Fi HaLow	IEEE 802.15.4 Zigbee	IEEE 802.15.4g Wi-SUN	Bluetooth Low Energy (BLE)
Frekv. opseg	Sub-GHz (ISM) 868MHz u EU	2,4GHz, 868MHz u EU (ISM)	Sub-GHz; 2,4GHz (ISM)	2,4GHz (ISM)
Širina kanala	1-16MHz	600kHz	200kHz-1,2MHz	2MHz
Brzina prenosa	150kb/s - 78Mb/s	20kb/s – 100kb/s	50kb/s-1Mb/s	1Mb/s
Modulacija	OFDM	BPSK, OQPSK	FSK, OFDM, OQPSK	GFSK
Domet	1km	10-70m	1km	30m
Tx snaga	10mW (EU) – 1W (USA)	1-100mW	1-100mW	1-100mW
Tip mreže	WLAN	WPAN	WNAN	WPAN

WNAN - *Wireless Neighbouring Area Network*

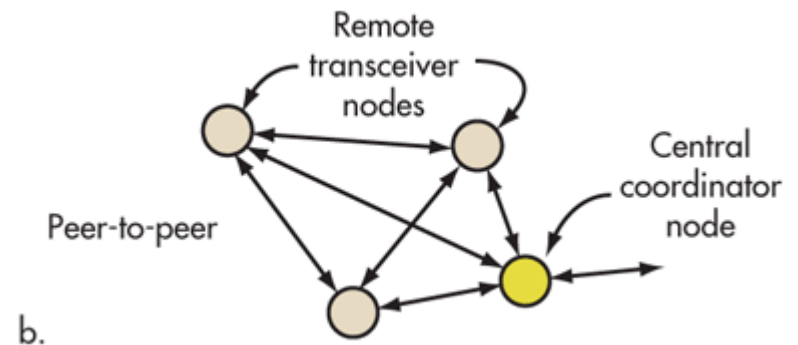
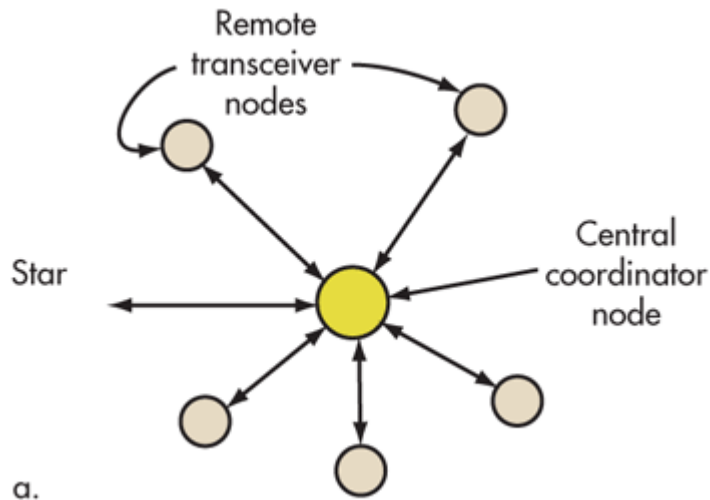
# IEEE 802.15.4

- ✓ IEEE 802.15.4 standard se odnosi na WPAN malih brzina prenosa podataka
- ✓ Definiše parametre **fizičkog sloja i nivoa linka**
- ✓ Primijenjena je **DSSS** modulacija, sa BPSK mapiranjem za manje brzine prenosa.
- ✓ Kao rješenje za smanjenje kolizija, koristi se **CSMA-CA** tehnika pristupa medijumu za prenos
- ✓ Najčešće se radi o prenosu kratkih paketa, sa veoma malom vrijednošću *duty cycle*-a (<1%), što minimizuje potrošnju energije



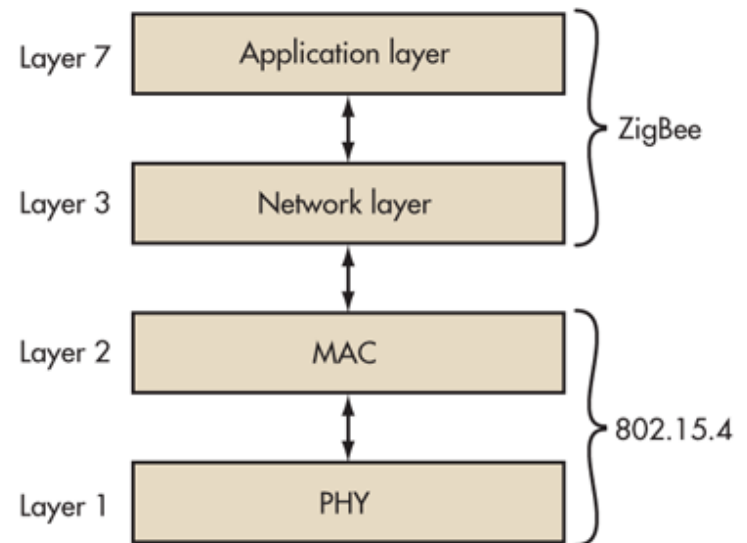
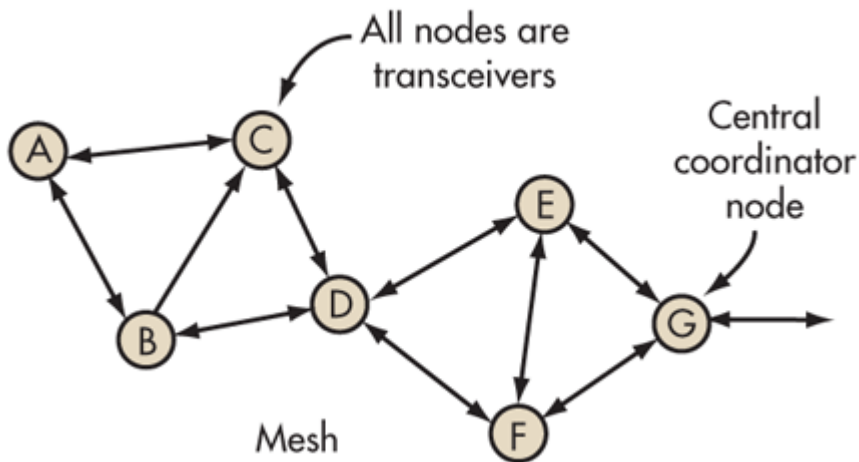
# IEEE 802.15.4

- ✓ Omogućava povezivanje do **65000** stanica na centralni čvor
- ✓ Definisane su dvije topologije: **osnovna zvijezda topologija** i **osnovna peer-to-peer topologija**
  - ✓ Ove osnovne topologije se mogu proširiti u druge topologije na višim slojevima, kao što je popularne **mesh topologija**.



# ZigBee

- ✓ Zigbee je najrasprostranjenije proširenje IEEE 802.15.4 standarda, koje je usvojeno kao standard ZigBee Alliance
- ✓ Zigbee definiše protokole slojeva iznad prva dva nivoa, čime je obuhvaćeno rutiranje podataka i prosleđivanje koje omogućava **mesh umrežavanja**, enkriptovanje za bezbijednost, autentikaciju, itd.
  - ✓ Najčešća primjena ZigBee komunikacija je u bežičnim senzorskim mrežama u mesh topologiji



# ZigBee

---

- ✓ ZigBee mesh mreže su samo-konfigurirajuće, i imaju mogućnost oporavka
  - ✓ Postoji i verzija koja podržava *energy harvesting* čvorove
- ✓ Neke od specijalizovanih primjena ZigBee standarda uključuju:
  - ✓ Daljinski kontroleri
  - ✓ Monitoring utroška energije u kući
  - ✓ Pametne kuće
  - ✓ U zdravstvu, za medicinski i fitnes monitoring
  - ✓ Kontrola LED osvjetljenja
  - ✓ U velikim šoping centrima
  - ✓ Pamentni gradovi
- ✓ ZigBee Alliance nudi testiranje i sertifikaciju ZigBee uređaja, radi osiguranja interoperabilnosti
- ✓ ZigBee je na tržištu više od 10 godina i našao je dosta široku primjenu



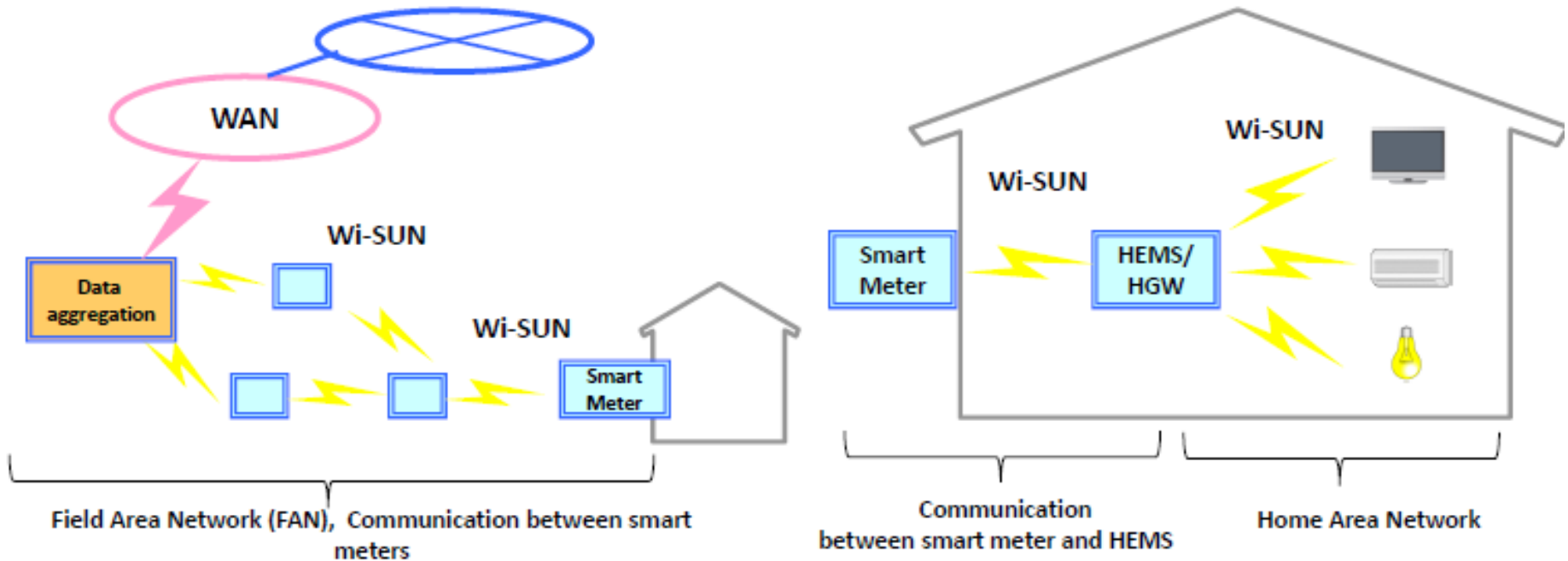
# IEEE 802.15.4g – Wi-SUN

---

- ✓ Standard usvojen **marta 2012. god.**
- ✓ U Evropi se koriste ISM opsezi na 868MHz i 2,4GHz
- ✓ Osnovana Wi-SUN Alliance za provjeru interoperabilnosti i sertifikaciju
- ✓ Mesh arhitektura
- ✓ Veliki frejmovi - podržava IPv6 (6LoWPAN)
- ✓ UL i DL komunikacija
- ✓ Na fizičkom nivou su moguće tri različita rješenja:
  - ✓ Multi-rate FSK (MR-FSK): 2FSK i 4FSK
  - ✓ MR-OFDM, iako je dostupan, rijetko se primjenjuje
  - ✓ MR ofset QPSK (MR-O-QPSK): DSSS i multipleksirani DSSS
- ✓ MAC nivo ne mora biti zasnovan na IEEE 802.15.4 standardu
- ✓ Robustan sistem (detekcija greške)
- ✓ Opciona FEC

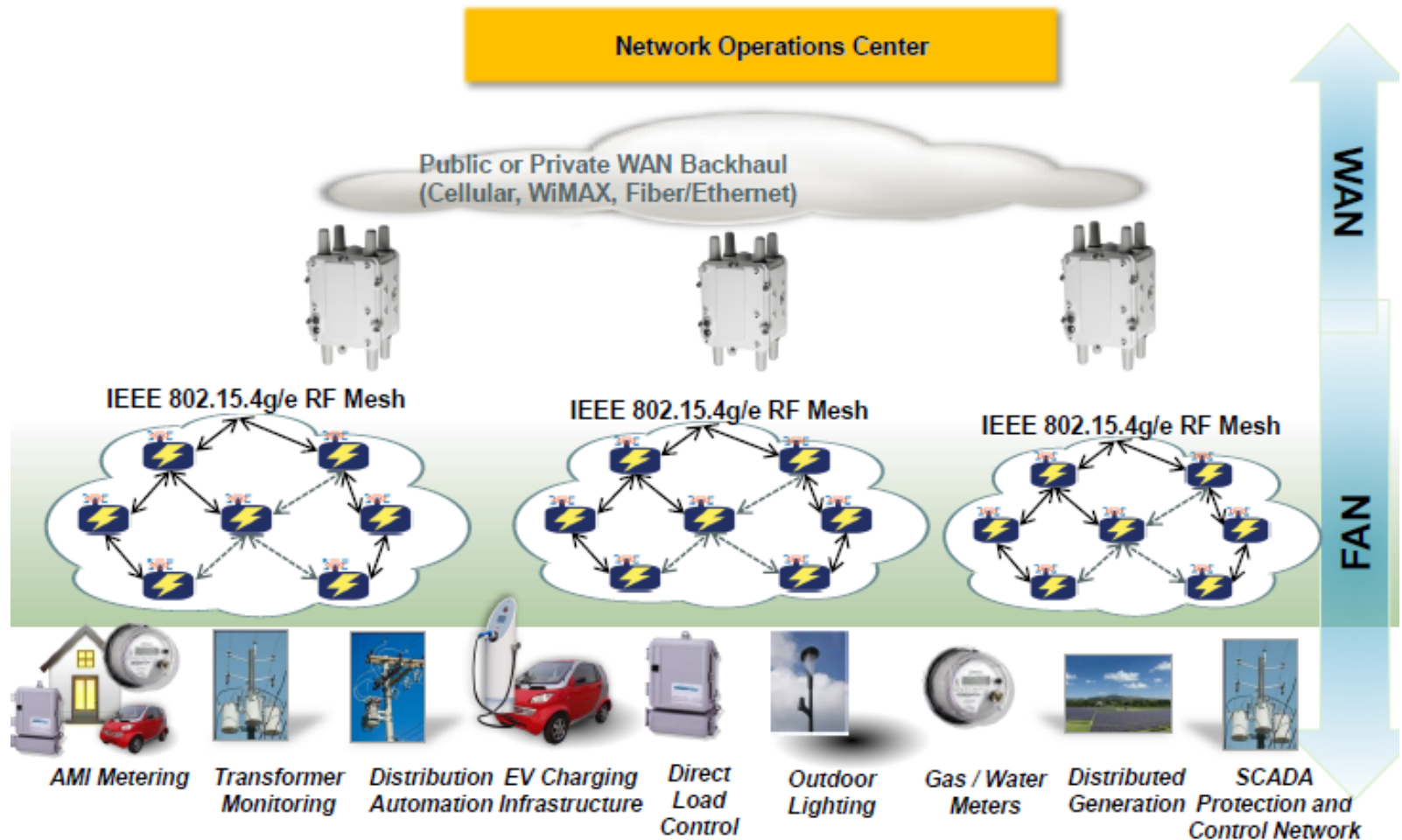
# IEEE 802.15.4g – Wi-SUN

- ✓ Ciljna grupa aplikacija su **smart-city** i **smart-grids**, odnosno njihov dio na korisničkoj i distributivnoj mreži (pametna očitavanja, pametni električni uređaji, automatizacija distributivne mreže)



# IEEE 802.15.4g – Wi-SUN

✓ FAN primjeri aplikacija



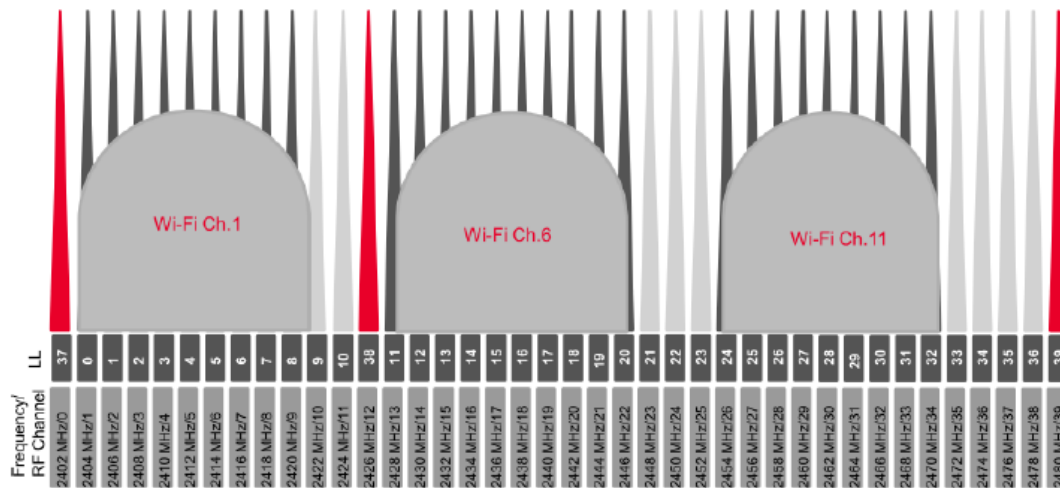
# Bluetooth Low Energy - BLE

---

- ✓ WPAN - mala potrošnja energije, niska cijena
  - ✓ 10-20 puta manja potrošnja energije od klasičnog bluetooth-a
  - ✓ Cijena dual-mode čipa (bluetooth + *low energy* radio čip) je reda jednog dolara
- ✓ Primjenjuje GFSK sa indeksom modulacije 0,5 (veći nego kod klasičnog bluetooth-a)
  - ✓ Veći domet, smanjuje potrošnju i povećava brzinu konektovanja
- ✓ Primjenjuje 128-bitnu AES CCM enkripciju za zaštitu podataka
- ✓ Primjenjuje adaptivno frekvencijsko skakanje između **37 kanala**, da bi se smanjila interferencija sa drugim sistemima u ISM opsegu, a posebno sa WiFi sistemima
  - ✓ Uključen je mehanizam potvrde prijema
  - ✓ Ako nije uspio prenos podataka, ponoviće se na sledećem kanalu
  - ✓ Klasični bluetooth koristi **32 kanala** za prenos podataka

# Bluetooth Low Energy - BLE

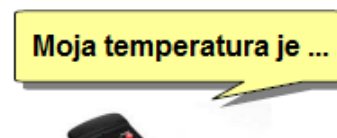
- ✓ Pored kanala za prenos podataka koristi **samo 3 kanala** kojim krajnji uređaji **oglašavaju** svoje prisustvo (kanali 37, 38 i 39)
  - ✓ Kada se prvi put uključe
  - ✓ Kada imaju podatke za slanje
  - ✓ Kada neko skenira oblast radi pretrage aktivnih uređaja
  - ✓ Skeniranje aktivnih uređaja traje samo 0,6-1,2ms, za razliku od klasičnog bluetooth sistem, gdje traje 22,5ms, jer se za oglašavanje koristi 16-32 kanala



# Bluetooth Low Energy - BLE

---

- ✓ Veoma brza konekcija
  - ✓ Za **3ms** se obavi prenos podataka i prijem potvrde o uspješnom prenosu
  - ✓ Kod klasičnog bluetooth-a, to može trajati i do 100ms
- ✓ Omogućuje povezivanje do **5917** *slave* stanica
- ✓ Oblasti primjene
  - ✓ U **zdravstvu** (senzori za krvni pritisak, nivo glukoze, temperatura,..)
  - ✓ U **sportu** (senzori za lociranje, mjerenje brzine, broja koraka, otkucaja srca, težinu,..)
  - ✓ U **pametnim kućama** (senzori za praćenje parametara okruženja)
  - ✓ Za **pametne telefone**,....



# Termin 12 - Sadržaj

---

- Uvod
- Podjela IoT komunikacionih tehnologija
- Celularne IoT komunikacione tehnologije
- LPWAN
- Kapilarne IoT komunikacione tehnologije
- **Zaključak**

# Zaključak

---

- ✓ **LPWA** protokoli koriste relativno **jednostavne modulacije**, odnosno jednostavne talasne oblike i uske frekvencijske opsege
  - ✓ Time je omogućena primjena jeftinijih modulatora u IoT uređajima
- ✓ **3GPP tehnologije** koriste **složenije modulacione postupke**, za čiju je realizaciju neophodno koristiti krajnje uređaja realizovane kao integrisana rješenja u poluprovodničkoj tehnologiji
- ✓ **Kapilarne tehnologije** se oslanjaju na postojeće uređaje na tržištu, radi ostvarivanja masovne proizvodnje i smanjenja cijene
- ✓ Sve ovo navodi na zaključak da će LPWA tehnologije prije dostići cijenu krajnjih uređaja koja će biti **ispod 5 dolara**, u odnosu na 3GPP tehnologije, dok mnoge kapilarne tehnologije već ostvaruju ovaj cilj
  - ✓ Ovo će biti od posebnog značaja u ranoj fazi razvoja IoT tržišta



# Zaključak

---

- ✓ 3GPP tehnologije su kasnile 3-4 godine sa pružanjem IoT komunikacionih rješenja u odnosu na LPWAN tehnologije
  - ✓ Taj period LPWAN tehnologije su iskoristile da se što bolje pozicioniraju na tržištu
- ✓ Za određeni broj mobilnih operatora, dovoljna je softverska nadogradnja mreže za primjenu NB-IoT
  - ✓ U slučajevima gdje se NB-IoT implementirati u novim opsezima, potrebna je i hardverska nadogradnja mreže
  - ✓ Veličina ulaganja u takvu hardversku nadogradnju će presuditi pri odlučivanju da li da se primijeni neko LPWAN rješenje
- ✓ Strateška prednost mobilnih operatera je u tome što posjeduju licencirane opsege, infrastrukturu i imaju iskustva u radu i održavanju telekomunikacione mreže

# Zaključak

---

---

- ✓ LPWA ekosistem ima prednost, jer već uključuje i brojne startup kompanije, kao i ključne igrače u oblasti telekomunikacija
- ✓ Početna ulaganja u LPWA mreže su znatno manja nego kod mobilnih celularnih mreža
- ✓ Regulativa vezana za nelicencirane opsege veoma bitno utiče na performanse LPWA mreža, investicije potrebne za njihovu izgradnju, kao i isplativost same investicije
- ✓ LPWA su dizajnirane da odigraju ključnu ulogu u privatnim mrežama, koje adresiraju specifične aplikacije
  - ✓ Njihova prednost može biti i u agilnosti da kreiraju strategiju za brzi plasman na tržište specifičnih rješenja za pojedine aplikacije
  - ✓ U IoT ekosistemu ne postoji tendencija da jedna tehnologija zadovolji potrebe svih mogućih aplikacija