

**VELEUČILIŠTE U RIJECI
ODJEL TELEMATIKA**

**LPWAN
SEMINARSKI RAD**

Kolegij: TK mreže i službe
Mentor: mr. sc. Jurin Goran, v. pred.
Student: Božac Paolo

Rijeka, 2017.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	3
1.1. Povijest LPWAN-a.....	4
1.2. Budućnost LPWAN-a.....	5
1.3. Pristupnik (Gateway).....	6
2. Nacionalne LPWA mreže.....	8
3. Usporedba sa ostalim tehnologijama.....	9
4. Vrste implementacije.....	12
4.1. Sigfox.....	14
4.2. LoRa.....	16
4.3. Mobilne LPWAN implementacije.....	22
4.4. Ingenu / RPMA.....	24
4.5. Weightless.....	30
5. Primjena.....	31
5.1. Primjer – Sustav kontrole vlažnosti tla.....	32
5.2. Primjer - Suzbijanje krivolova.....	33
6. Zaključak.....	34
Literatura.....	35
Popis slika.....	36
Popis kratica.....	37

1. Uvod

LPWAN (Low Power Wide Area Network) je bežična mreža širokog područja koja omogućuje povezivanje uređaja sa vezom niske propusnosti. LPWAN tehnologije dizajnirane su za M2M¹ primjenu, no LPWAN nije standard, već širok pojam koji obuhvaća različite implementacije i protokole, kako one vlasničke tako i one otvorenog pristupa. Međutim, sve te tehnologije dijele dvije karakteristike, kao što to i samo ime govori, a to su:

- **Niska snaga** – Koriste se male, jeftine baterije, koje uz ovako male snage koje uređaj koristi mogu trajati godinama
- **Široko područje** – Djeluje na širokim područjima koje obično prelaze udaljenosti od 2 km u urbanim sredinama, a na otvorenome od 5 do 40 km.

Fizička ograničenja za postizanje niske snage i širokog područja su male količine podataka. Većina LPWAN tehnologija može slati manje od 1000 bajtova na dan, odnosno 5000 bitova u sekundi.

Gore navedene karakteristike čine LPWAN odličnim izborom za sljedeće IoT primjene:

- **Velika koncentracija uređaja**– Pametna rasvjeta, mreža te nadgledanje imovine u gradovima ili velikim zgradama
- **Nadgledanje u dugom vremenskom razdoblju** - Senzori i mjerači koji se postavljaju i nadziru tijekom dugog vremenskog razdoblja (npr. mjerenje vode, detektori plina, sustavi u agrikulturi)

¹ M2M - <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/machine-to-machine-M2M>

1.1. Povijest LPWAN-a

LPWA mreža zadnjih je godina vrlo popularna u okvirima IoT-a. Međutim, već krajem 1980. i početkom 1990. godine, postojale su slične topologije i mrežne arhitekture, samo što se tada nisu zvale LPWA mreže, no svakako ih se može nazvati njihovom pretečom.

Slika 1 Vremenski slijed LPWA mreža



Izvor: <https://iot-for-all.com/history-of-lpwan-look-future-of-lpwan/>

AlarmNet je tada služio u iste svrhe zbog kojih se danas uvodi LPWAN, iza kojega stoji ADEMCO (Alarm Device Manufacturing Company). Ta je kompanija bila jedan od najvećih proizvođača alarmnih kontrolera i sustava. ADEMCO je napravio 900MHz mrežu za nadgledanje alarmnih sustava. Kako je bilo potrebna mala količina podataka, mreža je dizajnirana za male brzine prijenosa podataka. Nedugo nakon toga, mobilne su mreže prepoznale da bi se prijenos podataka mogao implementirati kao i za prijenos glasa, te je tako krajem 1990. godine nastala 2G mreža. Kada je mreža postala javna, mnogo je alarmnih sustava prešlo na korištenje mobilne mreže, jer se je na taj način iskoristila prednost velike pokrivenosti uz male troškove hardvera.

ARDIS mreža, koja je bila orijentirana posebno za aplikacije koje se rade samo sa podacima, imala je sličnu priču. To je bila nisko propusna bežična mreža širokog područja pokrenuta od strane Motorola-e 1980. godine. Prvenstveno se koristila za automatizaciju prodaje, praćenje flota, e-mail te ostale online platforme za procesiranje poruka.

1.2. *Budućnost LPWAN-a*

Kako je sve više uređaja kojima je potrebna mala količina podataka za razmjenu, puno ljudi traži ponovno je počelo tražiti rješenje kako ih umrežiti uz male troškove. Takav interes je za posljedicu imao pokretanje SIGFOX kompanije 2009. godine, koja je bila prva moderna LPWA mreža u Francuskoj. Tada su se počeli pojavljivati novi alati i platforme koji su omogućavali lakšu integraciju udaljenih uređaja sa aplikacijom. Mnogo novih tehnologija izgleda slično mrežama koje su se koristile za umrežavanje senzora, no glavna razlika je nedavno dostupna online integracija.

Koliko god mogućnosti i prednosti pruža LPWAN, treba imati na umu da pored toga postoje i brojni rizici i izazovi. Jedan od glavnih rizika LPWA mreži predstavljaju LTE-M i NB-IoT – standardi mobilne mreže, koje razvijaju raznih tvrtki poput Qualcomm-a i Nokia-e. Veliki operateri kao što su AT&T te Verizon mogu nadograditi softver i vrlo lako takav tip mreže staviti na raspolaganje korisnicima. Preoblikovanjem GSM frekvencija koje se danas koriste za govor, te bez dodatnog hardvera, kompanije mobilnih mreža mogu pružiti uslugu uskopojasnih aplikacija. Povrh toga, mogu to napraviti sa vrlo sličnim modelom cjenika, ukoliko to žele. Vrlo je vjerojatno da će operateri mobilnih mreža, LTE-M usluge ponuditi velikim klijentima koji već koriste mobilnu mrežu za mobilne podatke i govorne usluge. To im je vrlo dobra prilika da korisnicima ponude znatne uštede, a samim time osiguraju drastičan udio na tržištu.

Ali naravno to ne znači da su tvrtke na LPWAN prostoru osuđene na propast, već samo znači kako će morati unaprijed misliti o novim strategijama. U idealnom slučaju, moraju nastojati pružiti više vrijednosti od čistog prijenosa podataka, što uz široku primjenu unutar IoT područja nije toliko teško. Ukoliko članovi LoRa grupacije² i SIGFOX korisnici uspiju doći do ideje koja bi potencijalnim korisnicima olakšala primjenu kod vrlo ciljanih aplikacija, ne moraju strahovati da će ih LTE-M zamijeniti.

² Članovi LoRa grupacije - <https://www.lora-alliance.org/The-Alliance/Member-List>

1.3. *Pristupnik (Gateway)*

Postoje LPWA mreže koje ne trebaju pristupnik no velika većina njih ga ipak koristi. Pristupnik je uređaj koji povezuje senzore/uređaje sa nekom online uslugom (cloud). Ta definicija je prilično jednostavna i razumljiva, međutim, kako bi bilo jasnije zašto se uopće uvodi taj dodatni korak između senzora i interneta potrebno je znati koje sve pogodnosti pruža pristupnik.

Najbitnijih pet karakteristika pristupnika su:

- **Duže trajanje baterije** – Ako se senzor nalazi na nekoj udaljenoj lokaciji vrlo je vjerojatno da će biti potrebna veza širokog područja kao što je satelit, kako bi se senzor povezao na Internet. Problem je što povećanjem udaljenosti uređaj troši više snage, a to se odražava na vijek trajanja baterije. Ukoliko se radi o Agrikulturi, poželjno je da senzor može godinama raditi na istim baterijama, a ne nekoliko tjedana ili mjeseci.
- **Korištenje različitih protokola** – Kompletna IoT aplikacija može uključivati mnoge različite vrste senzora i uređaja. Uzevši ponovno za primjer iz agrikulture, potrebno je povezati senzore za vlagu, temperaturu, sunčevu svjetlost, kao i uređaje kao što su automatizirani sustavi navodnjavanja i gnojiva. Ti senzori mogu koristiti različite protokole, odnosno format i pravila za prijenos podataka pa se tu javlja problem kod međusobnog povezivanja. Pristupnik u ovakvim slučajevima rješava taj problem jer podržava protokole kao što su Wi-Fi, Bluetooth I ZigBee³, uz mnoge ostale. Na taj se način može različitim protokolima povezati senzore a zatim i te podatke prevesti u standardni protokol kao što je MQTT⁴ preko kojega će se odvijati komunikacija sa online uslugom.

³ ZigBee - <http://www.zigbee.org/>

⁴ MQTT - <http://mqtt.org/>

- **Filtriranje podataka** – U nekim slučajevima zna se dogoditi da senzori generiraju toliko puno podataka da preopterećuju sustav, ili su pak troškovi prijenosa i skladištenja takvih količina iznimno veliki. Obično je samo mali dio tih podataka zapravo važan, dok je ostatak nepotreban. Tako primjerice kod sigurnosnih kamera nije potrebno slati video podatke ukoliko se na video sadržaju ništa ne događa. Pristupnik može takve podatke obraditi i filtrirati podatke koje senzori generiraju i slati samo one bitne, te na taj način smanjiti prijenos podataka i smanjiti količinu potrebnog prostora za skladištenje podataka.
- **Malo kašnjenje** – Za pojedine IoT aplikacije, vrijeme može biti od ključne važnosti. U medicini, kada je život ili smrt pacijenta u pitanju, i to dijelom ovisi o IoT sustavu, prijenos podataka na internet i čekanje na odgovor može imati kobne posljedice. Tada je pristupnik od izuzetne važnosti jer se kašnjenje podataka može izbjeći na način da pristupnik obradit podatke te na temelju njih može lokalno pokrenuti nekakvu naredbu, odnosno reagirati na situaciju bez potrebe da podatke šalje na internet. Bez pristupnika to često nije moguće jer senzori, odnosno nekakvi krajnji uređaji nemaju dovoljno procesorske snage da sami te podatke obrade i na temelju njih pokrenu neku akciju.
- **Sigurnost** – Svaki uređaj koji je povezan na internet potencijalno je ranjiv na hakerski napad. Hakirani uređaj može naravno naštetiti njegovom vlasniku, odnosno korisniku, međutim predstavlja opasnost i za druge. U studenome prošle godine, dogodila se serija hakerskih napada kojima su hakeri preuzeli kontrolu nad tisućama IoT uređaja. Taj je napad, nazvan Mirai⁵ botnet, iskoristio za rušenje velikog dijela interneta, što je dovoljan pokazatelj kolika je moć, odnosno kolika se šteta može napraviti kada veliki broj uređaja padne u krive ruke. Pristupnici smanjuju broj vidljivih uređaja jer se na Internet spajaju preko njega. Međutim to ne čini nikakvu razliku ukoliko se sigurnost ne postavi na samom pristupniku. Zato bi sigurnost pristupnika trebala imati visoki prioritet kod njegovog podešavanja, jer je on prva linija obrane od potencijalnog hakerskog napada.

⁵ Mirai - <https://www.wired.com/2016/11/web-shaking-mirai-botnet-splintering-also-evolving/>

2. Nacionalne LPWA mreže

Prve komercijalne *IoT* mreža otvorene su u Nizozemskoj te Južnoj Koreji. KPN je telekomunikacijski operater koji je pokrenuo nizozemsku IoT mrežu dok je u Južnoj Koreji to bio *SK Telecom*. Za Južnu Koreju to nije začuđujuća informacija budući da je to zemlja koja u čitavom svijetu prednjači po ulaganjima u znanost, umreženosti i brzinama pristupa Internetu. SK Telecom planira uložiti 5 bilijuna dolara u IoT mrežu u sljedeće 3 godine od kojih će dio ići i za povezivanje autonomnih vozila sa mrežom.

Obije mreža imaju pokrivenost gotovo čitave populacije, a dodatna je pogodnost što su cijene vrlo povoljne – mjesečna pretplata može iznositi i do 10 puta manje u odnosu na 4G mrežu. Mreže su zasnovane na *LoRa*⁶ tehnologiji, koja je detaljnije obrađena u nastavku seminara.

KPN je potvrdio da je već pri pokretanju mreže imao registriranih 1.5 milijuna uređaja a predviđa se da će njihov broj brzo rasti. U planu je izgradnja novih baznih stanica koje će povećati stabilnost usluge. Testirane udaljenosti koje takva mreža podržava su 30km, međutim uz veliku pokrivenost baznim stanicama takve daljine ni neće biti potrebne.

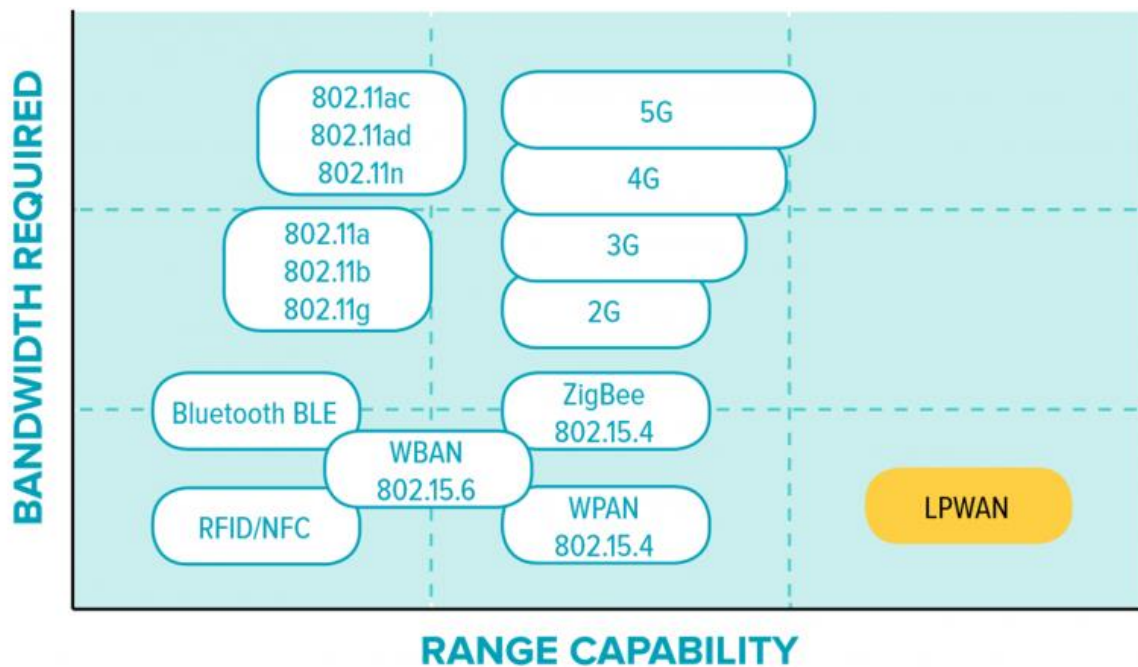
U Hrvatskoj postoje dva telekomunikacijska operatera koji rade na LPWA mreži. Iz Vipnet-a se doznaje da se u sklopu razvoja 4G+ mreža razvija tehnologija Narrow-Band IoT (NB-IoT). Uređaj kategorije NB-IoT omogućit će relativno niske maksimalne brzine prijenosa od 250/250 kb/s no bit će omogućeno spajanje velikog broja IoT uređaja. T-Com također radi na LPWAN mreži no zasad se sve M2M, odnosno IoT usluge pružaju samo preko standardne mobilne mreže (2G, 3G i 4G LTE).

⁶ LoRa Alliance - <https://www.lora-alliance.org/>

3. Usporedba sa ostalim tehnologijama

Ono što razlikuje LPWA mrežu od ostalih tehnologiju je što može raditi na jako velikim udaljenostima uz malu potrošnju snage, odnosno sa dugim životnim vijekom baterije (u nekim slučajevima i do 10 godina). Bluetooth, ZigBee i Wi-Fi mogu poslužiti u kućanstvu ili na mjestima gdje povezanost nije od ključne važnosti. Međutim, u slučajevima kao što je to industrijski IoT, gdje je vrlo bitno da je sustav pouzdan, javlja se potreba za tehnologijom kao što je to LPWAN. U industriji ima veliki broj uređaja koji trebaju biti povezani, a pri tome umrežavanje mora biti pouzdano, efikasno te sa malim energetske troškovima. U sljedećem je dijagramu prikazano kako se LPWAN razlikuje od ostalih tehnologija s obzirom na propusnost i domet.

Slika 2 Usporedba LPWA mreže sa ostalim tehnologijama



Izvor: <https://iot-for-all.com/lpwan-benefits-vs-iot-connectivity-options/>

LPWAN i mobilna mreža

Najveća mana mobilnih mreža je mali vijek trajanja baterije, te je u nekim područjima slabija pokrivenost. Druga nepogodnost za IoT rješenja koja se oslanjaju na mobilnu mrežu je ta što se 2G tehnologija ukida pa je tako samo u SAD-u 30 milijuna uređaja koji će nakon ukidanja 2G mreže morati naći nekakvu alternativu. Za dio tih uređaja najbezbolnije rješenje je prelazak na noviju 3G/4G mrežu no ovo je ujedno i prilika za pružatelje LPWAN tehnologije, da dio tih uređaja prijeđe na njihovu uslugu. To bi vlasnicima tih uređaja moglo biti isplativo ukoliko produljeni vijek baterije te dugoročni troškovni plan opravdava ulaganje koje je neophodno za priključenje na LPWA mrežu. Međutim kako su postojeće M2M aplikacije koje rade sa 2G tehnologijom već podešene te ukoliko u konkretnoj aplikaciji nije bilo problema što se umrežavanje tiče, odabir mobilne mreže će u takvim slučajevima biti izgledniji.

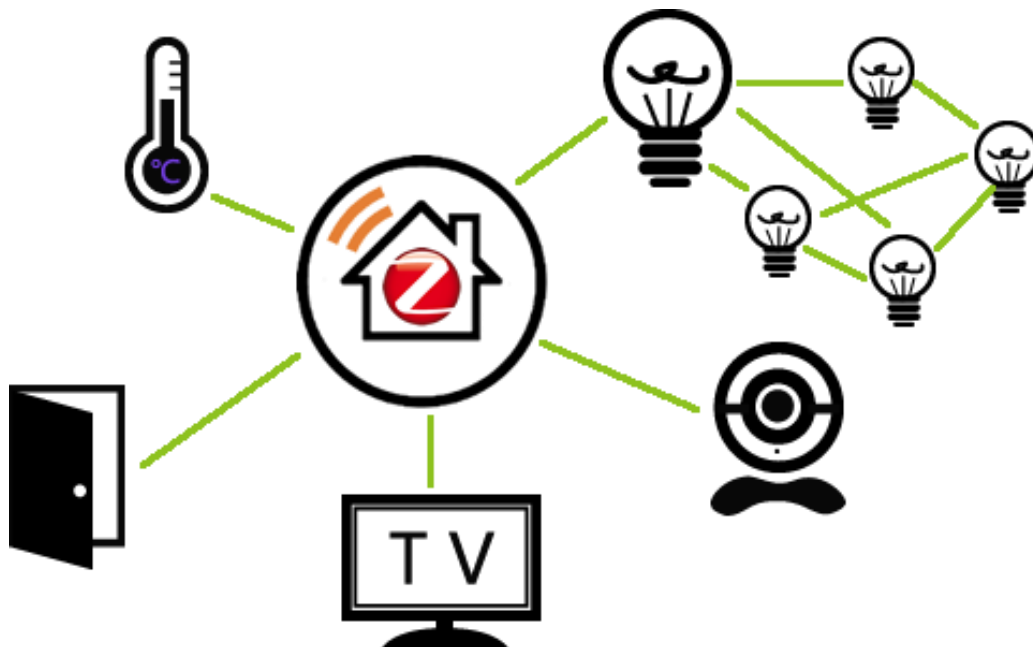
LPWAN i mobilni LPWA

Najznačajniji aspekti mobilnih LPWA mreža su još uvijek u razvoju. Kao što je gore spomenuto, zalazeće mobilne tehnologije (trenutno 2G) predstavljaju ogromnu zabrinutost u domeni IoT-a, jer takav način ukidanja tehnologije ne osigurava dugoročno rješenje. Dok postoji aktivno istraživanje o LTE-M, NB-IoT, EC-GSM i 5G IoT tehnologijama, između njih ne postoji kompatibilnost i postavlja se pitanje hoće li te tehnologije biti prikladne za nekakvo pametno dugoročno rješenje. Iako mobilne LPWA mreže imaju prednost zbog toga što već imaju izgrađenu infrastrukturu, to sve više gubi na značaju budući da su neki LPWAN davatelji usluga svoje mreže već izgradili i pokrenuli. Završni faktor koji utječe na podjelu tržišnog udjela je vrijeme, odnosno potražnja korisnika za tom vrstom mreže. AT&T i Verizon su izbacili svoje početne verzije LTE-M tehnologije, no LPWAN pružatelji usluga su već u uporabi pa je sada pritisak na mobilnim operaterima veći. Stoga je logično zaključiti da ukoliko se mobilnim operaterima previše oduži pružanje LTE-MTC usluga, mogli bi izgubiti veliki tržišni udio.

LPWAN i mesh mreže

Mesh mreže koriste se u IoT aplikacijama, pa tako puno sustava za automatsko upravljanje u kućanstvu koriste ZigBee tehnologiju. Međutim ZigBee nije najidealnije rješenje za LPWAN primjenu, jer iako služi svrsi kod srednjih duljina, ne podržava povezivanje na velikim udaljenostima. Najveći je problem što kod mesh mreža svaki čvor mora stalno primati te ponovno slati susjedne RF signale. Kada se u takav sustav poveže tisuću uređaja, mesh mreže više ne zadovoljavaju kriterije za LPWAN primjenu.

Slika 3 Mesh topologija ZigBee tehnologije



Izvor: <http://omniplay.weebly.com/zigbee-technology.html>

LPWAN i Lokalna RF

Lokalne radiofrekvencije koje uključuju Bluetooth i NFC jednostavno svojim malim dosegom ne zadovoljavaju veliki broj IoT aplikacija. Te dvije tehnologije nemaju previše dodirnih točaka jer su dizajnirane za sasvim drukčije tipove primjene, pa tako ni njihova pobliža usporedba nije moguća.

4. Vrste implementacije

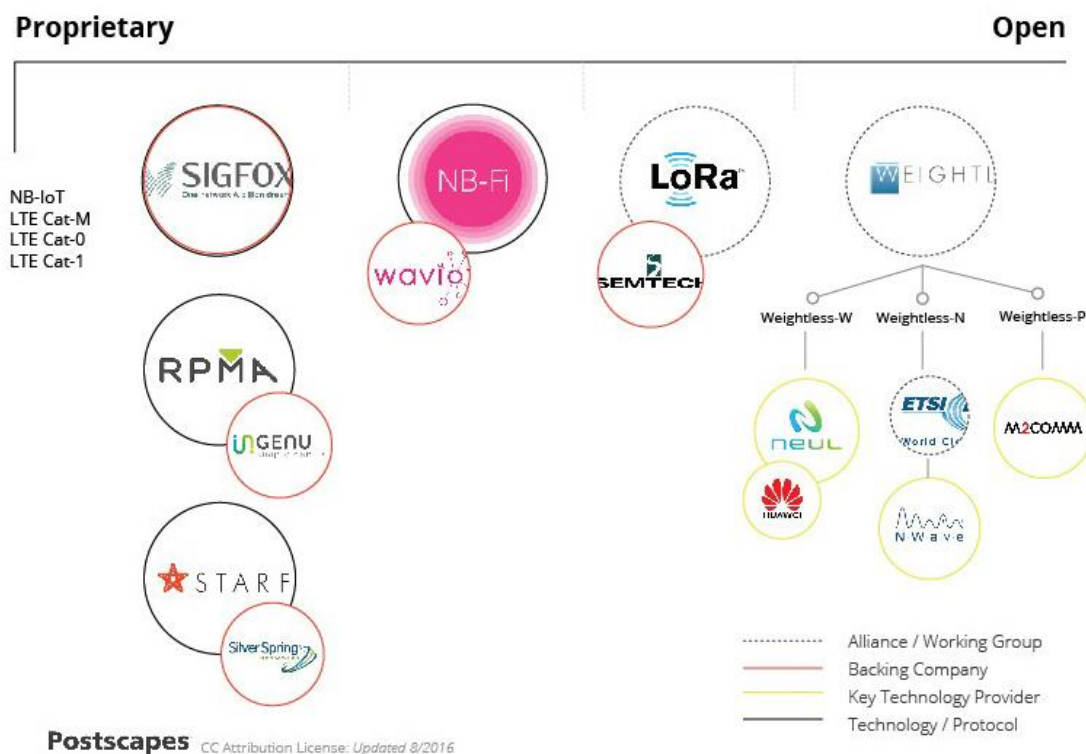
LPWAN tehnologije dolaze u mnogim oblicima - većina se temelji na vlasničkim radijskim tehnologijama koje su u početku razvijale pojedine tvrtke koje su kasnije stvorile ekosustav oko njihovih bežičnih prijedloga kako bi se omogućilo pružanja usluga. Opseg tih tehnoloških ekosustava i njihova otvorenost uvelike se razlikuju.

Tablica 1 Okvirni pregled tehnologija i njihovih karakteristika

	Modulacija	Frekvencija	Obuhvat	Propusnost	Brzina prijenosa podataka	poruka / dan
Sigfox	UNB GFSK BPSK	868 / 915 MHz	149-161 dB	100 Hz (EU)	100 b/s	140 UL 4 DL
LoRa	CSS	868 / 902 – 928 MHz	153-161 dB	125 kHz	0.3 – 50 kb/s	∞
NB-IoT	OFDMA SC-FDMA	In band LTE, guard band stand alone	164dB	180 kHz	50 b/s	n/a
CATM1	OFDMA SC-FDMA	In band LTE	155.7dB	1.08MHz	1 Mb/s	∞
RPMA	RPMA	2.4GHz	168-172dB	1Mhz	624 kb/s DL 156 kb/s UL	n/a
NWave	DBPSK	315/433/ 470/868/915MHz	n/a	n/a	100 b/s	∞

Izvor: <http://www.theiet.org/sectors/information-communications/topics/ubiquitous-computing/articles/lpwan.cfm>

Slika 4 Pregled vlasničkih i otvorenih LPWA mreža



Izvor: <https://www.postscapes.com/long-range-wireless-iot-protocol-lora/>

Osim podjele na vlasničke i otvorene, LPWA mreže mogu se podijeliti i s obzirom na one koje koriste:

- **licencirani spektar**

Prednosti	Mane
<ul style="list-style-type: none"> • Sloboda korištenja mreže • Brzo ostvarivanje široke pokrivenosti 	<ul style="list-style-type: none"> • Ovisnost o nositelju spektra • Nesigurni prijedlozi za usluge

- **nelicencirani spektar**

Prednosti	Mane
<ul style="list-style-type: none"> • Brzo izlaženje na tržište • Mogućnost spajanja novih pružatelja usluge 	<ul style="list-style-type: none"> • Ograničena sigurnost • QoS⁷ • Problemi s kapacitetom

4.1. *Sigfox*



Sigfox je francuska kompanija osnovana 2009. godine. To je skalabilna mreža s velikim kapacitetom a koristi UNB⁸ (Ultra Narrow band) tehnologiju za povezivanje udaljenih uređaja za aplikacije niske snage i male količine prijenosa podataka. Sigfox može komunicirati sa milijunima čvorova preko stanica na nekoliko kvadratnih kilometara, što ga čini pogodnim za razne M2M aplikacije kao što su pametna brojila, sigurnosni uređaji, senzori za okoliš i slično. Djeluje u nelicenciranom ISM radio spektru:

- 868 MHz (EU)
- 915 MHz (SAD)

Ima raspon od 3 do 10 km u urbanim područjima te do 50 km u ruralnim područjima. Zahtijeva manje antena u usporedbi sa tradicionalnom mobilnom mrežom kao što je to GSM/CDMA.

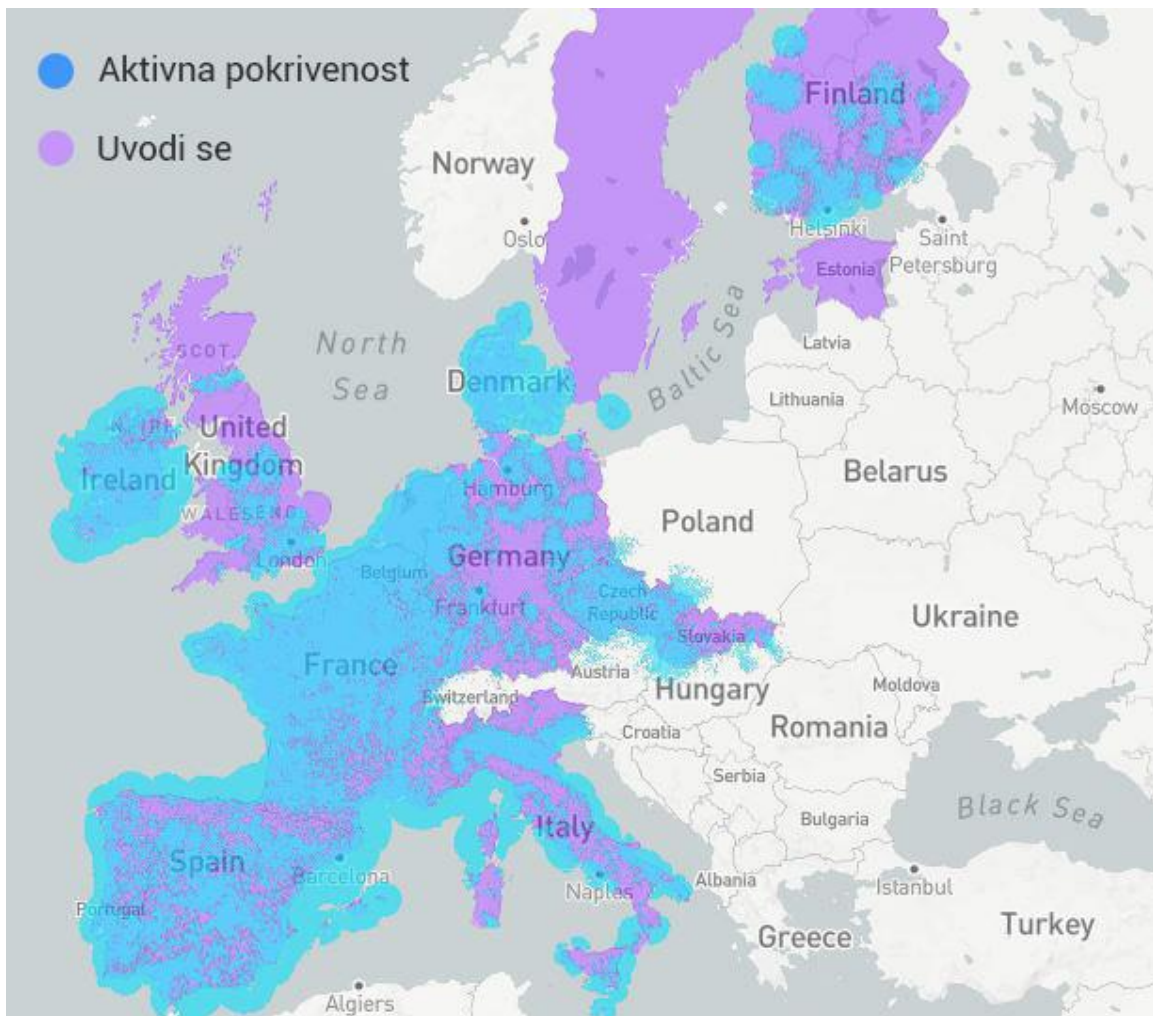
⁷ QoS - <http://www.networkcomputing.com/networking/basics-qos/402199215>

⁸ UNB - <http://www.m2comm.co/front-page/technology/wan-ultra-narrow-band-unb/>

Sigfox je *uplink only* tehnologija, iako podržava i veoma ograničeni *downlink*. To najbolje pokazuju brojke, iz kojih se vidi da se na dan može poslati 140 poruka (12 bajtova po svakoj) dok je broj poruka koji se može primiti samo 4 (sa 8 bajta po poruci). Brzina prijenosa iznosi 100 b/s.

Kako je Sigfox implementacija najstarija, tako je trenutno i mreža sa najvećom geografskom rasprostranjenosti koja trenutno djeluje u 26 zemalja, a planira dosegnuti brojku 60 do 2018. godine.

Slika 5 Globalna pokrivenost Sigfox mreže



Izvor: <http://www.sigfox.com/en/coverage>

4.2. LoRa



LoRa-WAN (Long Range Wide Area Network) je LPWAN standard prilagođen bežičnim uređajima koji rade na bateriju, za regionalne, nacionalne i globalne mreže. Lora je uspješno implementirana sa oko 400 komercijalnih operatera u više zemalja. Iako je zasnovana na otvorenom standardu, radi samo na SemTech⁹ čipovima pa je s te strane dosta ograničena.

Pružna sigurnosnu dvosmjernu komunikaciju, mobilnost i usluge lokalizacije za pametne gradske i industrijske aplikacije. Brzine prijenosa se kreću od 0.3 kb/s do 50 kb/s a veličina paketa je fleksibilna i definirana od strane korisnika. Jedna od karakteristika je da podržava „*Energy harvesting*“¹⁰ tehnologije. S obzirom na neka ostala LPWAN rješenja, LoRa ima malo bolju propusnost no ima doseg od 7.2 km u urbanim područjima što je ipak malo slabije od ostalih rješenja. Međutim, vrlo je uspješna tehnologija na Europskom tržištu.

LoRa je vlasnička tehnika modulacije širenja spektra proizašla iz CSS¹¹-a (Chirp Spread Spectrum) koji ima integriran *Forward Error Correction* (FEC). Koristi se širok spektar pri prijenosu kako bi se na taj način spriječile interferencije koje se javljaju zbog nekvalitetnog kristala. LoRa prijemnik može dekodirati prijenos koji je 15.9 dB ispod razine šuma, čime se omogućava komunikacija na velikim udaljenostima. Primopredajnici mogu raditi između 137 MHz i 1020 MHz što znači da djeluju u licenciranom spektru, svejedno su najčešće implementirani u ISM spektru:

- EU - 868 MHz i 433 MHz
- SAD - 915 MHz i 433 MHz

⁹ SemTech - <http://www.semtech.com/>

¹⁰ Energy harvesting - http://eu.mouser.com/applications/energy_harvesting/

¹¹ CSS - <http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>

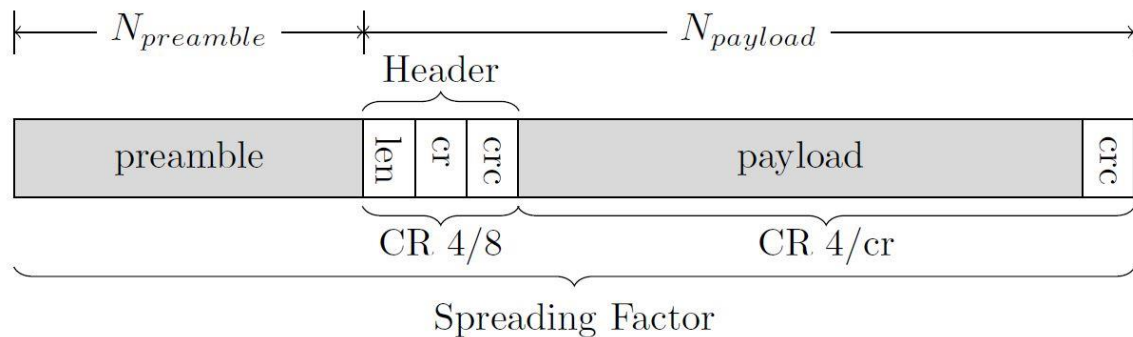
LoRa pruža pet parametara koje se mogu konfigurirati a to su:

- **Snaga prijenosna** (engl. *Transmission Power - TP*) – Može se podesiti od -4 dBm do 20 dBm u koracima od 1 dB, no zbog ograničenja hardvera raspon je često ograničen od 2 do 20 dBm. Drugo ograničenje koje hardver unosi je da se snage iznad 17dBm mogu koristiti samo za 1% radnog ciklusa.
- **Frekvencija prijenosnika** (engl. *Carrier Frequency - CF*) je centralna frekvencija koja se može podesiti u koracima od 61 Hz između 137 MHz i 1020 MHz. S obzirom na pojedini čip, taj raspon može biti ograničen od 860 MHz do 1020 MHz.
- **Faktor širenja** (engl. *Spreading Factor - SF*) je omjer između brzine signalizacije (engl. *Symbol rate*¹²) i brzine generiranja chip-ova (engl. *chip rate*). Veći faktor širenja povećava i omjer signala i šuma (engl. *Signal to Noise Ratio - SNR*), a time i domet, no time se povećava i vrijeme potrebno za emitiranje paketa.
- **Širina pojasa** (engl. *Bandwidth - BW*) – širina frekvencije prijenosnog pojasa. Veća širina pojasa omogućava veću brzinu prijensa ali slabiju osjetljivost koja se javlja zbog dodatnog šuma. Mala širina pojasa pruža bolju osjetljivost ali i nižu brzinu prijensa, no za funkcioniranje potrebni su i precizniji kristali. Može se odabrati širina između 7.8 kHz i 500 kHz, dok tipična LoRa mreža radi na 500 kHz, 250 kHz te 125 kHz
- **Stopa kodiranja** (engl. *Coding Rate - CR*) je *FEC*¹³ stopa koju koristi LoRa modem kako bi se podaci zaštitili od smetnji i interferencija. Stopa kodiranja može biti postavljen na 4/5, 4/6, 4/7 ili 4/8. Veći CR osigurava veći stupanj zaštite no povećava vrijeme potrebno za emitiranje signala. Komunikacija sa signalima koji imaju različiti CR je moguća ukoliko se koristi eksplicitno zaglavlje, jer je u njemu zapisana stopa kodiranja.

¹² Symbol rate - <http://www.satsig.net/symbol01.htm>

¹³ Forward Error Correction - <https://www.techopedia.com/definition/824/forward-error-correction-fec>

Slika 6 Struktura LoRa paketa



Izvor: https://www.link-labs.com/hubfs/DOCS.linklabs.com/2017/01/lora-scalability_r254.pdf

LoRa paket počinje sa preambulom, koja je programirana između 6 i 65535 simbola. Nakon toga slijedi neobavezno zaglavlje koje sadrži podatak o duljini, stopi kodiranja te postoji li CRC. Zatim dolazi plaćeni teret (engl. *payload*) koji može sadržavati od 1 do 255 bajta. Zadnji dio paketa je CRC¹⁴ koji se sastoji od 16 bita.

Skalabilnost

Testiranje skalabilnosti u realnim uvjetima nije moguće jer je za implementiranje takvih mreža previše skupo. No ono što je moguće je uz pomoć simulatora ispitati i približe shvatiti kako bi se mreža mogla ponašati za veliki broj spojenih uređaja. Takvo ispitivanje je provedeno i dokumentirano u radu „Do LoRa-WAN scale?“¹⁵ iz kojeg će se izdvojiti neki bitniji dijelovi.

¹⁴ CRC - <http://computer.howstuffworks.com/encryption7.htm>

¹⁵ Do LoRa-WAN scale? - [http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/do-lora-lowpower-widearea-networks-scale\(83d93e9d-8d77-4927-8f9c-cdca397fe355\).html](http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/do-lora-lowpower-widearea-networks-scale(83d93e9d-8d77-4927-8f9c-cdca397fe355).html)

U svrhu studija razvijen je LoRaSim¹⁶ koji je implementiran preko SimPy¹⁷ alata.

LoRaSim omogućava postavljanje proizvoljnog broja čvorova (N) u dvodimenzionalni prostor (raspored mreže). Može se postaviti i određeni broj točki za prikupljanje podataka (engl. *sink* - M). Svaki LoRa čvor ima specifičnu komunikacijsku karakteristiku definiranu sa parametrima prijenosa TP, CF, SF, BW i CR. Ponašanje čvora opisano je prosječnom stopom prijenosa paketa (λ) i Plaćenog tereta (B). Pretpostavljena duljina preambule je 8 simbola. Ponašanje čvora (n) za vrijeme trajanja simulacije opisano je sljedećim setom:

$$S N_n = \{ TP, CF, SF, BW, CR, \lambda, B \}$$

Za procjenu skalabilnosti i performansi LoRa implementacija koriste se dvije mjere:

- **Stopa izdvajanja podataka** (engl. *Data Extraction Rate - DER*) – U efikasnoj LoRa implementaciji, sve bi odašiljane poruke trebale biti zaprimljene od strane backend sustava. To u ovom slučaju znači da bi svaka odašiljana poruka trebala biti zaprimljena od barem jedne točke za prikupljanje podataka. DER je omjer primljenih poruka i emitiranih poruka tokom određenog vremenskog razdoblja. Ovisi o poziciji, broju, i karakteristikama pojedinih LoRa čvorova i točaka za prikupljanje podataka koji su definirani sa N , M i SN . Stopa izdvajanja podataka je vrijednost između 0 i 1, a što je vrijednost bliža 1 to je implementacija efikasnija.
- **Potrošnja energije mreže** (engl. *Network Energy Consumption – NEC*) – Energiju koju je utrošila mreža kako bi uspješno izdvojila poruku. Potrošnja energije pojedinog čvora uglavnom ovisi o potrošnji primopredajnika. Budući da se u većini slučajeva čvor napaja energijom iz baterije nužno je tu potrošnju energije što više smanjiti. Potrošnja energije svake poruke ovisi o snazi prijenosa (TP) i trajanju samog prijenosa koji je uvjetovan sa SF, BW i CR. NEC ovisi o broju čvorova, frekvenciji prijenosa te parametrima odašiljača.

¹⁶ LoRaSim - <http://www.lancaster.ac.uk/scc/sites/lora/lorasim.html>

¹⁷ SimPy - <https://simpy.readthedocs.io/en/latest/>

Tablica 2 Postavke parametara za eksperiment

	SN ¹	SN ²	SN ³
TP (dBm)	14	14	14
CF (MHz)	868	868	868
SF	12	6	12
BW (kHz)	125	500	125
CR	4/8	4/5	4/5
λ (ms)	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
B (byte)	20	20	20

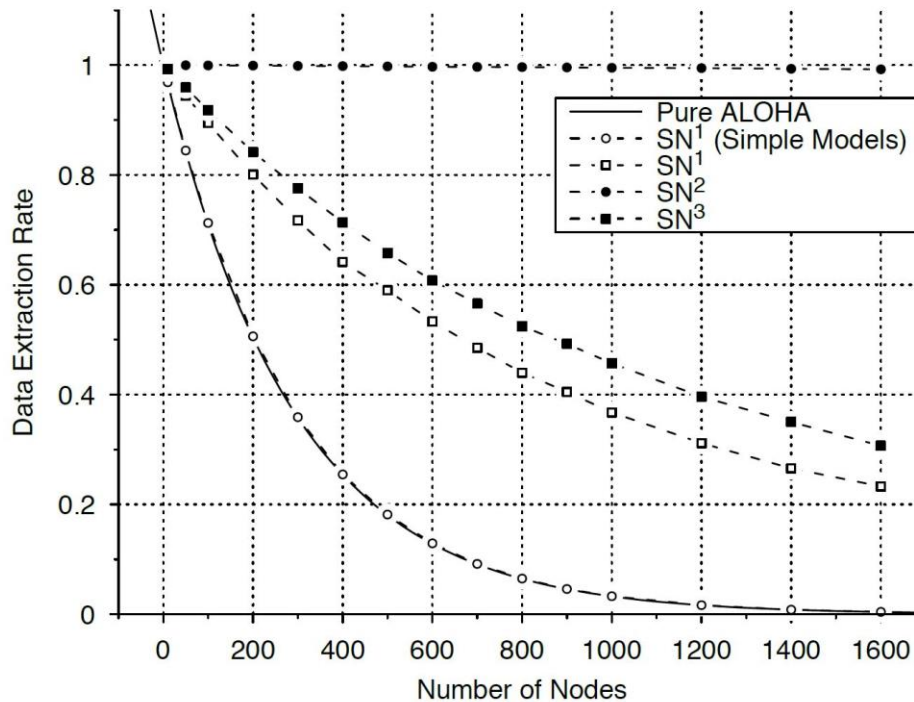
Izvor: Do LoRa-WAN scale?

Eksperiment – Jedna točka za prikupljanje podataka

Jednostavan postupak gdje N čvorova šalje na jednu točku koja prikuplja podatke ($M=1$). Koristi se homogena konfiguracija odašiljača, odnosno za pojedini test svi čvorovi koriste istu konfiguraciju $SN = \{ TP, CF, SF, BW, CR, \lambda, B \}$. Čvorovi su nasumično postavljeni tako da svi čvorovi mogu dosegnuti točku za prikupljanje podataka. Uspoređuju se tri različite konfiguracije – SN¹, SN² i SN³ (podaci se nalaze u *tablici 2*). U svakom se slučaju koriste paketi veličine 20 bajta koji se šalju od svakog čvora u vremenskim razmacima od 16.7 minuta kako bi se testirala realna primjena.

Za slučaj SN¹ odabrane su najrobustnije postavke odašiljača koji za posljedicu imaju najdulji mogući vremenski period slanja paketa od 1712.13 ms. Kod SN², parametri su postavljeni tako da se omogući najkraći vremenski period slanja paketa od 7.07 ms. Treći je slučaj konfiguriran na taj način da odgovara uobičajenoj LoRa-WAN implementaciji.

Slika 7 Rezultat eksperimenta



Izvor: *Do LoRa-WAN scale?*

Slika 7 pokazuje rezultat eksperimenta na kojem svaka točka predstavlja simulaciju koja je trajala približno 58 dana. Sa povećanjem broja čvorova, stopa izdvajanja podataka (DER) eksponencijalno pada, a iz grafa se može vidjeti kako se ona drastično razlikuje kod konfiguracije sa najdužim vremenskim periodom slanja paketa (SN¹) i konfiguracije sa najkraćim vremenskim periodom slanja paketa (SN²). Ovi rezultati govore kako bi u slučajevima gdje je potreban DER > 0.9 bilo moguće podržati 120 čvorova sa SN³ LoRa konfiguracijom.

Kada bi se ovakva implementacija nalazila u Europi, regulativa bi nalagala da pojedini čvor može koristiti kanal samo 0.1% vremena (*duty-cycle* ograničenje). Za usklađivanje bilo bi potrebno smanjiti stopu prijenosa podataka, odnosno povećati vremenski period između dva slanja, sa 20 bajtova svakih 16.7 min na svakih 22min.

Ostali eksperimenti se mogu pogledati u radu „*Do LoRa-WAN scale?*“¹⁸.

¹⁸ Do LoRa-WAN scale? - [http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/do-lora-lowpower-widearea-networks-scale\(83d93e9d-8d77-4927-8f9c-cdca397fe355\).html](http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/do-lora-lowpower-widearea-networks-scale(83d93e9d-8d77-4927-8f9c-cdca397fe355).html)

4.3. Mobilne LPWAN implementacije

Tablica 3 Karakteristike različitih 3GPP izdanja

	Izdanje 12	Izdanje 13	Izdanje 13
	Cat-0	Cat-M	NB-IoT
Propusnost	20 MHz	1.4 MHz	200 kHz
Downlink	1 Mb/s	1 Mb/s	~200 kb/s
Uplink	1 Mb/s	1 Mb/s	~200 kb/s
Duplex¹⁹	Half duplex	Half duplex	Half duplex
Broj antena	1	1	1
Snaga odašiljanja (UE)	23 dBm	20 dBm	23 dBm
Procijenjena kompleksnost modema	40%	20%	<15%

Izvor: <https://iot-for-all.com/cellular-iot-explained-nb-iot-vs-lte-m/>

Cat-0

Cat-0 eliminira značajke koje podržavaju visoke zahtjeve za brzinu prijenosa podataka koji su definirani za kategoriju Cat-1 (dvostruki prijamni lanac, duplex filter). Ako se Cat-1 može smatrati da će zamijeniti 3G onda se može reći i da Cat-0 postavlja temelje za Cat-M koji bi u budućnosti zamijenio 2G.

Cat-M1/Cat-M/LTE-M

Cat-M (službeni naziv LTE Cat-M1) je druga generacija LTE čipova napravljena za IoT primjenu. LTE-M nadopunjava karakteristike kao što je to potrošnja energije i prihvatljivija cijena, koje je postavio standard kategorije Cat-0.

¹⁹ Duplex - <http://www.makeuseof.com/tag/what-is-half-duplex-and-full-duplex-operation-and-how-does-it-affect-your-router/>

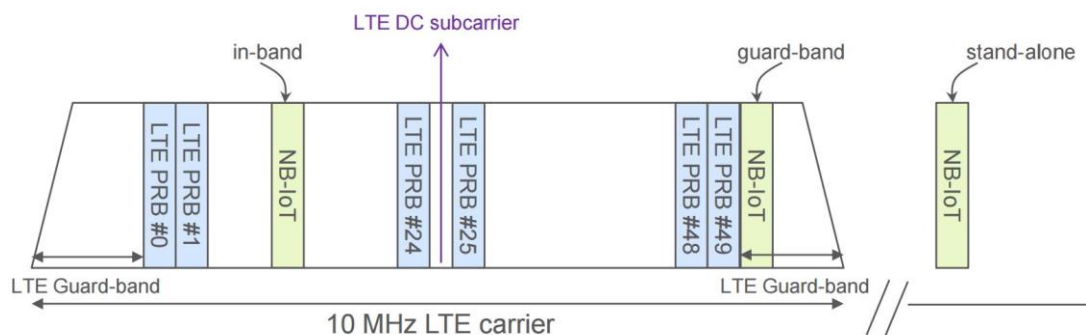
Dodatni korak prema LPWAN tehnologiji je taj što je propusnost, iz prethodnih 20 MHz sada ograničena na 1.4 MHz. Prednost nad drugim opcijama je kompatibilnost Cat-M kategorije sa postojećom LTE mrežom što ide u prilog kompanijama kao što su to AT&T i Verizon koji za implementaciju neće morati ulagati novac u izgradnju novih antena.

Dodatno očuvanje baterije postiže se na način da uređaji mogu ući u „*deep sleep*“ način rada, odnosno PSM (Power Saving Mode) ili pak koristiti eDRX²⁰ način rada gdje se uređaj povremeno uključuje. U 3GPP standardu, između ostalog, propisuje kako bi životni vijek baterije trebao biti 10 godina za kapacitet od 5 Wh.

NB-IoT / Cat-M2

NB-IoT ima sličan cilj kao i kategorija Cat-M, ali koristi drukčiju tehnologiju (OFDMA za *downlink* te SC-FDMA za *uplink* komunikaciju).

Slika 8 NB-IoT in-band i guard-band te stand-alone implementacija



Izvor: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1606/1606.04171.pdf>

Kako se *stand-alone* implementacija koristi izvan LTE spektra, to uvodi dodatne troškove u realizaciju usluge no ipak bi u konačnici NB-IoT mogla biti jeftinija opcija jer nije potreban pristupnik. Kod ovakve implementacije senzori mogu komunicirati direktno sa serverom. Iz tog razloga Huawei, Ericsson, Qualcomm, i Vodafone aktivno istražuju i ulažu napore za komercijalizaciju NB-IoT tehnologije.

²⁰ PSM i eDRX - <https://www.link-labs.com/blog/lte-e-drx-psm-explained-for-lte-m1>

4.4. Ingenu / RPMA



Random Phase Multiple Access (RPMA) je vlasnička LPWAN tehnologija razvijena od strane Ingenu²¹. Kompanija se prvotno zvala „*On-Ramp Wireless*“ a osnovana je 2008. godine od strane bivših Qualcomm inženjera. Ingenu, kao osnivač IEEE 802.15.4k standarda uložio je ogromne napore u njegov razvoj dok su se Sigfox i LoraWAN više usmjerili na što brži izlazak na tržište.

Zbog toga Ingenu ekosustav nije dovoljno razvijen a dodatni problem kod toga je što je to jedini operater koji pruža RPMA pristup, pa ukoliko je njihov cilj izrada prilagođenog modula ili pristupnika, možda bi logičniji potez bio priključenje LoRa grupaciji.

Studije su pokazale da je tipično područje pokrivenosti 500 km² u urbanim područjima, dok je u nekim slučajevima zabilježeno pokrivanje od 1000 km² sa jednom baznom stanicom. To znači da bi za isto područje pokrivenosti bilo jeftinije postaviti manji broj RPMA pristupnih točaka nego bi to bilo u slučaju sa nekom drugom LPWAN tehnologijom. Tako je na primjer Ingenu ostvario područje pokrivenosti od 5000 km² sa samo 9 baznih stanica. S druge strane, senzori koji podržavaju RPMA su poprilično skupi, pa isplativost ovisi o broju pristupnih točaka i senzora za određenu primjenu.

RPMA zbog svoje arhitekture ima bolji *uplink* i *downlink* od ostalih modela, a ukupni kapacitet po jednoj pristupnoj točki iznosi 38 053 b/s, te se ta propusnost može podijeliti na onoliko uređaja koliko je potrebno u ovisnosti o količini prometa koji se upotrebljava.

Sigurnost (128-bit AES²² enkripcija) koja je uključena u sam RPMA standard koristi uplink promet, međutim ne računa se u potrošnju prometa.

Djeluje u 2.4GHz spektru koji je globalno dostupan (koristi se za Wi-Fi i Bluetooth) što znači da nisu potrebne nikakve dodatne modifikacije za njegovo korištenje.

²¹ Ingenu - <https://www.ingenu.com/>

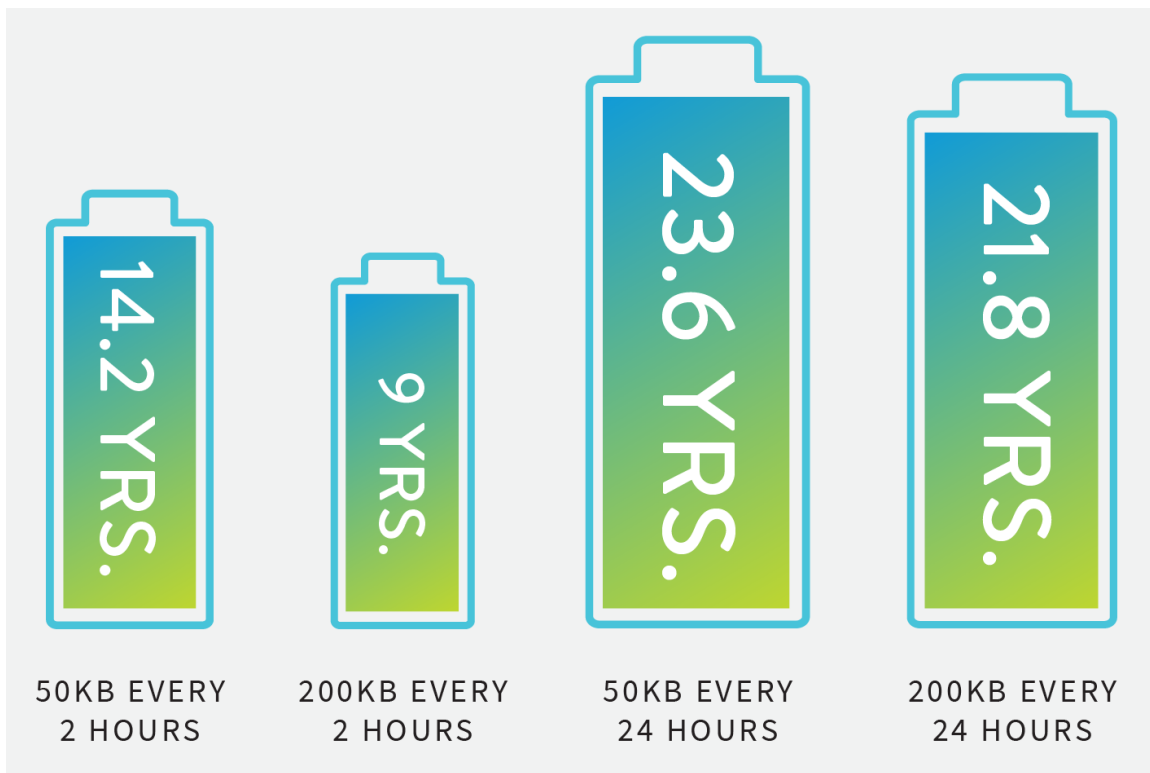
²² AES - https://www.tutorialspoint.com/cryptography/advanced_encryption_standard.htm

Korištenje tog spektra otvara problem interferencije no RPMA koristi tehnologiju koja taj problem vrlo uspješno rješava.

Još jedna karakteristika koja može biti ključna pri odabiru LPWAN rješenja je mobilnost, a ova tehnologija ju omogućava. Za svaku bežičnu tehnologiju, kretanje zapravo mijenja stanje bežičnog kanala pa se mora pronaći rješenje koje će omogućiti nesmetanu komunikaciju sa baznom stanicom čak i kada je uređaj u pokretu.

Na životni vijek baterije utječe puno parametara – od samog senzora, pa do temperature, količine podataka, kvaliteta veze i sličnog, pa je stoga dosta teško predvidjeti njeno trajanje sve dok se isto ne testira u realnim uvjetima. Ipak, prema podacima proizvođača, *slika 5* pokazuje predviđeno trajanje baterije u ovisnosti o količini podataka koji se šalju.

Slika 9 Odnos trajanja baterije i količine prijenosa podataka



Ivor: <https://www.ingenu.com/technology/rpma/battery-life/>

Postoji više načina za rješavanje interferencije. Jedan od tih načina je pronaći spektar gdje nema interferencija – licencirani spektar, no takvo je rješenje vrlo skupo. Drugi način je slanje signala koji će biti jači od šuma. Treći način je da se signal na neki način uklopi sa šumom, i na taj način funkcionira *Direct Sequence Spread Spectrum* - DSSS²³.

Uzima se poruka i jedinstveni niz znakova koji kao parametri ulaze u posebnu matematičku funkciju. Rezultat te funkcije se potom šalje primatelju za kojeg ta poruka izgleda kao šum. To je nasumično kodirano, pa primatelj može dešifrirati poruku samo ako posjeduje ključ kojim je ta poruka šifrirana.

Negativna strana je ta što duže poruke produljuju vrijeme potrebno za dešifriranje. Međutim sa CDMA²⁴ je taj problem uspješno savladan čak i kod prijenosa glasa koji zahtijeva vrlo malo kašnjenje (unutar milisekundi). S obzirom da LPWAN, odnosno IoT uređaji zahtijevaju puno manje podataka nego li je to slučaj sa prijenosom glasa, Ingenu je kod razvoja RPMA tehnologije još više mogao proširiti signal. To se jasno vidi kada se usporedi faktor raspršenja (engl. *processing gain*²⁵) koji kod CDMA/W-CDMA iznosi 18 dB (64 *chips* po simbolu), dok kod Ingenu DSSS implementacije iznosi 39 dB (8192 *chips* po simbolu). Jednostavnije rečeno – RPMA valni oblik može se širiti 128 puta više nego li je to moguće sa CDMA. Naravno, RPMA ne širi maksimalno svaki signal, štoviše, većinu vremena koristi najmanju količinu širenja, a tek ukoliko je potrebno, odnosno pri većoj interferenciji, RPMA počinja širiti svoj valni oblik.

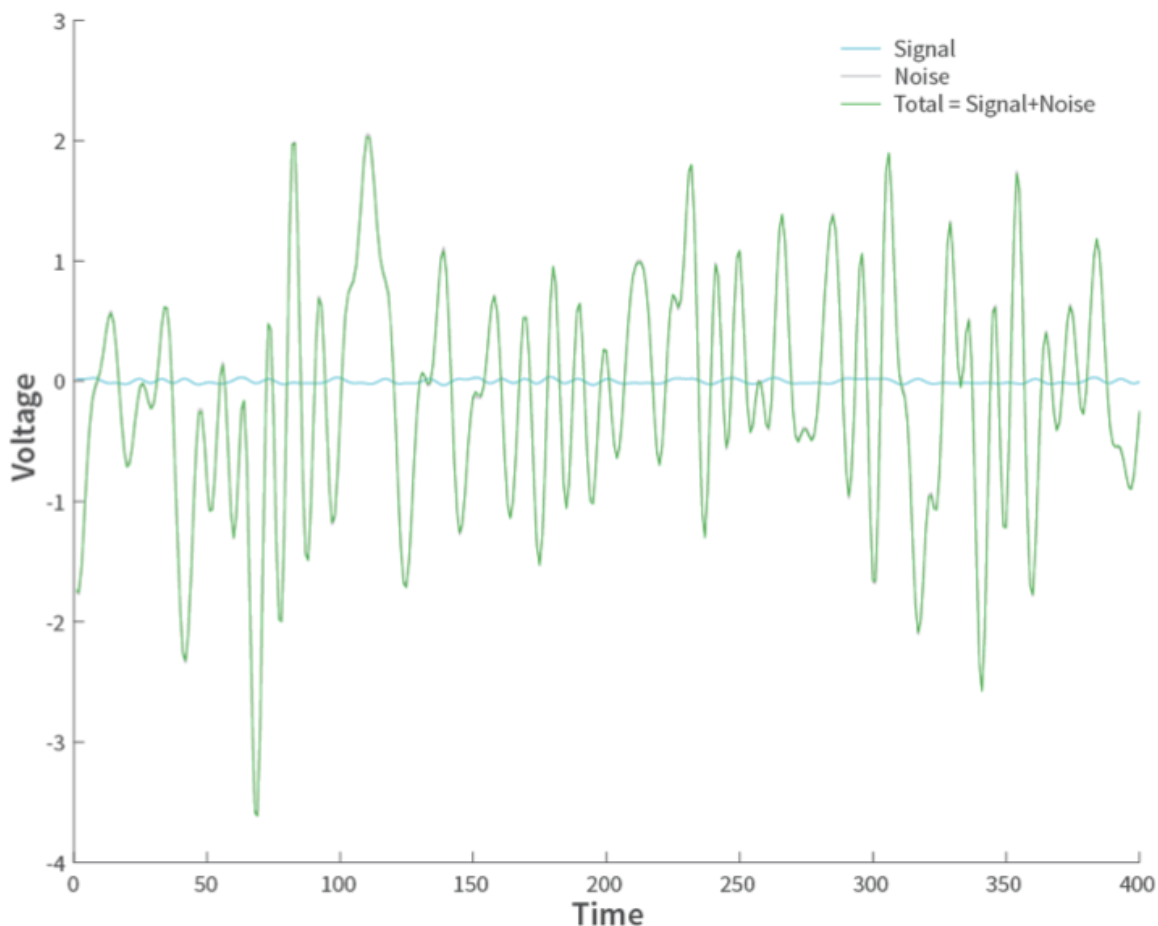
Osim što DSSS modulirani signali primatelju izgledaju kao šum, bitnije je činjenica da izgledaju kao šum i ostalim signalima, što ovakvu modulaciju čini izuzetno imunom na interferencije. Na ovakav s način mogu detektirati signali koji su 2000 puta manji od samog šuma. RPMA može demodulirati 1000 poruka u isto vrijeme, i to predstavlja višestruki pristup (engl. *multiple access*), odnosno „MA“ dio iz „RPMA“.

²³ DSSS - <http://www.ele.uri.edu/Courses/ele436/labs/DSSS.pdf>

²⁴ CDMA - <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/cdma/cdma-spread-spectrum.php>

²⁵ Processing gain - https://www.dsprelated.com/freebooks/sasp/Processing_Gain.html

Slika 10 Graf koji prikazuje omjer singal/šum

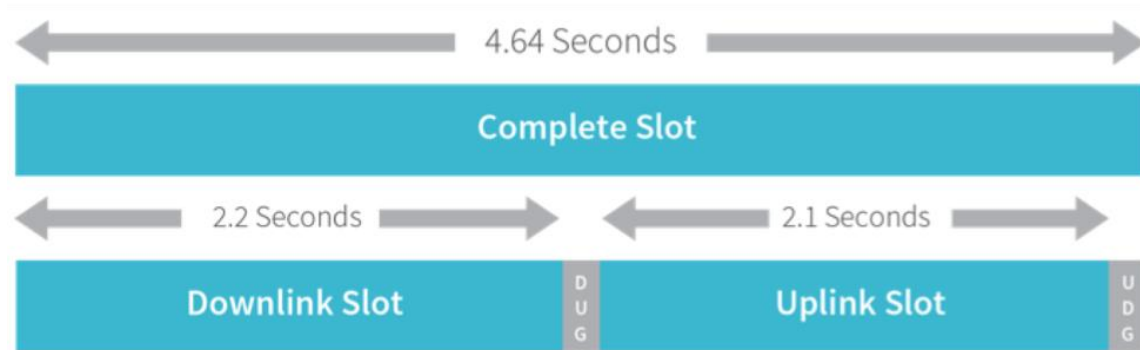


Izvor: <https://iot-for-all.com/rpma-technical-drill-ingenus-lpwan-technology/>

RPMA koristi kanal od 1 MHz i dijeli ga u vremenske odsječke (engl. *time slots*) koji se nazivaju okviri (engl. *frames*). Ti su okviri veoma dugački u usporedbi sa tradicionalnim mobilnim okvirima koji se obično mjere u desecima milisekundi a ne u sekundama. Budući da je RPMA dizajniran za prijenos malih količina podataka, izabran je TDD²⁶ pristup. Za kontrolu snage odašiljanja, RPMA koristi takozvani *open loop power control*. Radi na taj način da krajnja točka mjeri downlink snagu te taj podatak koristi za izračunavanje uplink snage odašiljanja bez potrebe za dodatnim informacijama iz bazne stanice. To je bitno iz razloga što već male promjene u frekvenciji mogu uvelike izmijeniti stanje kanala. Pogrešno stanje kanala može dovesti do nepotrebno velikog kapaciteta (kada je signal prejak) ili do nepouzdatih podataka (kada je signal preslab).

²⁶ TDD - http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/cellular_concepts/tdd-fdd-time-frequency-division-duplex.php

Slika 11 RPMA vremenski odsječak



Izvor: <https://iot-for-all.com/rpma-technical-drill-ingenus-lpwan-technology/>

Kontrola snage odašiljanja, u kombinaciji sa slanjem 1000 istovremenih poruka koje DSSS omogućuje, daje kapacitet RPMA tehnologiji. Način na koji kontrola snage odašiljanja poboljšava kapacitet je bitan i iz razloga što se to odražava i na vijek baterije te skalabilnost – odnosno mogućnost pružanja usluge većem broju uređaja, dodavanjem baznih stanica.

Djelovanje u 2.4 GHz ne samo da nije problem zbog korištenja DSSS-a, već ima i svoje prednosti zbog regulative. Drugi pristupi koje imaju ostale LPWAN tehnologije imaju vremenska ograničenja u FCC i ETSI područjima. Zbog toga što RPMA ima dovoljno široki kanal (1 MHz) može odašiljati koliko god je potrebno. To omogućuje širenje valnog oblika koje je već ovdje opisano. Ostali protokoli imaju ograničenje na korištenje samo 1% vremena (u ETSI²⁷ domeni koja se koristi u Europi) ili manje od 400ms (FCC²⁸ domena koja se koristi u SAD-u i Australiji). S druge strane, širina kanala je pak dovoljno mala da se može uklopiti između Wi-Fi kanala. Drugim riječima, iako obje tehnologije djeluju u 2.4 GHz spektru, RPMA i Wi-Fi su zapravo susjedi pa tako RPMA može imati 11 kanala izvan Wi-Fi spektra.

²⁷ ETSI - <http://www.etsi.org/>

²⁸ FCC - <https://www.fcc.gov/>

Tablica 4 Usporedba RPMA ograničenja na različitim frekvencijama

	2.4 GHz	900 MHz		
Physics-Based Limitations				
Propagation Loss	Greater than 900 MHz	Less than 2.4 GHz		
Antenna Diversity	Achievable at 3.25 cm (1.3 in.), allows very small devices	8.25 cm (3.25 in.), small form factor not possible		
Government Regulation-Based Limitations				
	FCC	Europe	FCC	Europe
EIRP	36 dBm, 43 dBm with sectorization	up to 27 dBm	36 dBm, no EIRP gains from sectorization	250 kHz @ 27 dBm 1.75 MHz @ ≤14 dBm
DSSS	No limitations on processing gain			
Narrowband	400 ms transmit time limit	No limitations	400 ms transmit time limit	No limitations
Duty Cycle	No limitations	No limitations	No limitations	LPWA sub-bands <1%
Bandwidth	80 MHz	80 MHz	26 MHz	250 kHz @ 27 dBm 1.75 MHz @ ≤14 dBm
Worldwide Availability	Yes, one continuous band at 2.4 GHz		No, many countries do not have band near 900 MHz	

Izvor: <https://iot-for-all.com/rpma-technical-drill-ingenus-lpwan-technology/>

„RP“ dio iz RPMA je kratica za slučajnu fazu „Random Phase“ koji je također bitan aspekt koji čini RPMA tehnologiju tako efikasnom. Ovdje je bitno napomenuti da se to ne događa pseudo-slučajno, kao što se to obično koristi u raspršenom spektru, gdje slijed izgleda slučajno, ali je na neki način dogovoren između krajeva. Kod RPMA tehnologije nema nikakve potrebe za koordinacijom između krajeva veze (bazne stanice i krajnje točke) što znači da se ne događa nikakvo usklađivanje. Koncept RPMA komunikacije:

- Stjecanje frekvencije / vremena
- Odabir slučajnog broja čipova za kašnjenje
- Emitiranje poruka korištenjem kontrole snage odašiljanja
- Predvidjeti da se poruka ne može demodulirati u tom trenutku i ponoviti slanje

4.5. *Weightless*



Weightless SIG (Special Interest Group) osnovan je 2008 sa ciljem standardizacije LPWA mreža. Postoji pet „članica grupe promicatelja“ a to su: Accenture, ARM, M2COMM, Sony-Europe i Telensa. Weightless je jedini pravi otvoreni standard koji radi u nelicenciranom spektru ispod 1 GHz. Postoje tri inačice koje služe u različite svrhe:

- **Weightless-W:** mreža kod koje bazna stanica šalje upite na bazu podataka na temelju kojih identificira kanale koji se koriste za emitiranje zemaljske tehnologije u svom lokalnom području. One kanale koji nisu u uporabi (takozvani „bijeli prostor“, engl. „*white space*“) bazna stanica može koristiti za komunikaciju sa terminalima uz pomoć Weightless-W protokola.
- **Weightless-N/NWave:** otvoreni standard koristi UNB tehnologiju, sa brzinom prijenosa od 100 b/s i doseg od 5 km u urbanom području. Ima vrlo malu potrošnju energije što omogućuje dug životni vijek baterije. Po funkcionalnosti je vrlo sličan SigFox tehnologiji a razlikuje se jer ima bolju implementaciju MAC sloja. Nedostatak je što je za njegovo funkcioniranje potrebno korištenje temperaturno kompenziranog kristalnog oscilatora TCXO²⁹. Ova je tehnologija prigodna za senzorske primjene – očitavanje temperature, nadzor razine spremnika i slično.
- **Weightless-P:** Koristi dvosmjerni protokol sa FDMA + TDMA modulacijom u uskom rasponu od 12.5 KHz. Ima prilagodljivu brzinu prijenosa podataka (200 b/s – 100 kb/s). Osjetljivost je prilično visoka a iznosi -134 dBm, na 625 b/s te podržava još i PSK te GMSK modulaciju. Ovakav tip tehnologije namijenjen je prvenstveno za privatne mreže te u onim slučajevima gdje je važna kontrola uplink i downlink prometa.

²⁹ TCXO - <http://www.radio-electronics.com/info/data/crystals/tcxo.php>

5. Primjena

Zbog svojih karakteristika, koje su navedene na početku seminarskog rada, LPWA mreže su idealno rješenje za veliki broj različitih primjena.

Slika 12 Primjer IoT primjena poduprtih LPWA mrežom



Izvor: <http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-737308.pdf>

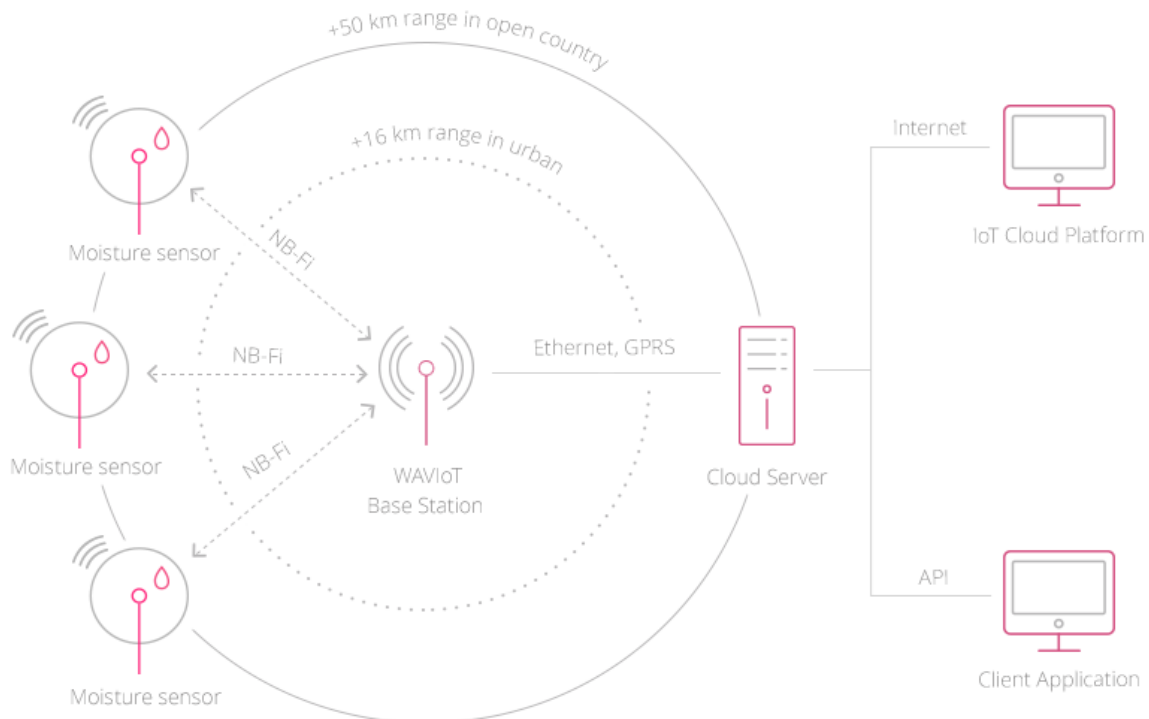
Osim gore istaknutih primjena valja napomenuti još neke na koje će zasigurno otpadati velika većina ukupnog korištenja LPWA mreža, a to su:

- Upravljanje imovinom i logistika
- Automatizacija zgrada
- Zdravstvo
- Praćenje kućnih ljubimaca
- Pametni kućni uređaji
- Nadzor prometnica i ostale javne infrastrukture

5.1. Primjer – Sustav kontrole vlažnosti tla

Polja i pašnjaci ponekad nemaju pokrivenost mobilnim mrežama, pa su u takvim slučajevima prikladna LPWAN rješenja. Poljoprivrednici mogu dobiti značajnu korist od podataka u stvarno vremenu („*real-time data*“) o vlažnosti tla, temperaturi i vlazi u zraku.

Slika 13 WavIoT sustav za mjerenje vlažnosti tla



Izvor: <http://dgmatics.com/iot/solutions/smart-agriculture/soil-moisture-monitoring-and-irrigation-control>

Korištenjem sustava koji mjeri vlažnost tla, u kombinaciji sustavom za automatsko navodnjavanje, moguće je uštediti na potrošnji vode od 40% pa čak do 70%. Na ovakav se način pospješuje i kvantiteta ali i kvaliteta usjeva. WavIoT³⁰ sustav je kompatibilan sa sensorima različitih proizvođača. Svaki modem, dobivene parametre vlažnosti zemlje šalje na baznu stanicu, a pokriva područje od 7000 km². Primljene podatke obrađuje server a njih je moguće pogledati preko klijentske aplikacije.

³⁰ WavIoT - <http://dgmatics.com/>

5.2. Primjer - Suzbijanje krivolova

Krivolov u Africi je nanio veliku štetu, čak do te mjere da Afrička zaklada za divlje životinje upozorava na to da ukoliko se krivolov nastavi u ovakvom razmjeru, slonovi, nosorozi i ostale egzotične divlje životinje mogle bi brzo izumrijeti. Stoga su IoT kompanije odlučile stati tome na kraj. U siječnju ove godine, Semtech je najavio da će u Tanzaniji pratiti nosoroge, uz pomoć LoRa senzora postavljenih na njihovim rogovima. U suradnji sa „Internet of Life“ i „ShadowView“ fondacijama, ljudi koji se bore protiv krivolova, sa ovim tehnologijama mogu udaljeno pratiti stanje nosoroga. Međutim, LPWAN pružatelji usluga nisu jedini koji se protiv toga bore, pa tako postoji i projekt RAPID³¹ (Real-time anti-poaching intelligence device)

Slika 14 Proces koji pokazuje kako funkcionira suzbijanje krivolova



Izvor: <https://iot-for-all.com/iot-used-stop-poaching-animals/>

Gornja slika pokazuje kako sustav funkcionira – kada senzor koji mjeri puls očita vrijednost koja iskače iz srednjih vrijednosti aktivira se alarm koji šalje GPS koordinate u kontrolni centar. Tada se po potrebi, odnosno na temelju video kamere koja nadzire to područje može poslati helikopter koji za nekoliko minuta može doći na potrebno mjesto.

³¹ RAPID - <http://www.socialtech.org.uk/projects/rapid/>

6. Zaključak

LPWAN tehnologija nije samo još jedan popularni izraz koji u praksi nema previše smisla. Naprotiv, postoji velika potreba za takvom tehnologijom, što pokazuje i sve veći interes za nju. Iako neka rješenja još nisu spremna za uporabu, već je veliki broj uređaja povezan na trenutno aktivna LPWAN rješenja. Dakako, treba imati na umu da usprkos tome, postoje još neke prepreke koje treba riješiti kako bi se ostvario rast LPWA mreža od 100% do 2020. godine, kakvog analitičari predviđaju. Jedna od tih prepreka je neizvjesnost o njihovoj izvedbi pri velikom broju priključenih uređaja na mrežu. Postoji vrlo malo objektivnih dokaza koji bi čvrsto stajali iza tvrdnje da su takve mreže spremne za skalabilnost jer je većina takvih informacija provedena od strane samih proizvođača ili pak u laboratorijskim uvjetima koji ne mogu dati realni uvid u to. Također, komplicirani postupci certificiranja za neke LPWA mreže otežavaju proizvođačima ulazak na tržište, a zatim i nedovoljno jasan poslovni model. LTE-M će biti dobar izbor za ona rješenja gdje je potrebna veća količina razmjena podataka nego li to omogućuje većina LPWA mreža, no zato će te ostale tehnologije pružiti bolje uvjete za mreže bazirane na sensorima. Ove mogućnosti mogu imati ogroman utjecaj na naš svijet, pa tako mogu pomoći pri osiguravanju hrane za globalnu populaciju, pridonijeti smanjenju potrošnje energije i količine vode te slično.

Literatura

Brošure, knjige i članci:

LoRa Modulation Basics (<http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>)

Do LoRa-WAN scale? (https://www.link-labs.com/hubfs/DOCS.linklabs.com/2017/01/lora-scalability_r254.pdf)

WWW:

<https://iot-for-all.com/history-of-lpwan-look-future-of-lpwan/> (Pristup: 5.5.2017)

<http://www.fiercewireless.com/tech/verizon-at-t-both-claim-lte-cat-m-firsts-for-internet-things> (Pristup: 8.5.2017.)

<https://iot-for-all.com/comparison-of-lpwan-technologies/> (Pristup: 8.5.2017.)

<http://www.poslovni.hr/tehnologija/najbolje-smo-pripremljeni-operater-na-trzistu-za-digitalnu-agendu-2020-319047> (Pristup: 10.5.2017.)

<https://iot-for-all.com/iot-used-stop-poaching-animals/> (Pristup: 10.5.2017.)

<http://www.4-traders.com/SEMTECH-CORPORATION-10870/news/Semtech-Rhino-horn-sensor-implants-prevent-poaching-23712040/> (10.5.2017.)

<http://www.theiet.org/sectors/information-communications/topics/ubiquitous-computing/articles/lpwan.cfm> (Pristup: 10.5.2017.)

<http://internetofthingsagenda.techtarget.com/blog/IoT-Agenda/The-Netherlands-and-South-Korea-announce-nationwide-LoRa-networks> (Pristup: 12.5.2017.)

<https://www.sdxcentral.com/articles/news/sk-telecom-to-invest-9-billion-for-iot-and-5g/2017/01/> (Pristup: 13.5.2017.)

<https://iot-for-all.com/what-is-a-gateway/> (Pristup: 12.5.2017.)

<https://www.digi.com/blog/iot/lpwan-technology-comparison/> (Pristup: 19.5.2017)

<https://www.engerati.com/article/lpwa-disruptive-new-networks-iot> (Pristup: 22.5.2017.)

<http://dgmatics.com/iot/solutions/smart-agriculture/soil-moisture-monitoring-and-irrigation-control> (Pristup: 24.5.2017.)

<https://iot-for-all.com/rpma-technical-drill-ingenus-lpwan-technology/> (Pristup: 2.6.2017.)

Popis slika

Slika 1 Vremenski slijed LPWA mreža	4
Slika 2 Usporedba LPWA mreže sa ostalim tehnologijama	9
Slika 3 Mesh topologija ZigBee tehnologije	11
Slika 4 Pregled vlasničkih i otvorenih LPWA mreža	13
Slika 5 Globalna pokrivenost Sigfox mreže	15
Slika 6 Struktura LoRa paketa	18
Slika 7 Rezultat eksperimenta	21
Slika 8 NB-IoT in-band i guard-band te stand-alone implementacija	23
Slika 9 Odnos trajanja baterije i količine prijenosa podataka	25
Slika 10 Graf koji prikazuje omjer signal/šum	27
Slika 11 RPMA vremenski odsječak	28
Slika 13 Primjer IoT primjena poduprtih LPWA mrežom	31
Slika 14 WavIoT sustav za mjerenje vlažnosti tla	32
Slika 15 Proces koji pokazuje kako funkcionira suzbijanje krivolova	33

Popis tablica

Tablica 1 Okvirni pregled tehnologija i njihovih karakteristika	12
Tablica 2 Postavke parametara za eksperiment	20
Tablica 3 Karakteristike različitih 3GPP izdanja	22
Tablica 4 Usporedba RPMA ograničenja na različitim frekvencijama	29

Popis kratica

LPWAN	Low Power Wide Area Network
IoT	Internet of Things
M2M	Machine To Machine
NB	Narrowband
QoS	Quality of Service
3GPP	3rd Generation Partnership Project
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
LTE	Long-Term Evolution
EC-GSM	Extended Coverage - Global System for Mobile Communications
RF	Radio Frequency
NFC	Near Field Communication
CDMA	Code-Division Multiple Access
CSS	Chirp Spread Spectrum
RPMA	Random Phase Multiple Access
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access
AES	Advanced Encryption Standard
SIG	Special Interest Group
MAC	Media Access Control
TCXO	Temperature Compensated Crystal Oscillator
RAPID	Real-time anti-poaching intelligence device
eDRX	Extended Discontinuous Reception
PSM	Power Saving Mode
CRC	Cyclic Redundancy Check
FCC	Federal Communications Commission
ETSI	European Telecommunications Standards Institute