



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Fakultet
elektrotehnike i
računarstva

Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sustavi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

Internet stvari

5. Komunikacijski protokoli za komunikaciju uređaja (sloj podatkovne poveznice): LoRaWAN, LTE-M, NB-IoT

Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- Sigfox
- LoRa i LoRaWAN
- LTE-M
- NB-IoT

LPWAN – Low Power Wide Area Network

- Mala potrošnja energije
- Uređaji mogu raditi na bateriju
- Velike udaljenosti komunikacije ($\sim x$ km)
- Niže frekvencije komunikacije \rightarrow povećana udaljenost
- Manja brzina prijenosa podataka

Sigfox



- Tehnologija razvijena 2009. u Toulouse, France
- Patentirana i zatvorena tehnologija
- Koristi nelicencirani pojas ISM
- Ograničenja:
 - Do 140 poruka po uređaju dnevno može poslati (*duty cycle* 1%, 6 poruka/sat)
 - Veličina podataka koje prenosi: 12 okteta (slanje) i 8 okteta (primanje)
 - Brzina prijenosa do 100 bps (slanje) i 600 bps (primanje)
- Originalno je zamišljen da je komunikacija ide u jednom smjeru (kao senzorska mreža)

Sigfox – fizički sloj



- Ultra Narrow Band (UNB)
- Frekvencije:
 - 868 MHz: Europa (regulatorni dokument ETSI 300-200)
 - 902 MHz: Sjeverna Amerka (regulatorni dokument FCC part 15)
- 333 kanala, širina kanala 100 Hz
- Osjetljivost prijamnika: -120 dBm/-142 dBm
- Snaga predajnika: +14 dBm, a u Sjevernoj Americi +22 dBm

Sigfox – sloj podatkovne poveznic



- MAC – okvir kod slanja (*uplink*)

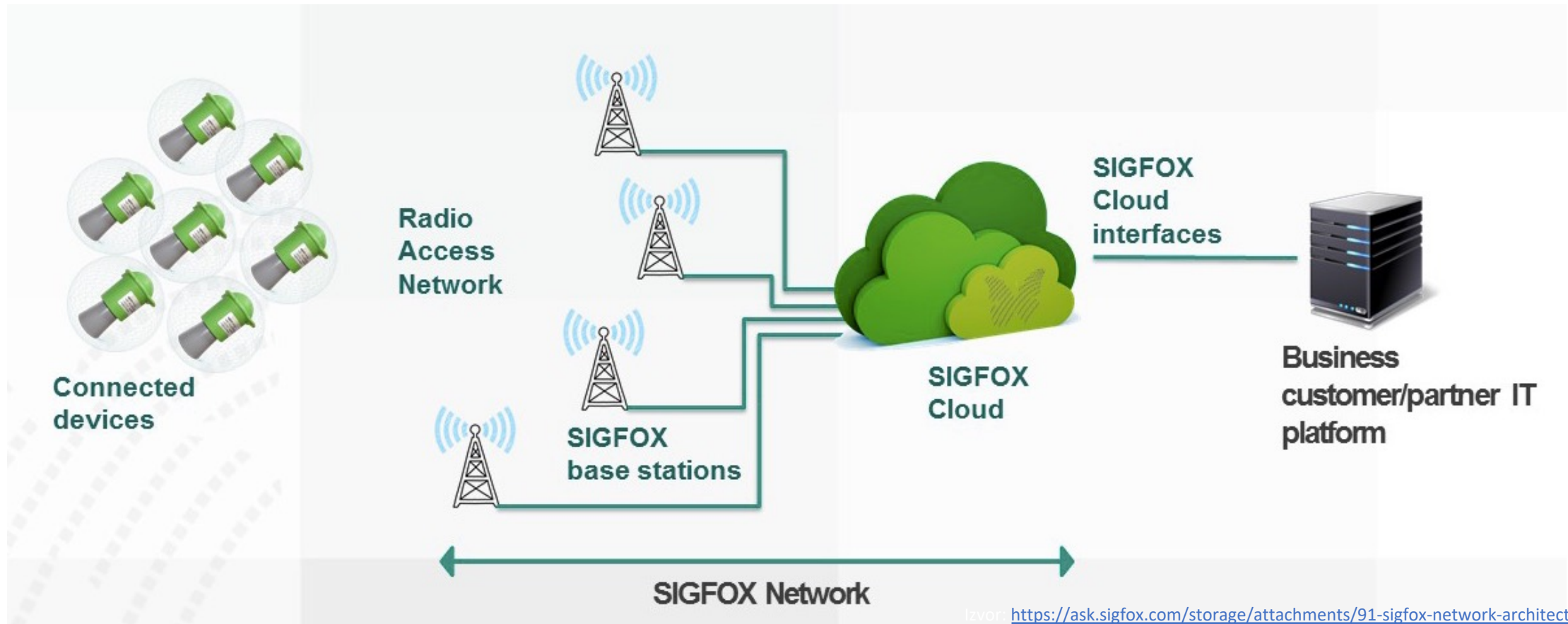
32 bita	16 bita	32 bita	0-96 bitova	varijabilno	16 bita
Preamble	Sink. okvira	ID krajnjeg uređaja	Sadržaj okvira	Autentikacija	FCS

- MAC – okvir kod primanja (*downlink*)

32 bita	13 bita	2 bita	8 bita	16 bita	varijabilno	0-64 bita
Preamble	Sink. okvira	Zastavice	FCS	Autentikacija	Kodovi greške	Sadržaj okvira

- FCS – Frame Check Sequence

Sigfox – topologija



Izvor: <https://ask.sigfox.com/storage/attachments/91-sigfox-network-architecture.jpg>

Sigfox – primjena



- Za slanje male količine podataka u praskovima (*burst*)
- Alarmi
- Jednostavna brojila
- Senzori okoline (ne velike preciznosti $\sim 0,004$)

LoRa i LoRaWAN

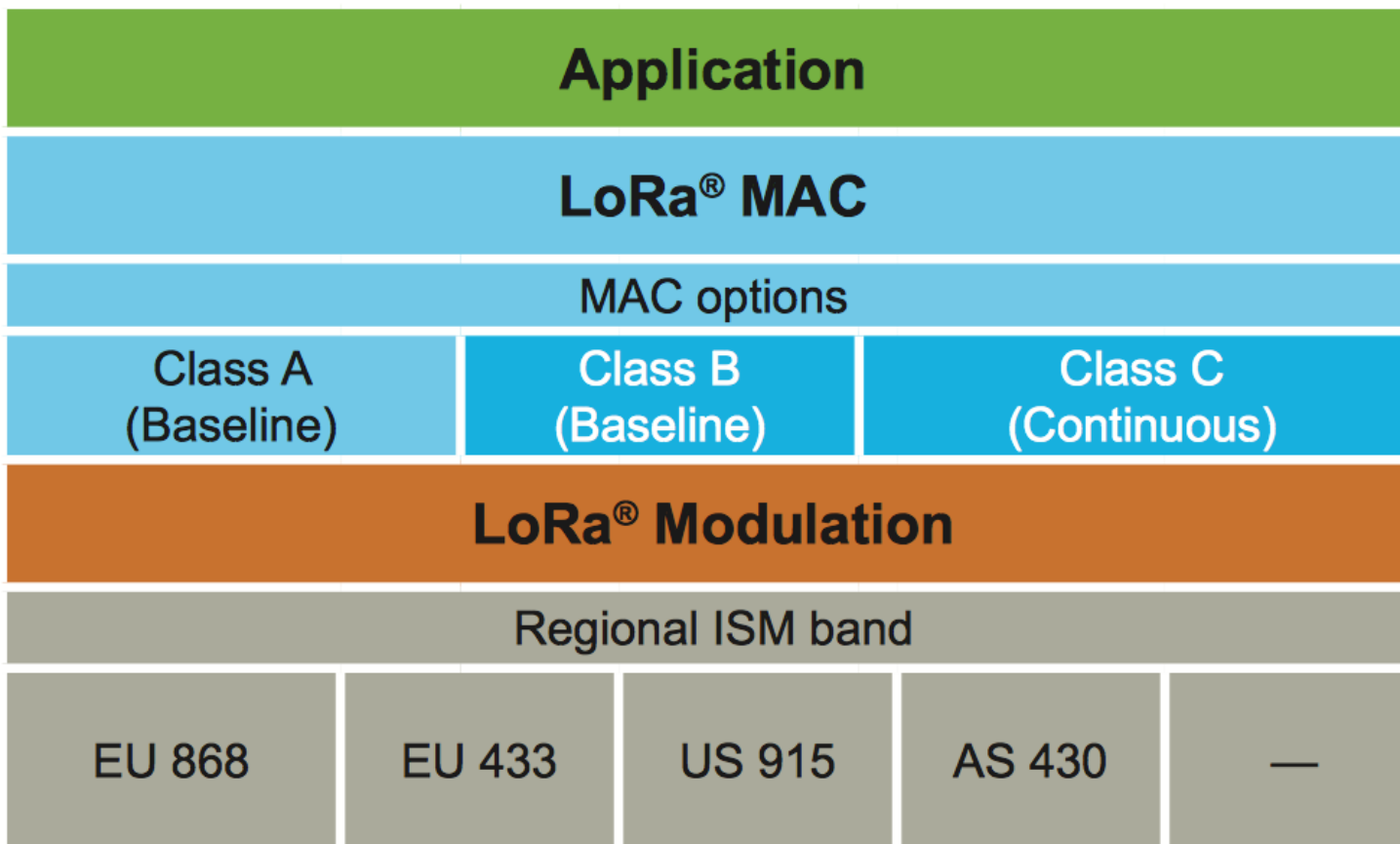


LoRa ili LoRaWAN



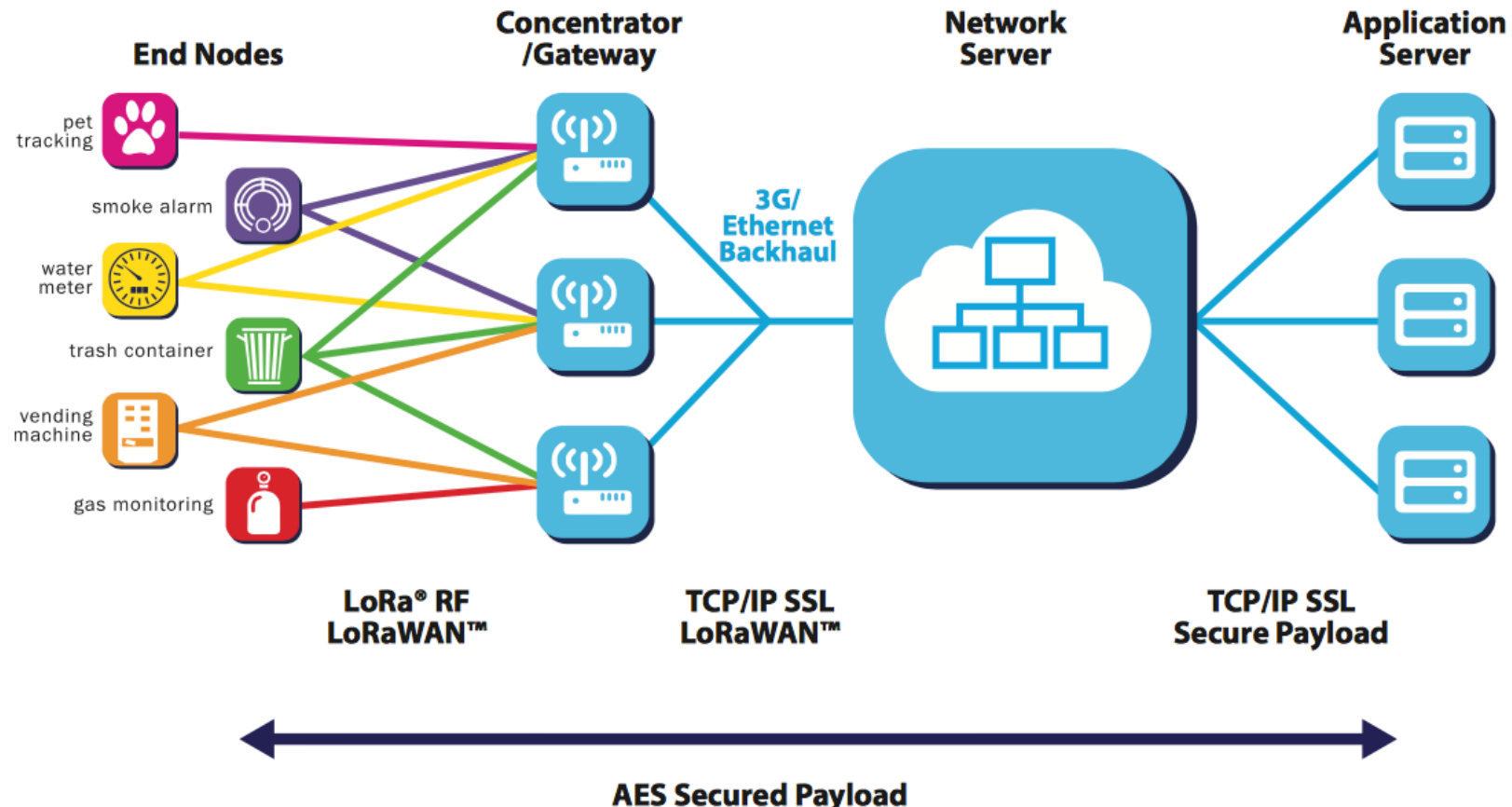
- LoRa – definira fizički sloj
- LoRaWAN – definira protokol i arhitekturu sustava

LoRa – arhitektura čvora



https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf

LoRa – mrežna arhitektura

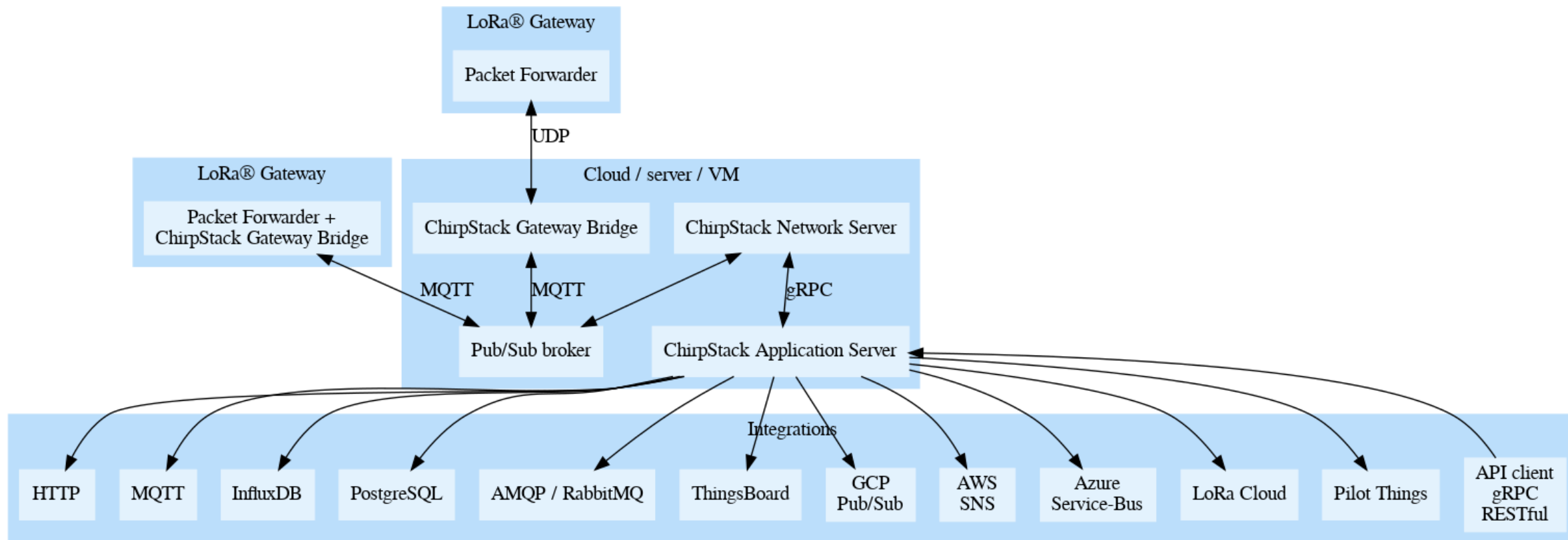


https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf

ChirpStack

- LoRaWAN Network Server složaj otvorenog koda
- komponente:
 - ChirpStack Gateway Bridge
 - za komunikaciju s mrežnim prilazom
 - ChirpStack Network Server
 - implementacija mrežnog poslužitelja
 - ChirpStack Application Server
 - implementacija aplikacijskog poslužitelja
 - ChirpStack Gateway OS
 - za izvođenje cijelog složaja na mrežnom prilazu koji je na Raspberry Pi-u
 - temelji se na Linuxu

ChirpStack - arhitektura



LoRa – klase uređaja



- Klasa A
 - Najbolje za napajanje baterijama
 - Svi uređaji u mreži podržavaju ovaj način rada
 - Slanje podataka na uređaj je moguće samo nakon uspješnog slanja
 - Koristi se mehanizam ALOHA
- Klasa B
 - Primanje u raspoređenom vremenskom periodu
 - Prima signal za sinkronizaciju od GW-a
- Klasa C
 - Kontinuirano ima otvoren prozor za primanje
 - Primanje se zaustavlja jedino kada se šalju podaci

Frekvencije rada



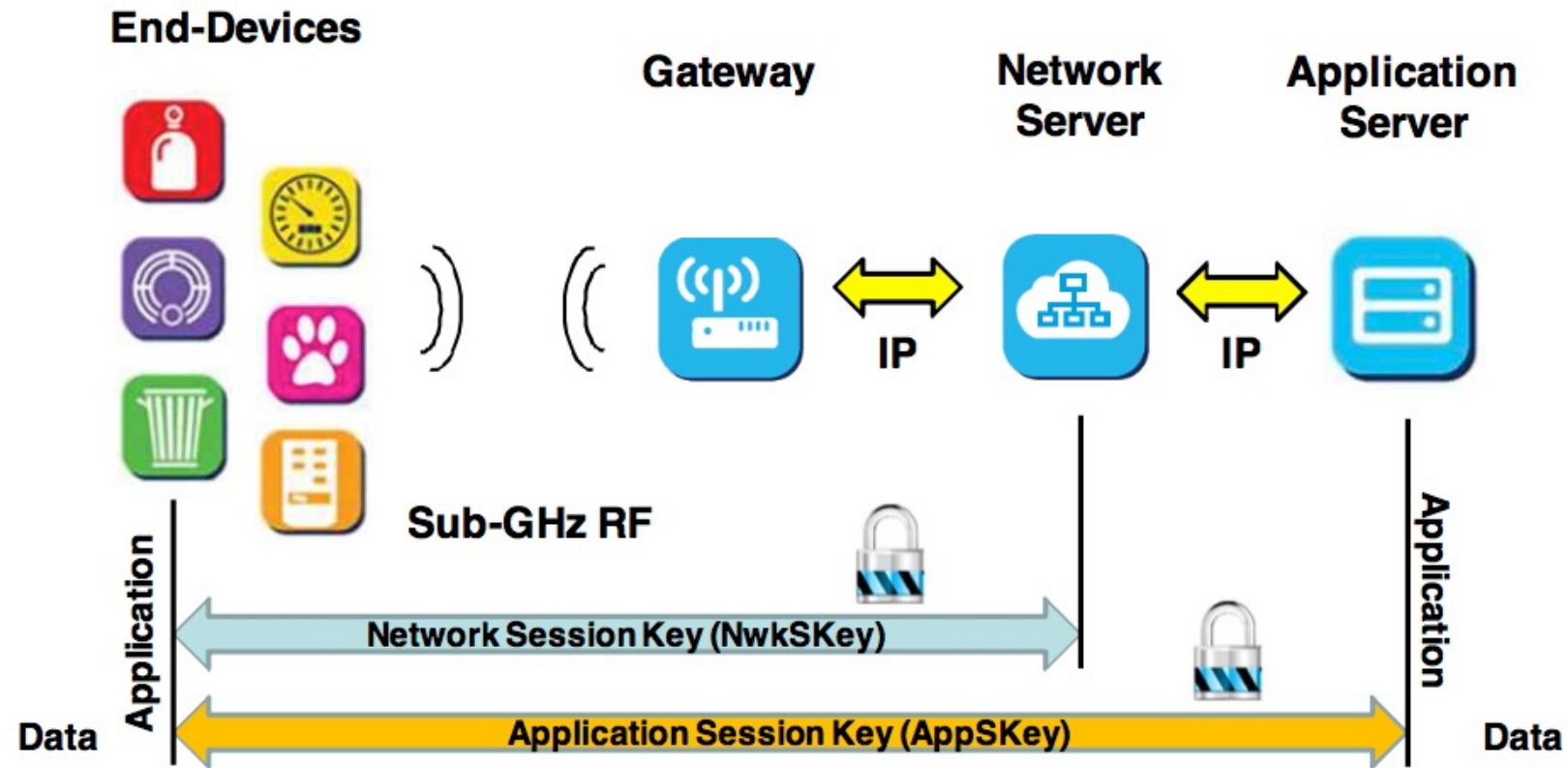
	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 + 8	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps- 50kbps	980bps-21.9kbps				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	155dB	157dB				

<http://www.3gppinfo.com/loralorawan-frequency-bands/>

Sigurnost



- Koristi se AES-128 kao i u IEEE 802.15.4



Aktivacija



- Prije nego se krajnji uređaj može koristiti u mreži LoRaWAN potrebno ga je aktivirati
- Informacije potrebne za aktivaciju su:
 - Adresa uređaja – Device Address (DevAddr)
 - 32 bita, jedinstven u mreži, šalje se u svakom okviru
 - Koriste ga: krajnji uređaj, mrežni poslužitelj i aplikacijski poslužitelj
 - Ključ mrežne sjednice – Network Session Key (NwkSKey)
 - Ključ od 128 bita – AES, jedinstven za svaki krajnji uređaj, omogućuje integritet komunikacije
 - Koriste ga: krajnji uređaj i mrežni poslužitelj
 - Ključ aplikacijske sjednice – Application Session Key (AppSKey)
 - Ključ od 128 bita – AES, jedinstven za svaki krajnji uređaj, koristi se zaštitu aplikacijskih podataka
 - Koriste ga: krajnji uređaj i aplikacijski poslužitelj

Aktivacija



- Dvije aktivacijske metode:
 1. Over-the-Air Activation (OTA A)
 - Temelji se na globalno jedinstvenom identifikatoru
 - Poruke se razmjenjuju bežično
 2. Activation By Personalization (ABP)
 - Dijeljeni ključevi se pohranjuju na krajnji uređaj u proizvodnji
 - Vrijede samo za specifičnu mrežu

http://www.chipcad.hu/letoltes/19065_IoT4_FinalSlides.pdf

Implementacije

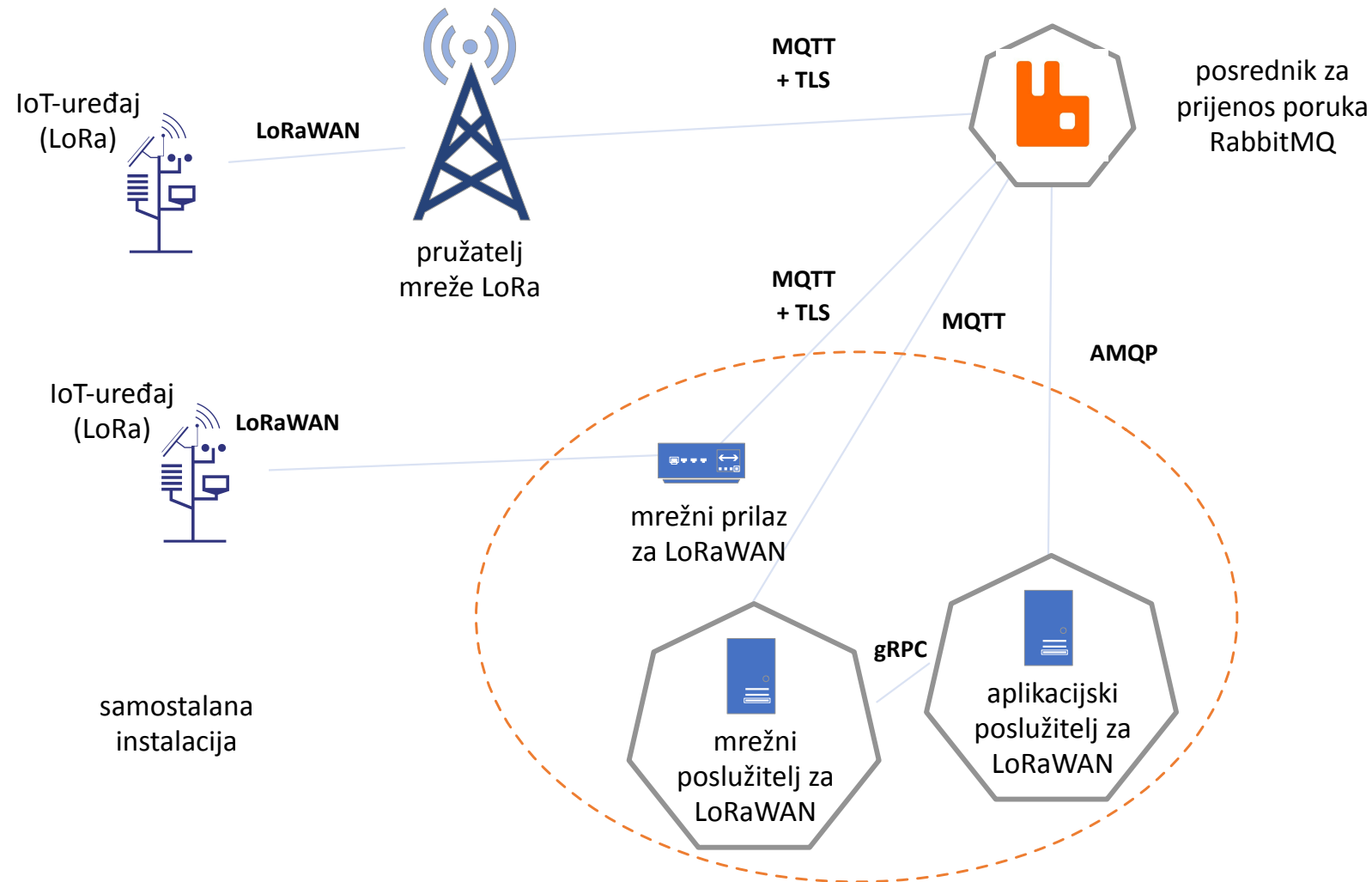


- Komercijalne:
 - Operatori pružaju mrežu i naplaćuju ju:
 - OiV (Hrvatska), KPN (Nizozemska), Orange (Francuska), Unidata (Italija), ...
 - Unidata (partner na projektu symbloTe) - operator LoRaWAN mreže u Italiji
 - <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/iot-network-lora-lorawan/>
- Javne:
 - Bilo tko se može uključiti i pružati pristup
 - Ažurni popis na <https://www.thethingsnetwork.org>
- Privatne:
 - Svatko može pokrenuti svoju privatnu mrežu

Implementacija LoRaWAN-a u IoT labu



IoT-polje



Projekti i studentski radovi s LoRaWAN-om

M2M Communications Challenges



- U suradnji s kompanijom Ericsson Nikola Tesla
- Od 2011. - svake godine druga tema
- Teme vezane uz Machine-to-Machine (M2M) komunikaciju
- 2017.
 - Uporedba LoRaWAN-a s NB-IoT-om, BLE, WiFi
 - Izrada prototipa s više tehnologija na jednom krajnjem uređaju
 - Odabir komunikacijske tehnologije ovisno o kontekstu

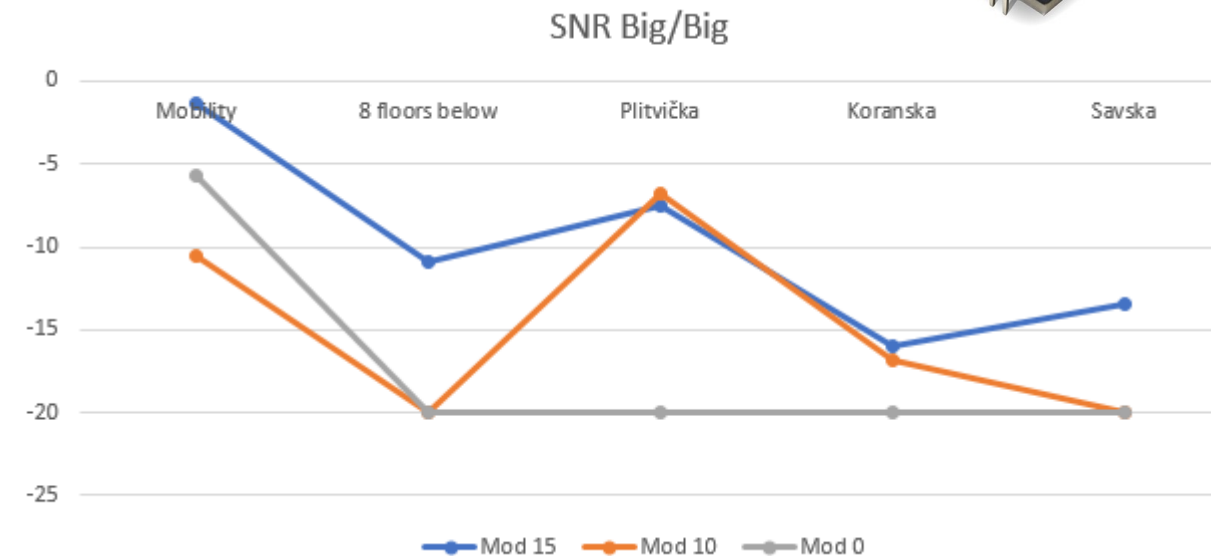
Mjerenje vanjskih prilika te praćenje potrošnje energije LoRa i LoRaWAN modula

- Studentski projekt na diplomskom studiju
 - Mateo Červar, Matija Cvetnić



Potrošnja energije koristeći *small* i *big* antene [mA]

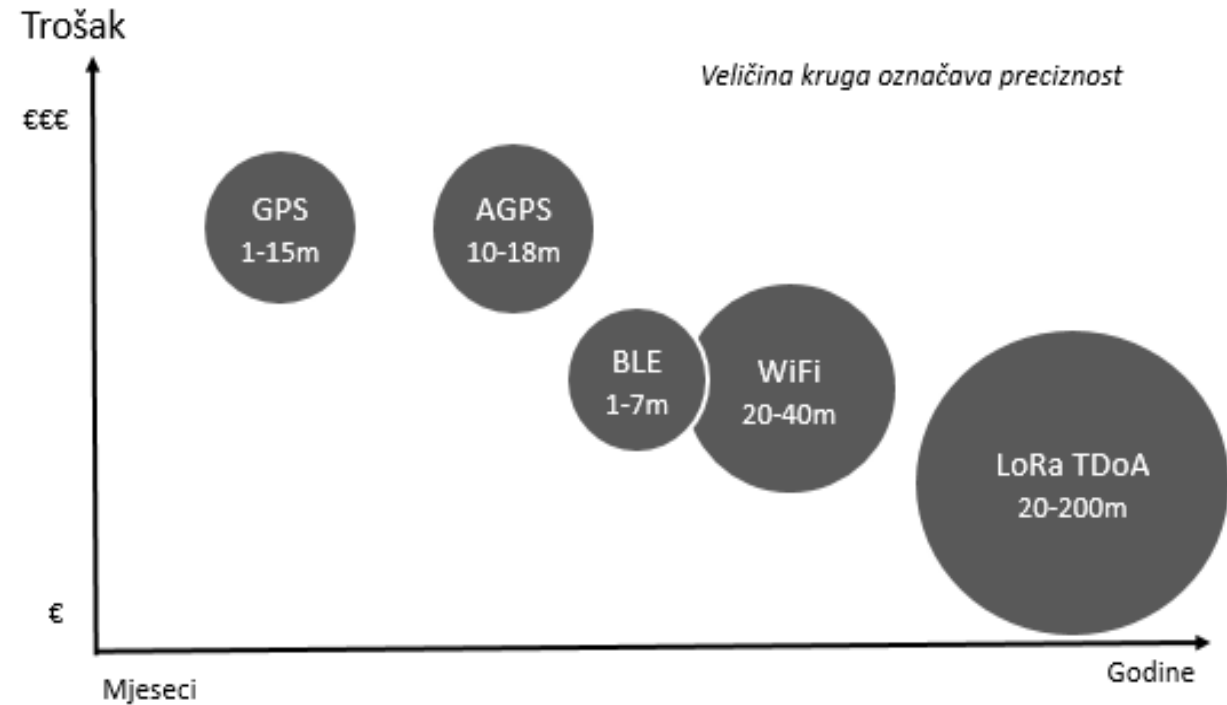
	Antenna size	Low (0)	High (10)	Max (15)
LoRa	Small	19.7	22.96	39.4
	Big	19.86	23.2	40.8
LoRaWAN	Small	17.74	32.66	39.34
	Big	18.56	33.02	40.08



Lociranje uređaja u Internetu stvari (1)



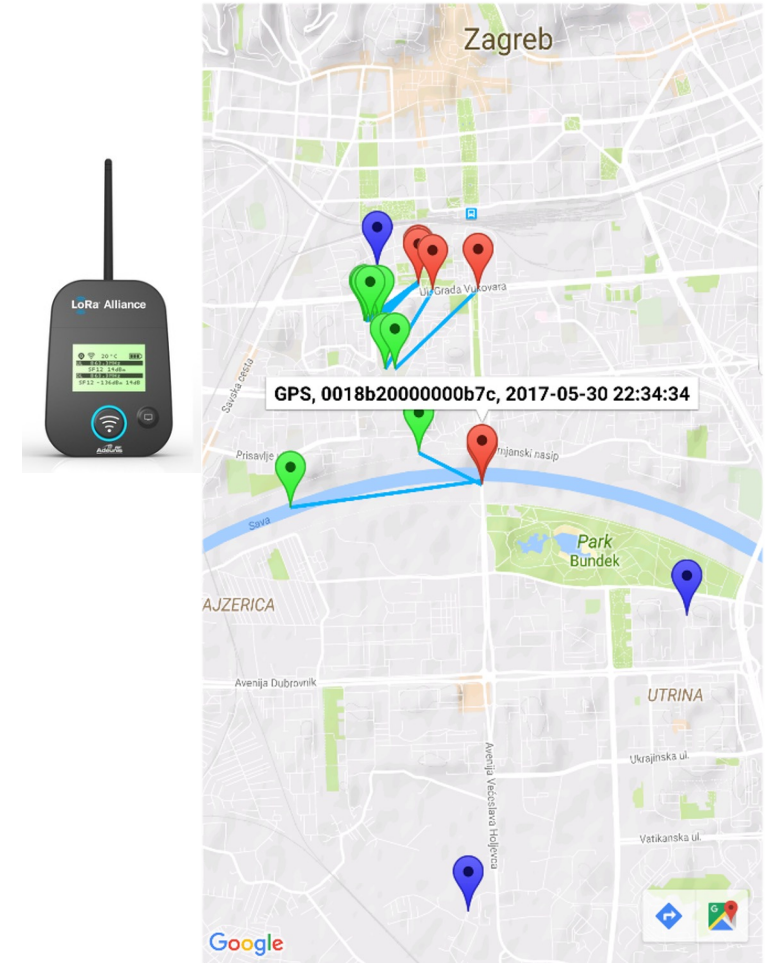
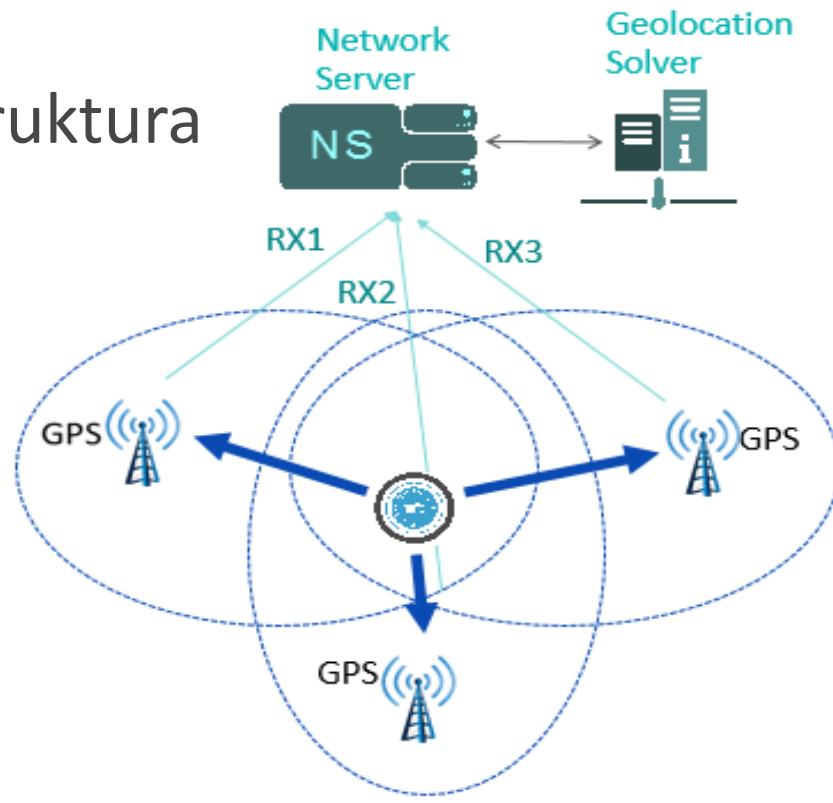
- Diplomski rad:
Mateo Červar



Usporedba tehnologija pozicioniranja

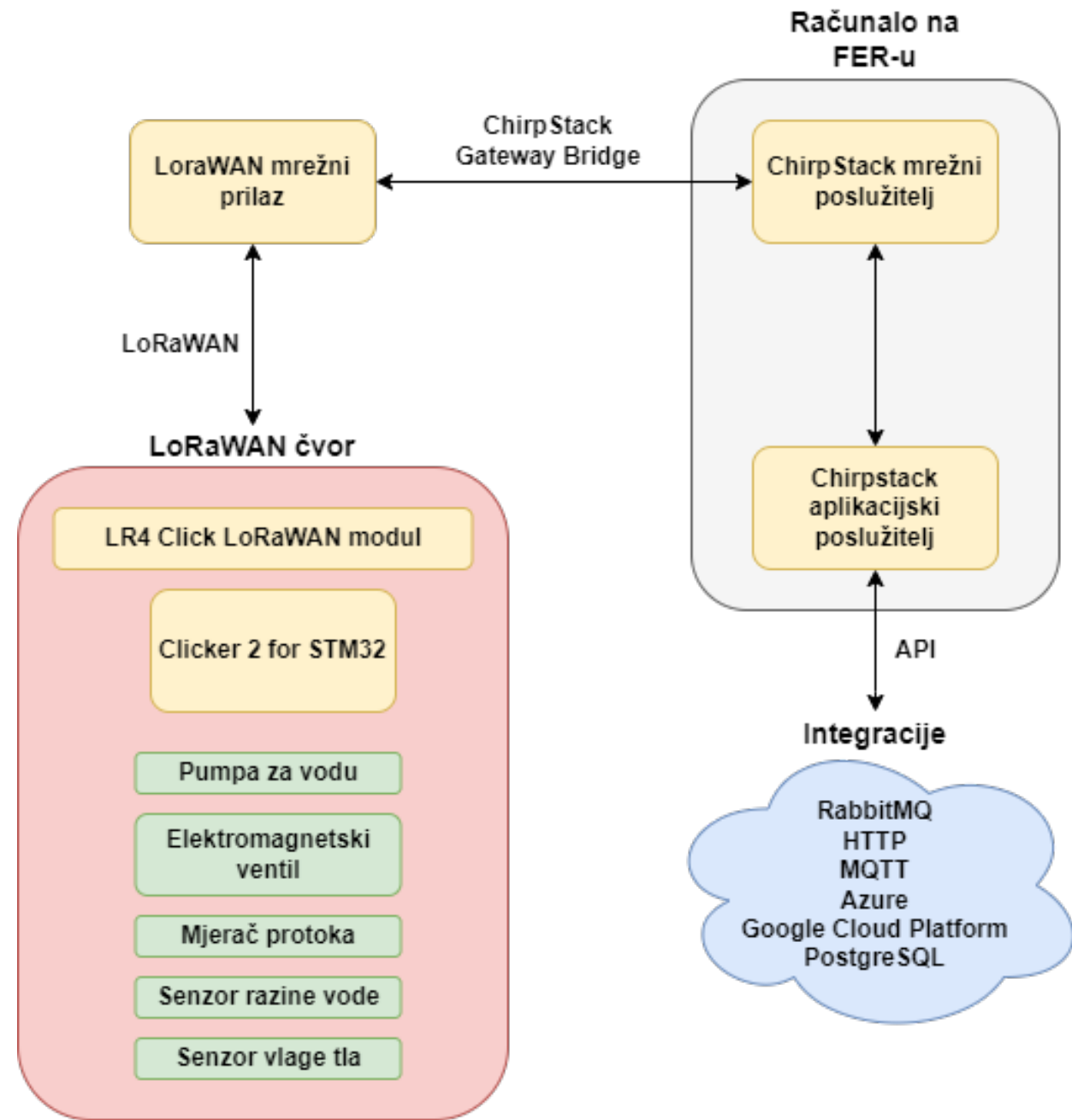
Lociranje uređaja u Internetu stvari (2)

- Diplomski rad: Mateo Červar
- Mrežna infrastruktura

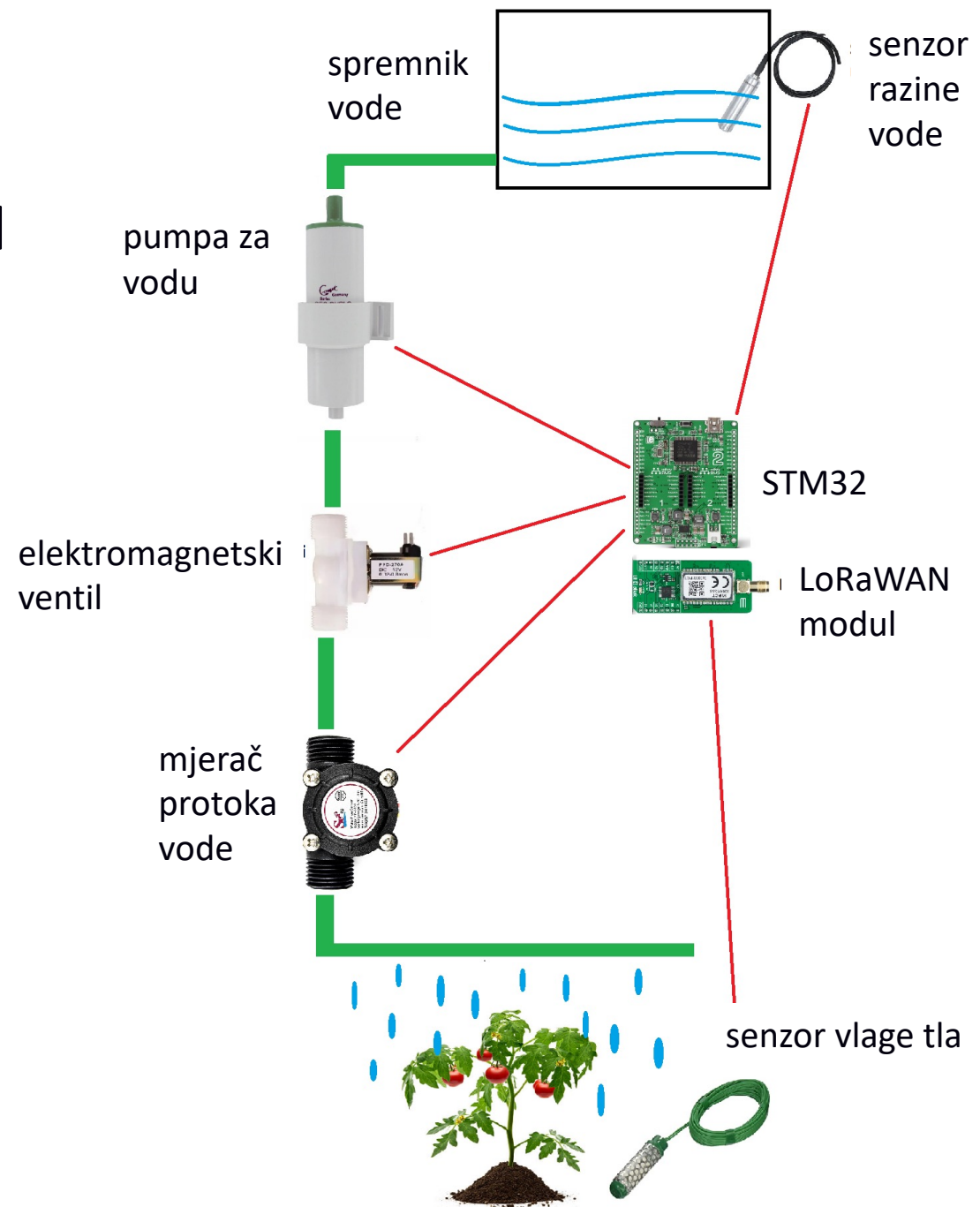
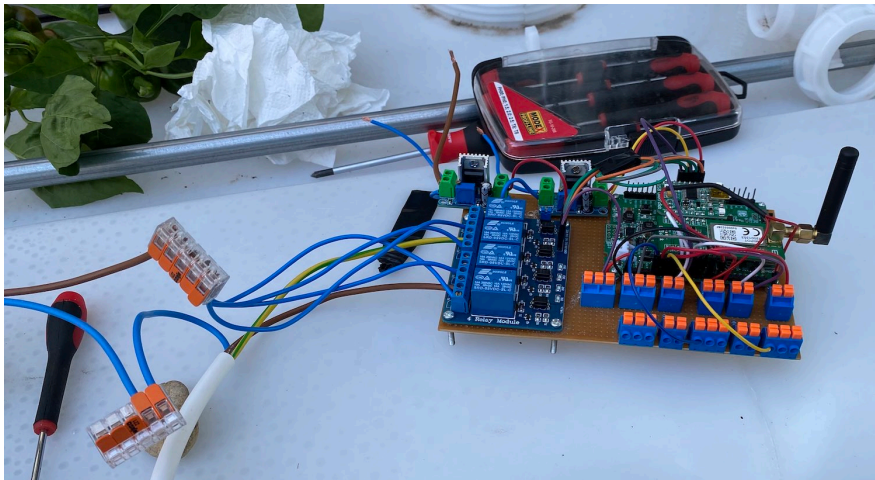


Prikupljanje podataka i aktuacija s uređajima u urbanom vrtu (1)

- Arhitektura



Prikupljanje podataka i aktuacija s uređajima u urbanom vrtu (2)



Pokretna mreža

Standardi i standardizacijska tijela

- ITU – International Telecommunication Union
 - Najviše definiraju ciljeve i standarde za uređaje koji će biti označeni sa 4G ili 5G
- 3GPP
 - Konzorcij koji definira tehnologije i nadogradnje
 - Sve je organizirano u izdanja (release):
 - Rel 8-9: LTE (2008., 2009.)
 - Rel 10-12: LTE Advanced (2011., 2012., 2015.)
 - Rel 12: **LTE-M (Cat 0)**
 - Rel 13-14: LTE Advanced Pro (2016., 2017.)
 - Rel 13: **LTE Cat-M1 (eMTC), NB-IoT (LTE Cat-NB ili NB1)**
 - Rel 14: Vehicle-to-Everything (V2X), poboljšanja za MTC, NB-IoT (NB2)
 - Rel 15: (2019.) – poboljšanja za MTC, 5G Vehicle-to-x service (V2X)
 - Rel 16: (2020.) – 5G expansion (advanced V2X, Industrial IoT, URLLC), 5G Efficiency (power consumption)

LTE-M

LTE Cat 0 – Release 12

- Smanjene brzine prijenosa na 1Mbps
- Half-duplex komunikacija
- Uveden Power Save Mode (PSM)
 - Uređaj može ući u duboki san i brzo se probuditi i povezati
 - Može se jednom dnevno buditi i slati podatke
 - Maksimalni period spavanja 12.1 dana (ovisi o mreži npr. 2 ili 4 sata)

LTE Cat-1 – Release 8

- Prvenstveno se koristi u SAD-u za M2M komunikaciju
- Veće brzine: 10Mbps (skidanje), 5Mbps (slanje)
- Može prenositi zvuk i video
- Manja potrošnja energije nego 4G-LTE
- Može se prebaciti na 3G ili 2G

LTE Cat-M1 (eMTC ili LTE-M) – Release 13

- eMTC – enhanced Machine Type Communication
- Smanjena širina pojasa sa 20MHz na 1,4Mhz → jednostavniji uređaji, manja potrošnja
- Smanjena izlazna snaga za 50%
- Brzine 375 Kbps ili 1 Mbps
- Primjena: V2V, zvuk
- Dodani mehanizmi za mogućnost kratkog spavanja uređaja (10,24s) → radio troši 15μA u prosjeku
- PSM iz Cat-0 se primjenjuje i ovdje

NB-IoT

NB-IoT (LTE Cat-NB ili NB1) – Release 13

- Ciljevi:
 - 10 godina trajanja baterija s kapacitetom 5 Wh
 - Dodatna pokrivenost prostora (+20 dB)
 - Cijena modula ~\$5
- Bitne promjene:
 - Širina kanala samo 180kHz → smanjenje troškova modula i potrošnje energije
 - Nema prijenosa zvuka ili videa
 - Nema pokretnosti između ćelija
 - Maksimalni gubitak signala (MCL – max. coupling loss) 164 dB što je slično LoRaWAN-u i Sigfoxu
 - Komunikacija prolazi u podrumima, tunelima
 - Povećan domet za 7x na otvorenom prostoru
- Brzina prijenosa: ~26Kbps *downlink*, ~62Kbps *uplink*

NB-IoT – smještaj kanala

- Između dva LTE kanala
 - U praznom dijelu koji nije iskorišten
 - Na mjestu GSM kanala
 - Neki GSM kanali se onda koriste za NB-IoT
 - Unutar LTE kanala
 - Multipleksiranje LTE-a i NB-a
- Teoretski omogućuje spajanje do 200.000 uređaja po ćeliji

NB-IoT (NB2) – Release 14

- Glavne nadogradnje:
 - preciznije pozicioniranje: OTDOA i E-CID
 - dodano višeodredišno razasijanje (*multicast*)
 - poboljšana mobilnost
 - moguće ponovno spajanje kada smo spojeni, nije potrebno ići u mod rada *idle*
 - povećane maksimalne brzine:
 - 127Kbps *downlink*, 159Kbps *uplink*
 - podrška za više (15) operatora (uz matičnog) → povećana gustoća uređaja 1M/km²
 - Nova klasa snage 14dBm → potrebne manje baterije

NB-IoT – prve instalacije 2017.

- DT – pokrenuto u 8 zemalja u EU (Njemačka, Nizozemska, Austrija, Hrvatska, Grčka, Mađarska, Poljska, Slovačka)
 - Primjene: praćenje stvari, pametno parkiranje, pametna brojila
- T-Mobile US, Ericsson, Qualcomm
 - Primjene: prikupljanje senzorskih podataka (temp., vlažnost, plinovi, ...), alarmiranje za poplave
- U-blox, PinMyPet, Huawei i operator Vivo: praćenje životinja
- China Mobile, ZTE – testiranje mreže na 200 mjesta
- Telia Norway – pilot projekt za praćenje 1000 ovaca u Norveškoj

NB-IoT moduli



- sixfab – [Arduino NB-IoT Shield](#) (80€→62€), [Raspberry Pi NB-IoT Shield](#) (80€)

- Ovo imamo u laboratoriju



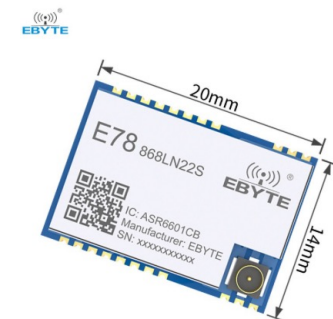
- [QUECTEL BG96 LTE CAT M1/CAT NB1/EGPRS](#) - ~30€

- [Dragino](#) - ~45\$ → 20€

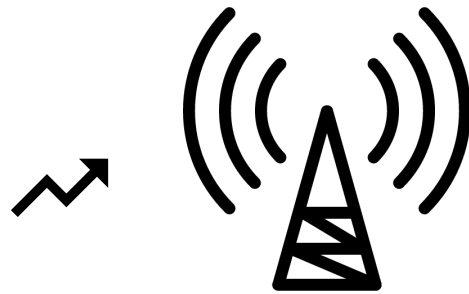
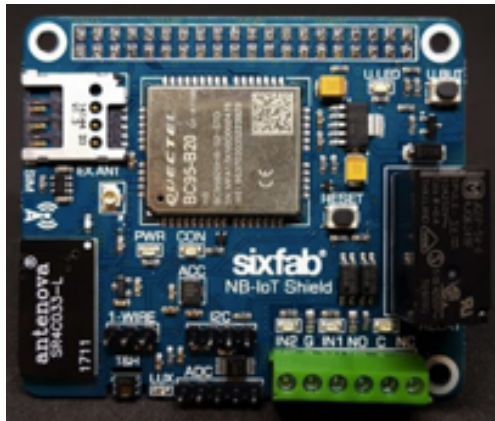
- Botletics SIM7000 LTE CAT-M1 NB-IoT Cellular - ~125\$→65\$

- ASR6601 LoRaWAN 868MHz SoC LoRa RF IoT Wireless Module Long Range Data Transceiver Development Board E78-868LN22S(6601) Ebyte – [AlliExpress](#) 8\$

- SIMCom SIM7070G – [AlliExpress](#) ~17€



NB-IoT arhitektura sustava



poslužitelj
IoT platform

Spajanje na mrežu

- Koriste se AT komande za komunikaciju s modulom

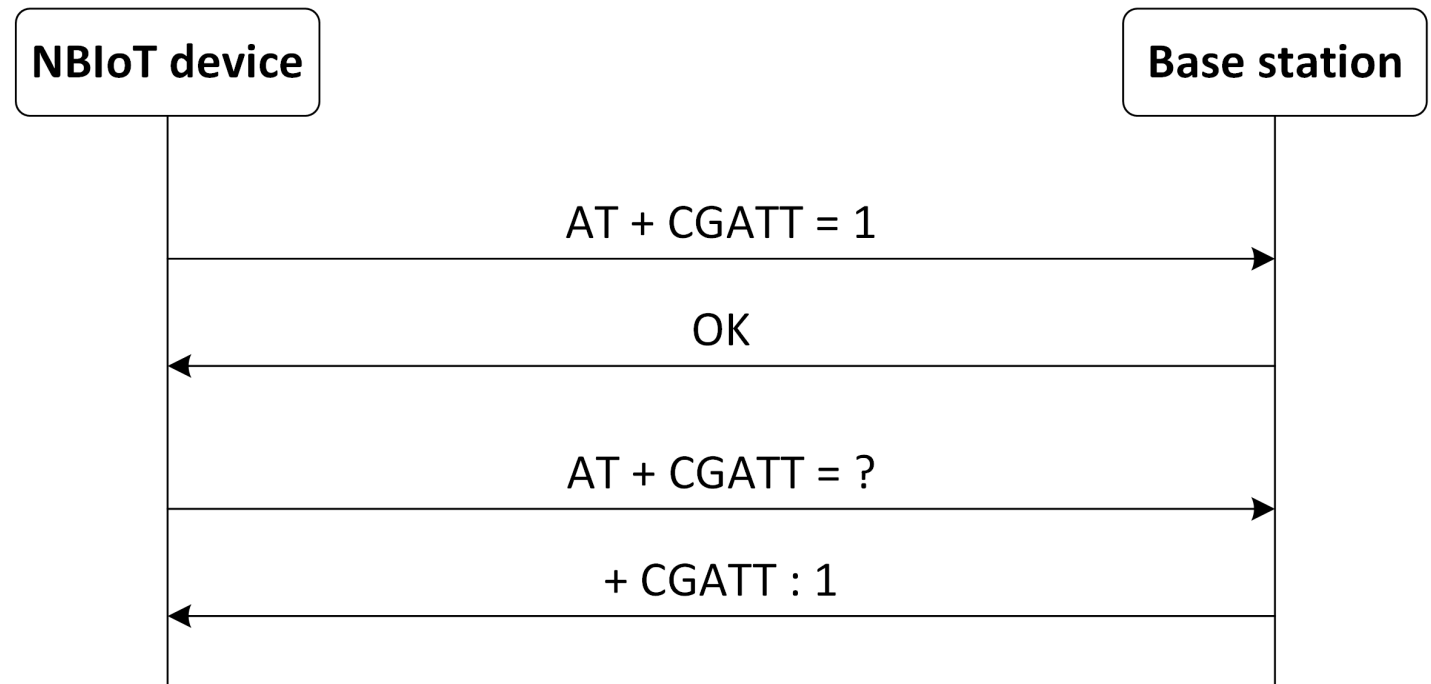
- CGATT – spajanje/odspajanje na/sa mrežu/e

- Format:

- AT+CGATT=<state>

- State:

- 0 – odspajanje
 - 1 – spajanje



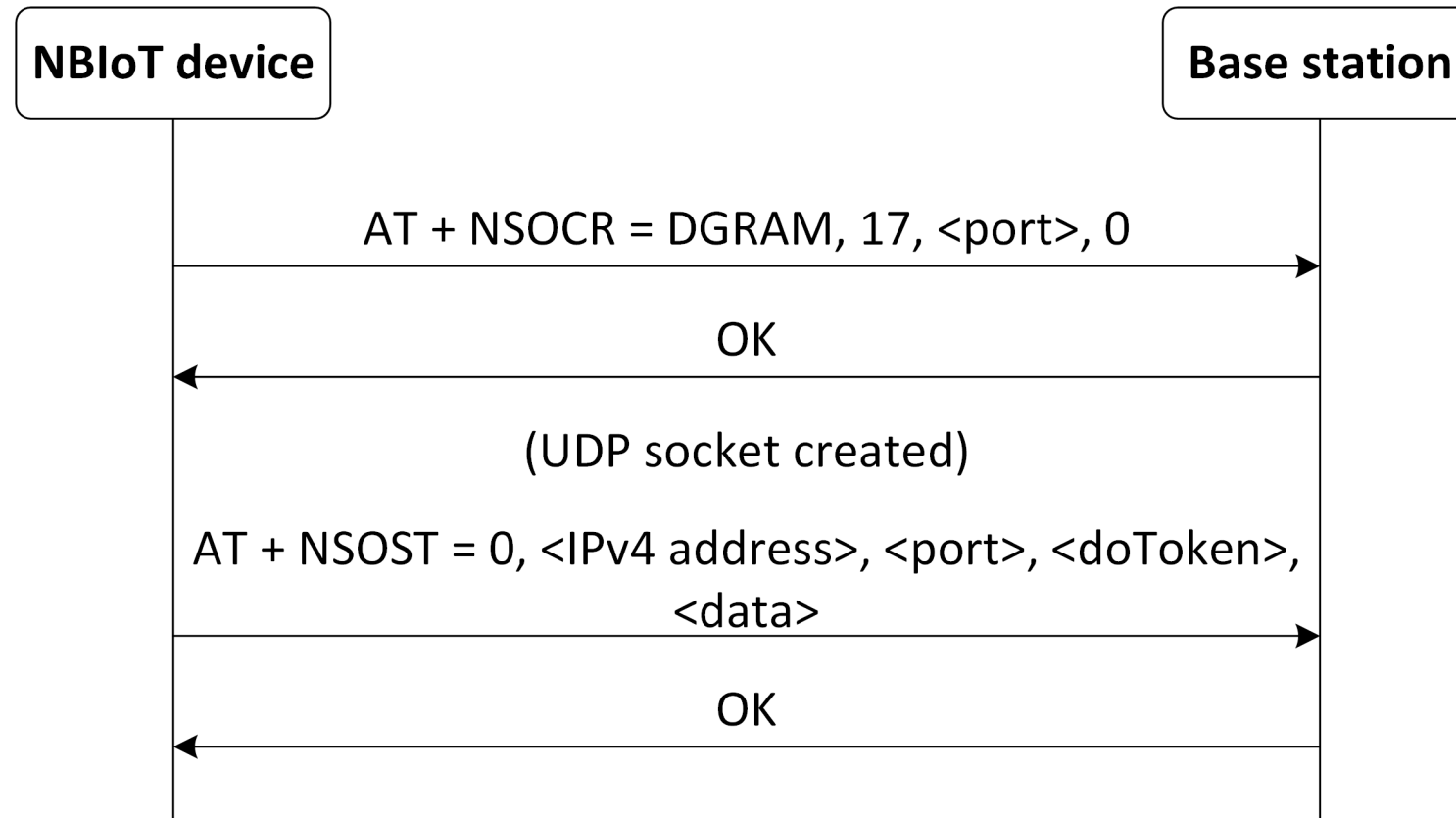
Kreiranje socketa

- AT+NSOCR – kreiranje socketa
 - Format: AT+NSOCR=<type>,<protocol>,<listen port>[,<receive control>]
 - Type – dozvoljeno jedino DGRAM
 - Protocol – broj protokola ([vidi](#)), za UDP je 17
 - Listen port – lokalna vrata na kojima sluša (0-65535)
 - Receive control
 - 1 – treba primiti odgovor (podrazumijevano)
 - 0 – ne treba odgovor
- AT+NSOST - slanje paketa
 - Format: AT+NSOST=<socket>,<remote_addr> ,<remote_port>, <length>,<data>
 - Socket – broj vraćen u komandi AT+NSOCR

Slanje UDP paketa

- AT+NSOST - slanje paketa
 - Format: AT+NSOST=<socket>,<remote_addr> ,<remote_port>, <length>,<data>
 - Socket – broj vraćen u komandi AT+NSOCR
 - Remote addr - IPv4 u notaciji s točkom (decimalno, oktavno ili hex)
 - Remote port – vrata na koja se šalje
 - Length – dužina u oktetima (max 512)
 - Data – podaci u HEX obliku
 - Primjer:
 - AT+NSOST=0,192.158.5.1,1024,2,AB30
 - Odgovor:
 - <socket>,<length>
 - OK

Dijagram kreiranja socketa i slanja



Primanje UDP paketa

- AT+NSORF – primanje UDP paketa
 - Format: AT+NSORF=<socket>,<req_length>
 - Socket – socket iz odgovora AT+NSOCR
 - Req length – max broj podataka koji će biti vraćen u broju okteta
 - Format odgovora: <socket>,<ip_addr>,<port>,<length>,<data>,<remaining_length>
 - Socket – socket
 - IP addr – adresa pošiljatelja
 - Length – dužina podataka
 - Data – podaci u hex stringu
 - Remaining length – količina podataka koje se može još pročitati za ovu poruku

Primjer komande:

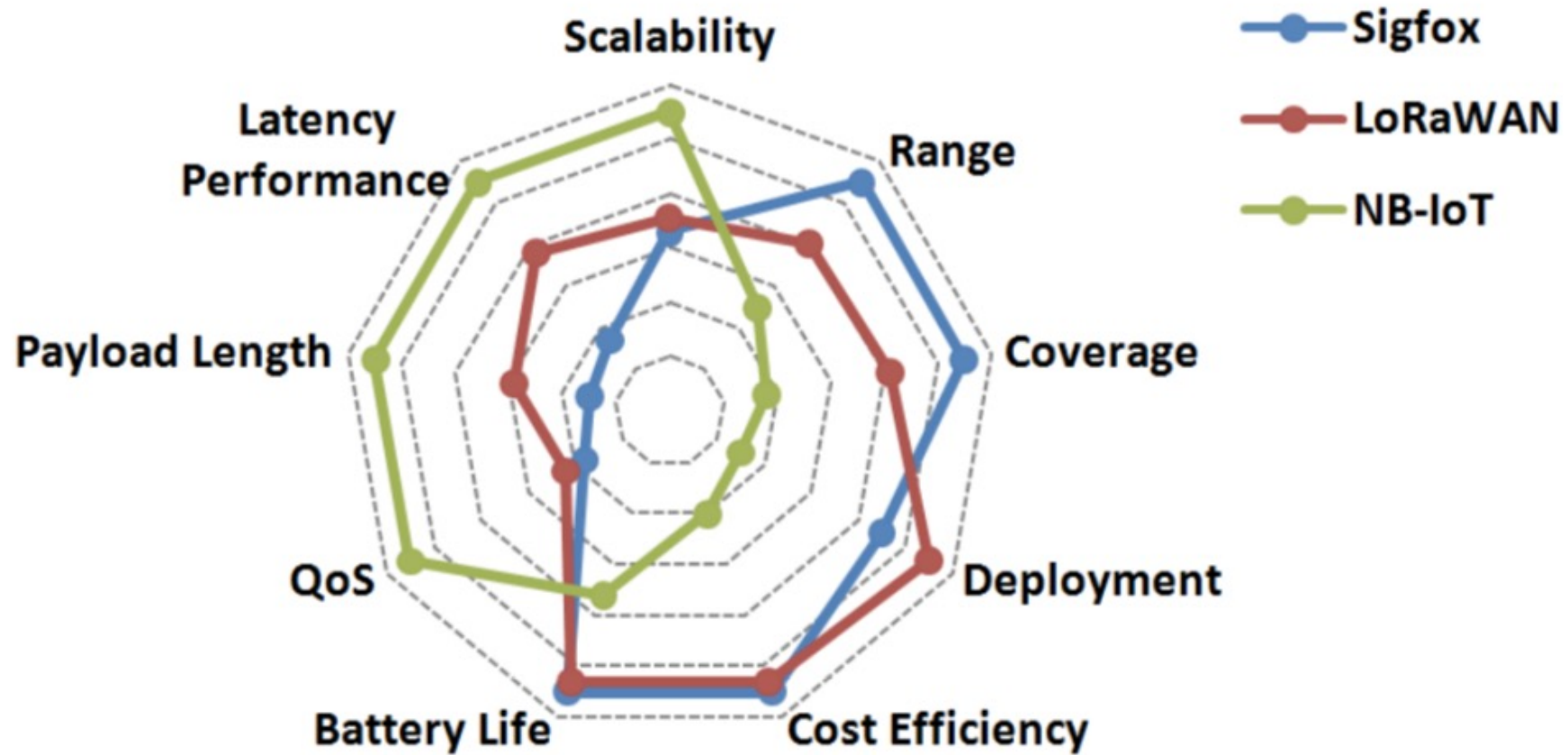
AT+NSORF=0,10

Odgovor:

0,192.168.5.1,1024,2,ABAB,0

OK

Usporedba tehnologija



<https://www.researchgate.net/publication/323907156> Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment Sigfox LoRaWAN and NB-IoT

Pitanja za ponavljanje

- Koja su osnovna svojstva LPWAN-a?
- Čemu služi Sigfox?
- Koliko se dnevno podataka može poslati pomoću Sigfoxa?
- Kakav je poslovni model Sigfoxa?
- Koja je razlika između tehnologija LoRa i LoRaWAN?
- Od koja 4 elementa se sastoji mrežna arhitektura LoRae?
- Objasnite razliku između 3 klase LoRa uređaja.
- Objasnite 2 načina aktivacije uređaja u LoRai.
- Čemu služi LTE-M?
- Koja je razlika između: LTE Cat-0, LTE Cat-1 i LTE Cat-M1?
- Koja su svojstva LTE Cat-M1?
- Što je NB-IoT i koja su mu svojstva?
- Kako se može smjestiti NB-IoT kanal?
- O čemu ovisi odabir neke tehnologije za neko IoT rješenje?