VIZUALIZACIJA SENZORSKIH PODATAKA S THE THINGS NETWORK PLATFORME

Karin, Dario

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:228:976861

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of University Department of Professional Studies

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnike

Dario Karin

Z A V R Š N I R A D

Vizualizacija senzorskih podataka s The Things Network platforme

Split, rujan 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnike

Predmet: Senzorske mreže

Z A V R Š N I R AD

Kandidat: Dario Karin

Naslov rada: Vizualizacija senzorskih podataka s The Things Network platforme

Mentor: dr.sc. Tonko Kovačević

Split, rujan 2020.

SADRŽAJ

1. UVOD **1**

2. KARAKTERISTIKE MREŽA DALEKOG DOMETA I NISKE POTROŠNJE ENERGIJE **2**

2.1. Dalek domet **2**

2.2. Mala potrošnja energije **2**

2.3. Niska cijena **3**

2.4. Skaliranje **3**

3. LoRa protokol **5**

3.1. Mogućnosti LoRa primopredajnika **7**

3.1.1. LoRa modem 8

3.1.2. Predajnik (*transmitter*) **10**

3.1.3. Prijemnik (*receiver*) **11**

4. IMPLEMENTACIJA SUSTAVA **13**

4.1. Arduino Pro Mini **13**

4.2. BMP280 senzor tlaka zraka **15**

4.3. AM2302 senzor temperature i vlažnosti **17**

4.4. Arduino IDE **18**

4.5. Programski kod **19**

5. VIZUALIZACIJA PODATAKA **26**

5.1. The Things Network mreža **26**

5.2. Cayenne platforma **31**

6. ZAKLJUČAK **35**

LITERATURA **36**

POPIS SLIKA **38**

POPIS TABLICA **39**

Sažetak

Vizualizacija senzorskih podataka s The Things Network platforme

U radu je opisan prikaz podataka sa senzorskog čvora na Cayenne platformi povezan The Things Network mrežom u stvarnim uvjetima. Osnovni cilj LoRa tehnologije je postizanje dugog dometa sa malom potrošnjom energije i cijenom. Komponente potrebne za realizaciju zadatka su: Arduino Pro Mini, BMP280 senzor tlaka zraka, AM2302 senzor temperature i vlažnosti, The Things Network mreža, Cayenne platforma. Tijekom testiranja u stvarnim uvjetima, paketi su se slali u vremenskom intervalu od 60 sekundi te je prikaz na Cayenne platformi uspješno uspostavljen. Uzimajući u obzir kako senzori imaju određeni postotak preciznosti i gubitka tijekom starenja komponenti utvrđeno je da sustav ispunjava sva očekivanja te je pogodan za upotrebu.

KLJUČNE RIJEČI: senzorski podaci, LoRa, CSS, vizualizacija

Summary

Visualization of sensor data from The Things Network platform

This paper describes the display of data from a sensor node on the Cayenne platform connected to The Things Network in real conditions. The main goal of LoRa technology is to achieve long range with low energy consumption and costs. The components needed to accomplish the task are: Arduino Pro Mini, BMP280 air pressure sensor, AM2302 temperature and humidity sensor, The Things Network account, Cayenne platform. During testing in real conditions, packets were sent in a time interval of 60 seconds and the display on the Cayenne platform was successfully established. Considering that the sensors have a certain percentage of accuracy and loss during the aging of the components, it was determined that the system meets all expectations and is suitable for use.

KEYWORDS: sensor data, LoRa, CSS, visualization

1. UVOD

U današnjem svijetu sve više se susrećemo sa velikim brojem uređaja za čiji rad je potrebna mreža dalekog dometa i niske potrošnje energije. Primopredajnici dalekog dometa poput LoRa (*Long Range)* mreže imaju dobre karakteristike rada sa uređajima koji se nalaze na velikim udaljenostima. Ova tehnologija zamjenjuje standardne bežične mreže koji imaju relativno kratak domet (do nekoliko stotina metara) te se koristi za mnogobrojne aplikacije poput pametnih gradova, logistike, poljoprivrede, pametnih mreža i slično.

Ovisno o zahtjevima sustava, može se kreirati mreža koja sa relativno malim troškovima što rezultira spajanjem senzorskog čvora te usmjerivanje preko platforme za slanje i primanje podataka odnosno bajtova do vizualnog prikazivanja podataka.

U ovom radu će se opisati sustav za prikaz podataka sa senzorskog čvora na Cayenne platformi povezan The Things Network mrežom. Komponente sustava koje su nužne za realizaciju rada su:

- Arduino Pro Mini
- BMP280 senzor tlaka zraka
- AM2302 senzor temperature i vlažnosti
- The Things Network mreža
- Cayenne platforma

U daljnjim poglavljima će se prvo opisati općenite karakteristike mreža dugog dometa (LoRa), zatim karakteristike prethodno navedenih komponenti i rezultati.

2. KARAKTERISTIKE MREŽA DALEKOG DOMETA I NISKE POTROŠNJE ENERGIJE

Prednost LoRa mreža proizlazi iz mogućnosti niske snage povezivanja velikom broju uređaja koji su raspoređeni na širem području uz minimalne troškove. Osnovni cilj je postići dalek domet sa što manjom potrošnjom energije.

2.1. Dalek domet

LoRa tehnologija dizajnirana je za pokrivanje velikog područja uz zadržavanje signala sa što boljom kvalitetom na teško dostupnim područjima. Uz ciljni dobitak od +20 dB, omogućuje se korisnicima uređaja spajanje na baznu stanicu na udaljenosti od nekoliko kilometara pa do nekoliko desetaka kilometara. Kako bi se cilj postigao, koriste se neke od sljedećih metoda:

1. Frekvencijsko područje od 1 GHz – nudi pouzdanu komunikaciju sa niskom potrošnjom.
2. Modulacijske tehnike – LoRa tehnologija je dizajnirana kako bi postigla snagu od 150 ± 10 dB što omogućuje domet od nekoliko kilometara pa do nekoliko desetaka kilometara. Fizički sloj postiže visoku brzinu prijenosa i smanjuje brzinu modulacije kako bi svaki bit (ili simbol) imao više energije. Signal se kodira na maloj širini pojasa koristeći tehniku uskopojasne modulacije (do 25 kHz).
   Tehnika širenja spektra šire uskopojasni signal preko šireg frekvencijskog pojasa sa jednakom snagom te je takav signal teže prisluškivati. LoRa tehnologija koristi spektar s izravnim nizom (*Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS*).

2.2. Mala potrošnja energije

Niskom snagom rada omogućuje se niska potrošnja energije te je moguć životni vijek AA baterije na matičnoj ploči u trajanju od 10 godina.

1. Topologija mreže – mrežnu topologiju je potrebno koristiti za proširenje pokrivenosti bežičnih mreža kratkog dometa za čiju se implementaciju koristi povezivanje na više pristupnih točaka. Sa ovakvim načinom povezivanja, ograničava se vijek trajanja baterija od samo nekoliko mjeseci do maksimalno godinu dana [1], [2].
   LoRa tehnologija zaobilazi ova ograničenja pristupom izravno na bazne stanice. Bazna stanica nudi brz pristup kada krajnji uređaji pošalju zahtjev.

2. Način rada – isključivanjem odnosno uključivanjem pojedinih komponenti uređaja može se postići smanjena potrošnja energije [3], [4]. Za primjer, ako aplikacija treba prenijeti podatke, krajnji uređaji se uključuju samo onda kada su podaci spremni za prijenos. Suprotno, kada je potrebno primanje podataka, krajnji uređaji će se aktivirati samo onda kada bazna stanica počne prenositi podatke.
3. Pojednostavnjivanje rada krajnjih uređaja – složene zadatke odrađuju bazne stanice kako bi se smanjila kompleksnost rada krajnjih uređaja. Bazne stanice imaju sposobnost slanja i primanja signala od više uređaja istovremeno te mogućnost interpretacije višestrukih ili ortogonalnih signala. Iz tog razloga krajnji uređaju mogu slati podatke preko bilo kojeg slobodnog kanala. Postoje još razne tehnike pojednostavnjivanja rada krajnjih uređaja, a neki od njih su: slanje podataka svako nekoliko minuta, slanje podataka jednom dnevno [5], [6].

2.3.Niska cijena

LoRa uređaji imaju mogućnost povezivanja velikom broju krajnjih uređaja uz niske troškove hardvera do 5$ [7], [8], [9] uz pretplatu za povezivanje manjoj od 1$.
Za postizanje niskobudžetne cijene uzimaju se u obzir još neke tehnike i mehanizmi:

1. Manja kompleksnost hardvera – s obzirom na bežične tehnologije manjeg dometa, primopredajnici LoRa trebaju obraditi manje kompleksne oblike valova. Fokus je na velikom broju priključenih krajnjih uređaja.
2. Minimalna infrastruktura – jedna bazna stanica može povezati nekoliko desetaka tisuća krajnjih uređaja

2.4. Skaliranje

LoRa tehnologija mora omogućiti rad sa povećanim i gustim brojem uređaja. Neke od tehnika koji rješavaju ovaj problem su:

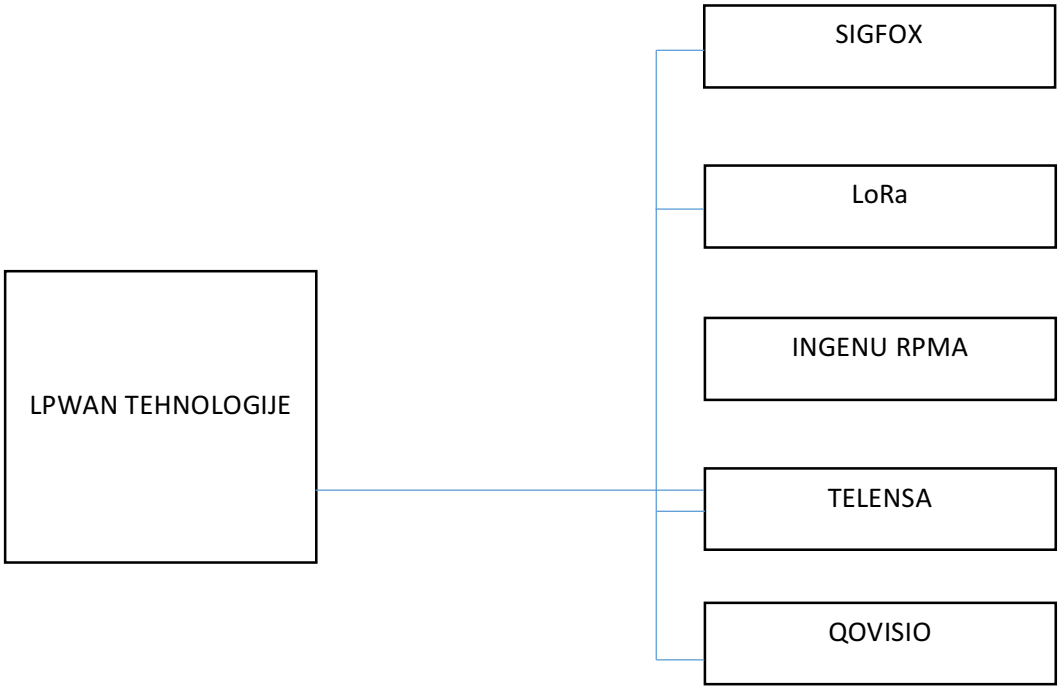
1. Tehnike raspoznavanja – korištenjem više kanala omogućuje rad sa većim brojem uređaja. LoRa tehnologija koristi višekanalne i višenamjenske sustave za paralelne prijenose.
2. Veća gustoća – gušćim rasporedom baznih stanica omogućuje veću gustoću uređaja. Korištenjem ove tehnike moguća je pojava smetnji između stanica i krajnjih uređaja.

3. Prilagođeni odabir kanala i brzine prijenosa podataka – sustavi koji imaju velik broj uređaja trebaju biti optimizirani za kvalitetnu i energetski učinkovitu komunikaciju. Prilagođavanjem modulacije te odabirom drugih kanala za postizanje veće udaljenosti i snage prijenosa zahtjeva kontinuirano praćenje kvalitete povezanosti između krajnjih uređaja i mreže.

   Ukoliko bazna stanica u nekom trenutku nema mogućnost slanja povratne informacije o kvaliteti komunikacije onda se isti paket šalje više puta preko različitih kanala sa ciljem da bar jedna kopija uspješno stigne do bazne stanice. Na ovaj način je postignuta veća pouzdanost komunikacije. Također postoji opcija da bazna stanica automatski bira optimalni kanal i optimalnu brzinu prijenosa podataka.

3. LoRa protokol

Postoji nekoliko tehnologija koje karakteriziraju tehničke mogućnosti opisane u prethodnom poglavlju prikazane na slici 3.1. i tablici 3.1 ispod. S obzirom da će se u ovom radu koristiti samo jedna od tih tehnologija (LoRa), u nastavku slijede njegove karakteristike.



Slika 3.1. LPWAN tehnologije [10]

Tablica 3.1. Tehničke specifikacije različitih LPWAN tehnologija [10]

	SIGFOX	LORAWAN	INGENU	TELENSA
Modulacija	UNB DBPSK(UL), GFSK(DL)	CSS	RPMA-DSSS(UL), CDMA(DL)	UNB 2-FSK
Grupa	SUB-GHZ ISM:EU (868MHz), US(902MHz)	SUB-GHZ ISM:EU (433MHz 868MHz), US (915MHz), Asia (430MHz)	ISM 2.4GHz	SUB-GHZ grupe uključuju ISM:EU (868MHz), US (915MHz), Asia (430MHz)
Brzina prijenosa podataka	100 bps(UL), 600 bps(DL)	0.3-37.5 kbps (LORa), 50 kbps (FSK)	78kbps (UL), 19.5 kbps(DL) [39]	62.5 bps(UL), 500 bps(DL)
Domet	10 km (URBAN), 50 km (RURAL)	5 km(URBAN), 15 km (RURAL)	15 km (URBAN)	1 km (URBAN)
Broj kanala/ortogonalnih signala	360 kanala	10 u EU, 64+8(UL) i 8(DL) u US plus multiple SFs	40 1MHz kanali, do 1200 signala po kanalu	više kanala
Simetrija veze	×	✓	×	×
Unaprijed ispravljanje pogreške	×	✓	✓	✓
MAC	rad bez ALOHA	rad bez ALOHA	CDMA	
Topologija	zvijezda	zvijezda	zvijezda	zvijezda
Prilagodljiva brzina prijenosa podataka	×	✓	✓	×
Duljina opterećenja	12B(UL), 8B(DL)	do 250B (ovisno o SF & regiji)	10KB	
Isporuka	Krajnji uređaji se ne pridružuju jednoj baznoj stanici	Krajnji uređaji se ne pridružuju jednoj baznoj stanici	✓	
Provjera i enkripcija	enkripcija nije podržana	AES 128b	16B hash, AES 256b	
Online ažuriranje	×	✓	✓	✓
SLA podrška	×	×	×	×
Lokalizacija	×	✓	×	×

LoRa (skraćenica za duge domete) tehnologija postala je današnjim standardnom za *Internet of Things* (IoT) mreže širom svijeta, a razvila ju je tvrtka Semtech Corporation. Ovom se tehnologijom rješavaju mnogi današnji izazovi u području energetike, infrastrukture, poljoprivrede, proizvodnje, pametnih gradova i slično. LoRa uređaji stvaraju pametniji svijet sa više od 158 milijuna uređaja koji su povezani s mrežama u 92 države [9].

LoRa je tehnologija fizikalnog sloja koja modulira signale u pojasnom području od 1 Ghz koristeći vlastitu tehniku spektra raspršenja (CSS). U odnosu na druge tehnologije, LoRa ima značajne prednosti u blokiranju i selektivnosti različitih signala uz istovremeno kombiniranje optimalne potrošnje i interferencije. Tehnika proširenog spektra (CSS) osigurava dvosmjernu komunikaciju koja širi ulazni signal preko cijele širine pojasa kanala.

Signal koji se dobije ima karakteristiku šuma što dodatno otežava njegovu detekciju. Dobitak obrade takvog signala je otpornost na smetnje i šum.

Odašiljač ima promjenjivu frekvenciju protekom vremena bez promjene faze između susjednih simbola. Prijemnici mogu dekodirati signal od nekoliko dB ispod razine signala šuma.

LoRa sadrži metodu ispravljanja grešaka (*Forward Error Correction - FEC*) kako bi se dodatno povećala osjetljivost prijemnika te ima faktor širenja (7-12) za optimalnu udaljenost i brzinu prijenosa podataka. Brzina prijenosa može iznositi od 300 b/s do 37.5 kb/s ovisno o faktoru širenja i pojasnoj širini kanala.

Vršena su testiranja u Irskoj [12] gdje se LoRa postavila u realnim uvjetima. Bazna stanica postavljena je na 470 m nadmorske visine što može pokriti područje od $1380\,km^2$ te je SIGFOX tehnologija osigurala vezu na udaljenosti od 25 km.

Drugo testiranje [13] je rezultiralo između 15km i 30km raspona komunikacije za primopredajnik LoRa te omjer uspješno primljenih poruka sa omjerom slanja paketa iznosio je 96.7%.

3.1. Mogućnosti LoRa primopredajnika

Za postizanje kvalitetne veze i otpornosti na interferenciju, LoRa koristi nekoliko modulacija poput OOK, FSK, GFSK, MSK i GMSK.

OOK označava najjednostavniji oblik ASK modulacije koji digitalne podatke prikazuje s obzirom na postojanje ili nepostojanje signala prijenosa. FSK modulacija frekvencije digitalne podatke prenose putem diskretnih promjena frekvencija signala prijenosa. GFSK prenosi

impulse kroz Gaussov filter prije postupka modulacije. MSK je tip kontinuirane fazne modulacije. GMSK modulaciju karakterizira prijenos podataka s učinkovitom upotrebom spektra signala bez faznih diskontinuiteta.

U nastavku slijede tehničke karakteristike predajnika i prijemnika i LoRa modema.

3.1.1. LoRa modem

Broj simbola po bitu koji se palju jednak je faktoru pirenja koji se računa kao omjer nominalne brzine simbola i brzine čipa. Brzina se označava sa $R_{s.}$

Tablica 3.2. Raspon proširenja spektra [14]

Faktor proširenja	Faktor proširenja (chips/symbol)	LoRa Demodulator SNR
6	64	-5 dB
7	128	-7.5 dB
8	256	-10 dB
9	512	-12.5 dB
10	1024	-15 dB
11	2048	-17.5 dB
12	4096	-20 dB

Tablica 3.2. daje pregled signal-šum omjera i brzine slanja simbola s obzirom na faktor proširenja. Povećanjem faktora proširenja za 1, slanje simbola se 2 puta povećava uz promjenu od 2,5 dB signal-šum omjera. Osjetljivost se povećava s povećanjem signal-šum omjera u negativnoj vrijednosti.

LoRa modem koristi cikličko kodiranje koje unaprijed detektira i ispravlja pogreške. Taj način pruža kvalitetniji prijenos signala.

Tablica 3.3. Cikličko kodiranje[14]

Kodni omjer	Ciklički kodni omjer	Omjer preteka
1	4/5	1,25
2	4/6	1,5
3	4/7	1,75
4	4/8	2

Uz kvalitetno ispravljanje pogrešaka signala postiže se pouzdanost veze kod prisutnosti smetnji.

Osjetljivost će se smanjivati sa povećanjem propusnosti signala što daje povećanje efektivne brzine prijenosa podataka uz smanjivanje vremena prijenosa. Tablica 3.4. prikazuje brzine prijenosa bitova za pojedina frekvencijska područja.

Tablica 3.4. LoRa mogućnosti pojasne širine [14]

Širina pojasa (kHz)	Faktor proširenja	Kodni omjer	Nominalni rb (bps)
7.8	12	4/5	18
10.4	12	4/5	24
15.6	12	4/5	37
20.8	12	4/5	49
31.2	12	4/5	73
41.7	12	4/5	98
62.5	12	4/5	146
125	12	4/5	293
250	12	4/5	586
500	12	4/5	1172

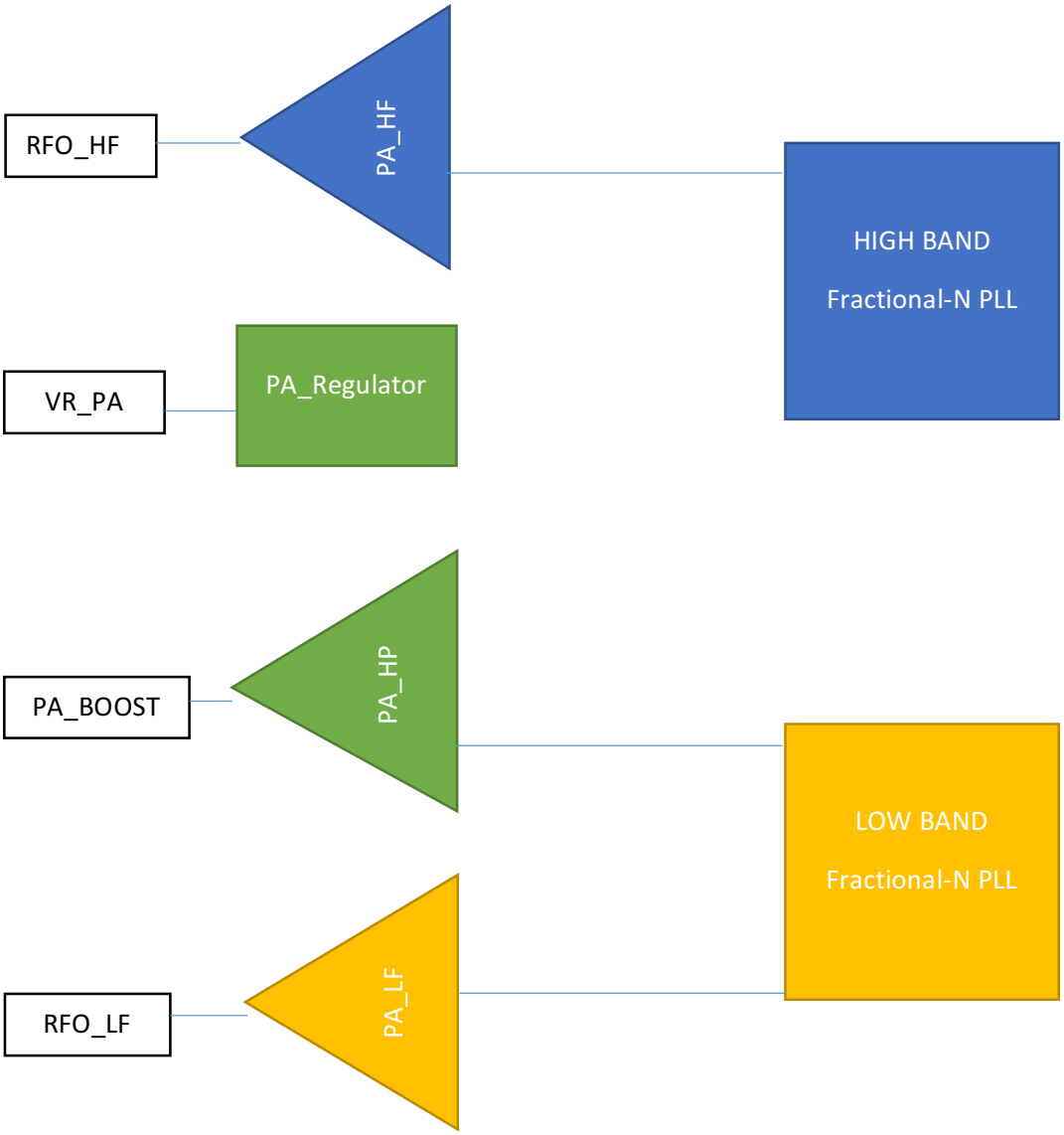
Korisnik može definirati brzinu prijenosa (R_s) koja se računa prema formuli:

$$R_s = \frac{BW}{2^{SF}}$$

gdje je *BW* programirana širina pojasa te *SF* faktor raspršenja.

3.1.2. Predajnik (*transmitter*)

Predajnik LoRa se sastoji od sintetizatora frekvencije, modulatora i snage pojačala. Shematski prikaz predajnika je vidljiv na slici 3.2.



Slika 3.2. Unutarnja konfiguracija predajnika [14]

Oznake PA_HR i PA_LF su pojačala koja se mogu programirati u koracima od 1 dB u rasponima od -4 dBm do +14 dBm uz opterećenje od 50 Ω. Ovakava postavka rezultira smanjenom potrošnjom struje. PA_LF obuhvaća niže frekvencije do 525 MHz, dok PA_HR obuhvaća gornje frekvencije od 779 MHz. Za najbolji omjer izlazne i ulazne snage odnosno najbolje efikasnosti se uzima rad pri 3.3V. PA_HP (mod visoke snage) koji je spojen na PA_BOOST pin pokriva sve pojasne frekvencije tog čipa.

Tablica 3.5. Načini pojačanja snage [14]

PaSelect	Mod	Raspon snage	Pout formula
0	PA_HF or PA_LF on RFO_HF or RFO_LF	-4 to +15dBm	Pout=Pmax-(15-OutputPower) Pmax=10.8+0.6*MaxPower [dBm]
1	PA_HP on PA_BOOST, any frequency	+2 to +17dBm	Pout=17-(15-OutputPower) [dBm]

3.1.3. Prijemnik (*receiver*)

Prijemnik LoRa ima digitalni prijemnik s analognim ili digitalnim pretvaračem. LoRa može demodulirati ASK, OOK, (G) FSK i (G) MSK modulaciju. Za postizanje veće fleksibilnosti programiranja, koristi se digitalni način upravljanja paketom, sinkronizacije te demodulacije.

Dobitak signala se poboljšava tako što prijemnik ima automatsku kalibraciju čime se poboljšava mjerenje RSSI parametra. RSSI parametar je omjer ulazne snage signala na RF ulaznom priključku koja je izmjerena unutar pojasne širine prijemnika.

RssiValue označava snagu signala te je njegova vrijednost izražena u jedinicama dBm i razlučivosti od 0,5 dB. Formula za izračun vrijednosti registra na apsolutnoj razini ulaznog signala na RF ulaznom priključku je:

$$\text{RssiValue} = -2 \cdot \text{RF level [dBm]} + \text{RssiOffset [dB]}$$

Preciznost RSSI parametra ovisi o broju RSSI uzoraka. *RssiSmoothing* odabire broj RSSI uzoraka od minimalno 2 uzorka do 256 uzoraka u stupnjevima od 2.

Tablica 3.6. daje procjenu točnosti RSSI za 10 dB SNR i vrijeme odziva u odnosu na broj RSSI uzoraka programiranih u *RssiSmoothing*.

Tablica 3.6. RssiSmoothing opcije [14]

RssiSmoothing	Broj uzoraka	Procijenjena točnost	Vrijeme odziva
'000'	2	± 6 dB	$\frac{2^{(RssiSmoothing+1)}}{4 * RxBw\ [kHz]}\ [ms]$
'001'	4	± 5 dB	
'010'	8	± 4 dB	
'011'	16	± 3 dB	
'100'	32	± 2 dB	
'101'	64	± 1.5 dB	
'110'	128	± 1.2 dB	
'111'	256	± 1.1 dB	

Formule koje se koriste za tumačenje vrijednosti LoRa RSSI parametra:

RSSI (dBm) = -157 + Rssi, (pri korištenju visoke frekvencije (HF) priključka)

ili

RSSI (dBm) = -164 + Rssi (pri uporabi porta niske frekvencije (LF))

Formule koje se koriste za procjenu jačine signala primljenog paketa:

Snaga paketa (dBm) = -157 + Rssi, (pri korištenju priključka visoke frekvencije (HF))

ili

Snaga paketa (dBm) = -164 + Rssi, (pri korištenju niske frekvencije (LF) priključka)

S obzirom da je moguće primiti pakete koji su ispod razine šuma, SNR se upotrebljava u kombinaciji sa *PacketRssi* kako bi se izračunala snaga primljenog paketa:

Snaga paketa (dBm) = -157 + PacketRssi + PacketSnr * 0,25 (pri korištenju HF porta i SNR <0)

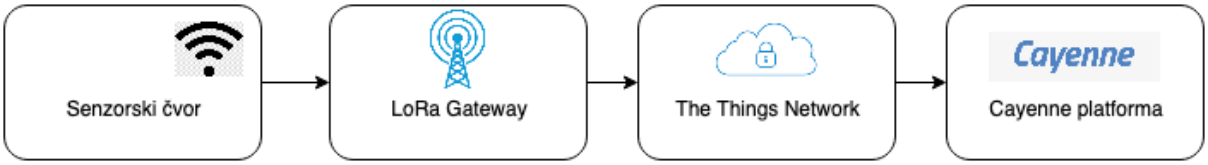
ili

Snaga paketa (dBm) = -164 + PacketRssi + PacketSnr * 0,25 (pri korištenju LF priključka i SNR <0)

Parametar RSSI se može očitavati u svakom trenutku tijekom primanja paketa.

4. IMPLEMENTACIJA SUSTAVA

Kao što je već opisano u prethodnom poglavlju ova mreža se sastoji od senzorskog čvora, bazne stanice LoRa, The Things Network mreže i Cayenne platforme. Shema mreže je prikazana na slici 4.1.



Slika 4.1. Shema mreže za razmjenu podataka

Senzorski čvor se sastoji od 2 senzora: senzor tlaka zraka (BMP280) i senzor temperature i vlažnosti (AM2302) čiji se mjerni podaci preko bazne stanice LoRa šalju na The Things Network mrežu. Na The Things Network mreži je kreiran projekt sa registriranim uređajem odnosno čvorom te se integracijom na Cayenne platformi mjerni podaci prikazuju u vizualnom obliku koji se mogu koristiti za daljnje obrade.

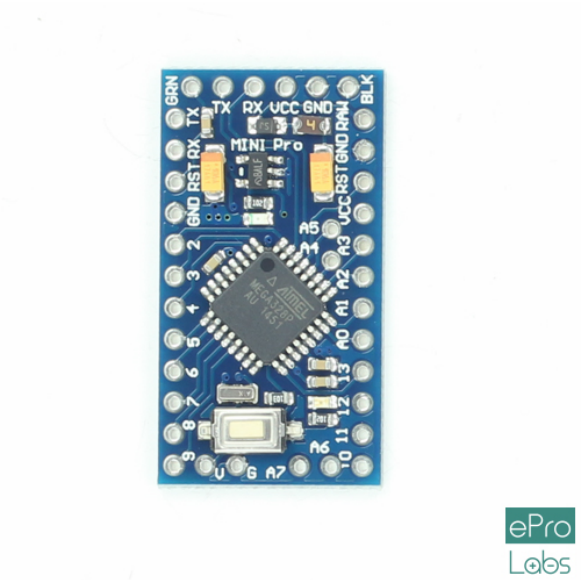
Sustav za prikaz podataka sa senzorskog čvora na Cayenne platformi povezan The Things Network mrežom sastoji se od sljedećih komponenata koje će biti opisane u nastavku:

- Arduino Pro Mini
- BMP280 senzor tlaka zraka
- AM2302 senzor temperature i vlažnosti
- The Things Network mreža
- Cayenne platforma

4.1. Arduino Pro Mini

Arduino Pro Mini je mikrokontroler otvorenog koda koji se temelji na mikrokontroleru na ATmega328. Pločica se sastoji od digitalnih i analognih ulaza/izlaza (I/O) pinova koji se mogu povezati sa drugim integriranim krugovima. Arduino Pro Mini ima 14 digitalnih I/O pinova (6

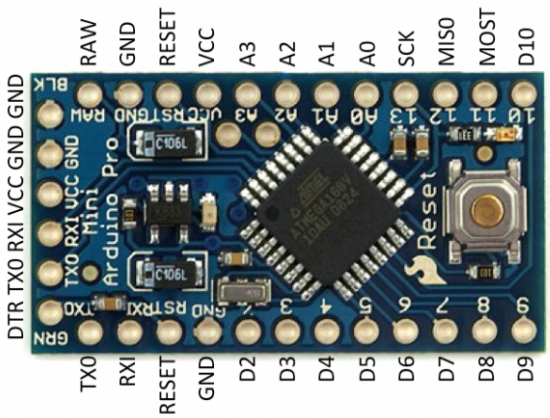
ih podržava PWM izlaz), 6 analognih I/O pinova te se programira u ARDUINO IDE razvojnom programskom okruženju. Spaja se putem USB kabela tipa Mini-B.



Slika 4.2. Arduino Pro Mini mikrokontroler [15]

Arduino Pro Mini ima slijedeće tehničke specifikacije:

- radni napon: 3.3 V do 5 V (ovisno o modelu),
- ulazni napon: 3.35 V do 12 V (3.3 V model) ; 5 V do 12 V (5 V model),
- digitalni I/O pinovi: 14 (od kojih 6 može pružiti PWM izlaz) ,
- analogni ulazni pinovi: 6,
- DC struja po I O pinu: 40 mA,
- flash memorija: 32 KB od čega 2 KB koristi bootloader,
- SRAM: 2 KB,
- EEPROM: 1 KB,
- brzina takta: 8 MHz (3.3 V model) ; 16 MHz (5 V model)



Slika 4.3. Arduino Pro Mini – prikaz pinova [15]

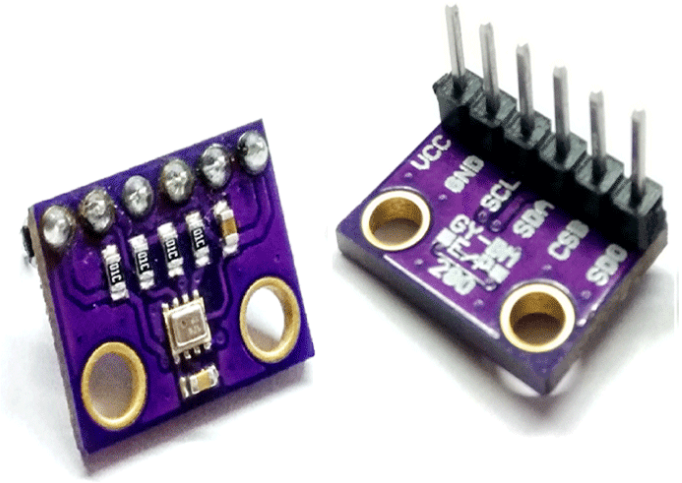
Općenite funkcije pinova:

- RAW: regulacija napajanja mikrokontrolera,
- VCC: napajanje od 3.3 V ili 5 V,
- GND: uzemljenje,
- RX: pin za primanje podataka,
- TX: pin za slanje podataka,
- Pinovi 2 i 3: pinovi za aktivaciju prekida na maloj vrijednosti ili prekida pri nagloj promjeni vrijednosti,
- RESET: mikrokontroler se resetira ako se na ovaj pin dovodi mala vrijednost

4.2. BMP280 senzor tlaka zraka

BMP280 je barometarski senzor tlaka koji se koristi za mobilne aplikacije. Dizajniran je u malim dimenzijama i ima malu potrošnju energije što omogućuje primjenu u raznim područjima poput mobilnih telefona, GPS modula ili satova. Tehnologija na kojoj je izrađen omogućuje visoku točnost i linearnost kao i dugotrajnu stabilnost i visoku EMC robusnost. BMP280 je optimiziran u pogledu potrošnje energije, razlučivosti i performansi filtra. [16]

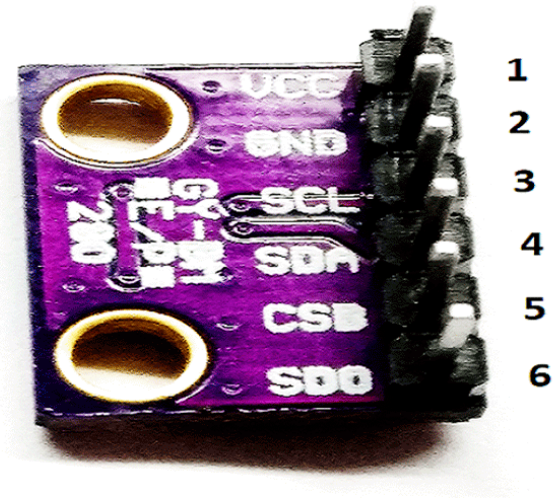
BMP280 je nadogradnja modela BMP085/BMP180/BMP183. Barometarski tlak je težina zraka koja pritišće podlogu. S obzirom da zrak ima svoju težinu, BMP280 detektira taj pritisak i pruža informaciju u digitalnom obliku. BMP280 je jeftino rješenje za precizno mjerenje barometarskog tlaka s apsolutnom točnošću ± 1 hPa i temperature s točnošću ± 1,0 ° C. Budući da se tlak mijenja u odnosu na nadmorsku visinu, ovaj senzor se može koristiti i za određivanje visine s preciznošću ± 1m.



Slika 4.4. BMP280 senzor [17]

Električke specifikacije BMP280 senzora:

- Ulazni napon: 3 do 3.3 V,
- Vršna struja: 1.12 mA,
- Potrošnja u mirovanju: 0,1 uA,
- Raspon mjerenja tlaka: 300-1100 hPa (ekvivalentno +9000 m do -500 m ispod razine mora),
- Radna temperatura: -45 ° C do + 85 ° C



Slika 4.5. BMP280 pinovi[17]

Funkcija pinova prikazanih na slici 4.5. su:

1. VCC: napajanje od 3.3 V
2. GND: uzemljenje
3. SCL: pin dvožičnog sučelja (I2C sučelje)
4. SDA: serijski podatkovni pin (I2C sučelje)
5. CSB: za odabir I²C sučelja (mora biti povezan na VCC)
6. SDO: serijski izlaz podataka (za promjenu adrese)

Ukoliko je potreban rad na 5V onda je potrebno spojiti regulator napona. Preporuka je rad na 3.3V do maksimalno 3.6V.

BMP280 dolazi sa zadanom adresom 0x76. Za promjenu adrese na 0x77 potrebno je pin 6 spojiti na VCC.

Primjena BMP280:

- Poboljšanje GPS navigacije
- Unutarnja navigacija (detekcija poda, dizala)
- Sport
- Vremenska prognoza, kućne meteorološke stanice
- Zdravstvena zaštita
- Uređaji poput pametnih telefona, tablet računala, dronova, satova

4.3. AM2302 senzor temperature i vlažnosti

AM2302 je senzor visoke preciznosti koji mjeri temperaturu i vlažnost. Idealan za praćenje parametara na Arduinu i Raspberry Pi.



Slika 4.6. AM2302 senzor [18]

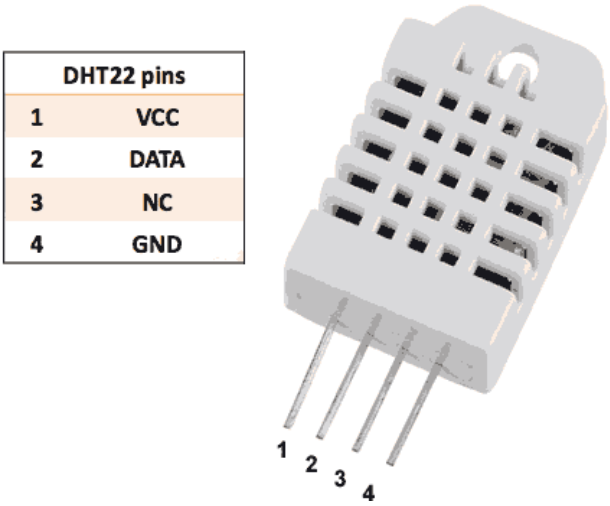
AM2302 senzor ima brojne prednosti poput:

- visoka preciznost
- kapacitivni tip
- temperaturni opseg
- relativna vlažnost i mjerenje temperature
- kalibrirani digitalni signal
- dugotrajna stabilnost
- nije potrebno dodavati neke druge komponente
- mala potrošnja

AM2302 daje kalibrirani izlazni signal. Primjenjuje tehniku digitalnog prikupljanja signala i vlažnosti kako bi osigurao veću stabilnost.

Tehničke specifikacije A2302 senzora:

- Ulazni napon: 3.3 V do 5 V,
- Izlazni signal: digitalni,
- Osjetni element: polimerni kondenzator vlage,
- Raspon rada: vlažnost 0-100%; temperatura od -40 ° C do + 80 ° C,
- Preciznost: odstupanje vlažnosti ± 2% (maksimalno ± 5%); temperatura ± 0.5 ° C,
- Osjetljivost: vlažnost 0.1%; temperatura 0.1 ° C,
- Dugoročna stabilnost: ± 0.5% godišnje [19]



Slika 4.7. AM2302 pinovi [20]

Funkcija pinova prikazanih na slici 4.7 su:

1. VCC: napajanje od 3.3V do 5V
2. DATA: serijski podatkovni pin
3. NC: prazno
4. GND: uzemljenje

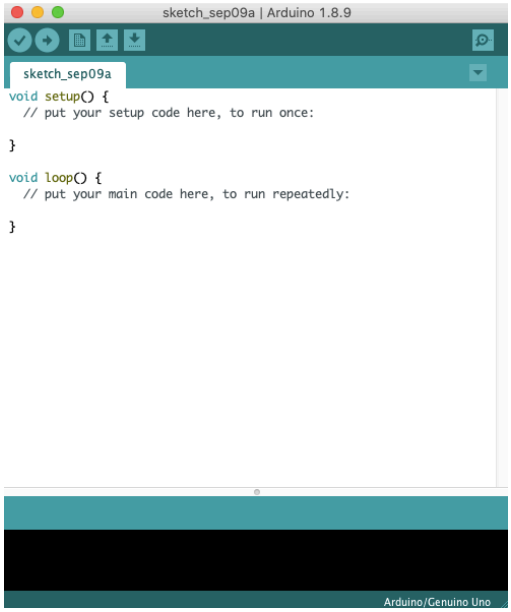
4.4. Arduino IDE

S obzirom da je The Things Network decentralizirana infrastruktura otvorenog koda odnosno pristupa onda je najbolje koristiti programsko okruženje koje je također otvorenog koda. U nastavku će se opisati Arduino IDE programsko razvojno okruženje te programski kod koji je korišten u svrhu razmjene podataka sa ostalim Internet servisima.

Arduino razvojno okruženje se koristi za pisanje i prijenos programskog koda na programibilne pločice koje su kompatibilne sa Arduinom, ali i sa programibilnim pločicama drugih proizvođača koje su ispunjavaju uvjete.

Arduino IDE je multiplatforma što znači da podržava rad sa različitim operativnim sustavima kao što je Windows, macOS, Linux. Programski kod podržava C i C++ jezike koristeći specifična pravila strukturiranja koda. Arduino IDE sadržava biblioteku za ožičenje koji pruža razne postupke ulaza i izlaza. Osnovni kod odnosno funkcije koji mora sadržavat svaki program napisan za Arduino je:

- setup() : izvršava se samo jednom prilikom paljenja Arduina ili resetiranja
- loop() : glavni program odnosno beskonačna petlja koja se sastoji od definiranja i pozivanja funkcija [22]



Slika 4.8. Arduino IDE razvojno okruženje

4.5. Programski kod

```
// Arduino-LMIC biblioteka
// https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic
#include <lmic.h>
#include <hal/hal.h>
#include <SPI.h>
```

```
// BMP280 biblioteka senzora
// https://github.com/adafruit/Adafruit_BMP280_Library
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
Adafruit_BMP280 bme;

// AM2302 biblioteka senzora
#include "DHT.h"
DHT dht;

// Cayenne LPP biblioteka
// https://github.com/TheThingsNetwork/arduino-device-lib
#include <CayenneLPP.h>
CayenneLPP lpp(20);

//spremanje ključeva u niz
static const PROGMEM u1_t NWKSKEY[16] = { 0x15, 0xBB, 0x05, 0xFF, 0x32,
0x80, 0x7E, 0xB8, 0x4F, 0x72, 0x67, 0x4C, 0xB3, 0x88, 0xC4, 0x8F };
static const u1_t PROGMEM APPSKEY[16] = { 0xBC, 0x3E, 0xCF, 0x53, 0x94,
0xA5, 0xC6, 0xC4, 0xF2, 0xD8, 0x81, 0x02, 0x1B, 0xF5, 0x66, 0xFB };
static const u4_t DEVADDR = 0x26011058;

// Ove funkcije se pozivaju kod OTA aktivacije, ostaviti ih praznima
void os_getArtEui (u1_t* buf) { }
void os_getDevEui (u1_t* buf) { }
void os_getDevKey (u1_t* buf) { }

static osjob_t sendjob;

// varijabla za podešavanje intervala slanja podataka
const unsigned TX_INTERVAL = 60;

// Pin mapping
const lmic_pinmap lmic_pins = {
    .nss = 6,
    .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,
```

```
    .rst = 5,
    .dio = {2, 3, 4},
};

//output sa serial monitora o prijenosu paketa
void onEvent (ev_t ev) {
    Serial.print(os_getTime());
    Serial.print(": ");
    switch(ev) {
        case EV_SCAN_TIMEOUT:
            Serial.println(F("EV_SCAN_TIMEOUT"));
            break;
        case EV_BEACON_FOUND:
            Serial.println(F("EV_BEACON_FOUND"));
            break;
        case EV_BEACON_MISSED:
            Serial.println(F("EV_BEACON_MISSED"));
            break;
        case EV_BEACON_TRACKED:
            Serial.println(F("EV_BEACON_TRACKED"));
            break;
        case EV_JOINING:
            Serial.println(F("EV_JOINING"));
            break;
        case EV_JOINED:
            Serial.println(F("EV_JOINED"));
            break;
        case EV_RFU1:
            Serial.println(F("EV_RFU1"));
            break;
        case EV_JOIN_FAILED:
            Serial.println(F("EV_JOIN_FAILED"));
            break;
        case EV_REJOIN_FAILED:
            Serial.println(F("EV_REJOIN_FAILED"));
            break;
```

```
        case EV_TXCOMPLETE:
            Serial.println(F("EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX
windows)"));
            if (LMIC.txrxFlags & TXRX_ACK)
              Serial.println(F("Received ack"));
            if (LMIC.dataLen) {
              Serial.println(F("Received "));
              Serial.println(LMIC.dataLen);
              Serial.println(F(" bytes of payload"));
            }
            // interval sa iduće slanje
            os_setTimedCallback(&sendjob,
os_getTime()+sec2osticks(TX_INTERVAL), do_send);
            break;
        case EV_LOST_TSYNC:
            Serial.println(F("EV_LOST_TSYNC"));
            break;
        case EV_RESET:
            Serial.println(F("EV_RESET"));
            break;
        case EV_RXCOMPLETE:
            // primljeni podaci na slot
            Serial.println(F("EV_RXCOMPLETE"));
            break;
        case EV_LINK_DEAD:
            Serial.println(F("EV_LINK_DEAD"));
            break;
        case EV_LINK_ALIVE:
            Serial.println(F("EV_LINK_ALIVE"));
            break;
         default:
            Serial.println(F("Unknown event"));
            break;
    }
}

void do_send(osjob_t* j)
```

```
{
    // provjerava je li se izvodi/neizvodi slanje/primanje
    if (LMIC.opmode & OP_TXRXPEND)
    {
        Serial.println(F("OP_TXRXPEND, not sending"));
    }
        else
    {

        // učitava podatke sa senzora i priprema ih za slanje

        delay(dht.getMinimumSamplingPeriod());
        float temperature = bme.readTemperature();
        float pressure = bme.readPressure();
        float humidity = dht.getHumidity();

        lpp.reset();
        lpp.addTemperature(1, temperature);
        lpp.addBarometricPressure(2, pressure/100);
        lpp.addRelativeHumidity(3, humidity);

        LMIC_setTxData2(1, lpp.getBuffer(), lpp.getSize(), 0);
        Serial.println(F("Packet queued"));
    }
    // iduće slanje je nakon dobivanja statusa TX_COMPLETE.
}

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    Serial.println(F("Starting"));

    dht.setup(7);

    if (!bme.begin(0x76))
    {
```

```
      Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor, check
wiring!"));
      while (1);
    }

    // LMIC inicijalizacija
    os_init();

    // Resetiranje MAC statusa. Prijenos podataka sa statusa čekanja biti
će odbačena
    LMIC_reset();

    // postavljanje statičke sesije
    #ifdef PROGMEM

    // Kod AVR metode vrijednosti ključeva se spremaju u flash memoriju i
kopiraju se u RAM samo jednom
    uint8_t appskey[sizeof(APPSKEY)];
    uint8_t nwkskey[sizeof(NWKSKEY)];
    memcpy_P(appskey, APPSKEY, sizeof(APPSKEY));
    memcpy_P(nwkskey, NWKSKEY, sizeof(NWKSKEY));
    LMIC_setSession (0x1, DEVADDR, nwkskey, appskey);

    #else

    // Ako se ne koristi AVR metoda, ubacuje se samo naziv nizova ključeva
    LMIC_setSession (0x1, DEVADDR, NWKSKEY, APPSKEY);

    #endif

    #if defined(CFG_eu868)
    // Postavka kanala koje koristi mreža prema zadanim postavkama bazne
stanice.
    LMIC_setupChannel(0, 868100000, DR_RANGE_MAP(DR_SF12, DR_SF7),
BAND_CENTI);      // g-band
    LMIC_setupChannel(1, 868300000, DR_RANGE_MAP(DR_SF12, DR_SF7B),
BAND_CENTI);      // g-band
    LMIC_setupChannel(2, 868500000, DR_RANGE_MAP(DR_SF12, DR_SF7),
BAND_CENTI);      // g-band
```

```
    LMIC_setupChannel(3, 867100000, DR_RANGE_MAP(DR_SF12, DR_SF7),
BAND_CENTI);      // g-band

    LMIC_setupChannel(4, 867300000, DR_RANGE_MAP(DR_SF12, DR_SF7),
BAND_CENTI);      // g-band

    LMIC_setupChannel(5, 867500000, DR_RANGE_MAP(DR_SF12, DR_SF7),
BAND_CENTI);      // g-band

    LMIC_setupChannel(6, 867700000, DR_RANGE_MAP(DR_SF12, DR_SF7),
BAND_CENTI);      // g-band

    LMIC_setupChannel(7, 867900000, DR_RANGE_MAP(DR_SF12, DR_SF7),
BAND_CENTI);      // g-band

    LMIC_setupChannel(8, 868800000, DR_RANGE_MAP(DR_FSK,  DR_FSK),
BAND_MILLI);


    // https://github.com/TheThingsNetwork/gateway-conf/blob/master/US-
global_conf.json

    LMIC_selectSubBand(1);

    #endif


    // Gašenje linka provjere

    LMIC_setLinkCheckMode(0);




    LMIC.dn2Dr = DR_SF9;


    // Postavka brzine prijenosa i snagu prijenosa

    LMIC_setDrTxpow(DR_SF7,14);


    // Započinje slanje

    do_send(&sendjob);

}

void loop() {os_runloop_once(); } [23]
```

5. VIZUALIZACIJA PODATAKA

5.1. The Things Network mreža

The Things Network je decentralizirana infrastruktura otvorenog koda razmjene podataka sa aplikacijama koji su spojeni na uređaje niske potrošnje povezani sa baznom stanicom.

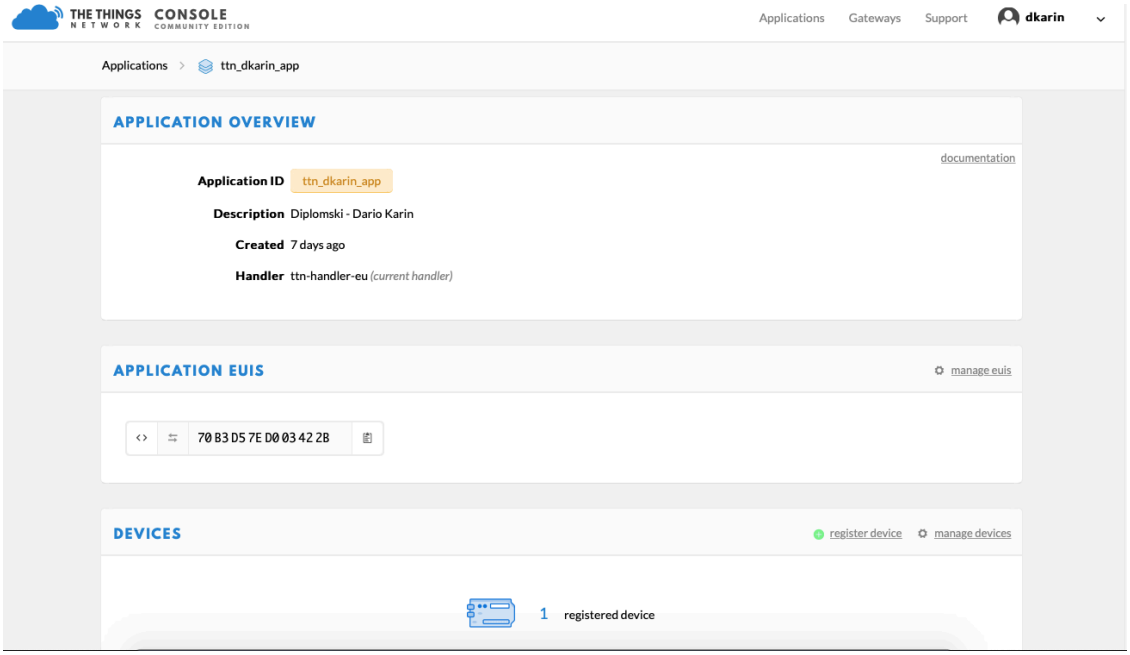


Slika 5.1. shematski prikaz mreže za razmjenu podataka [21]

The Things Network mreža podržava LoRa uređaje sa dometom od 5 km do 15 km koje karakteriziraju nisku potrošnju energije i propusnost podataka od 51 bajt po poruci.

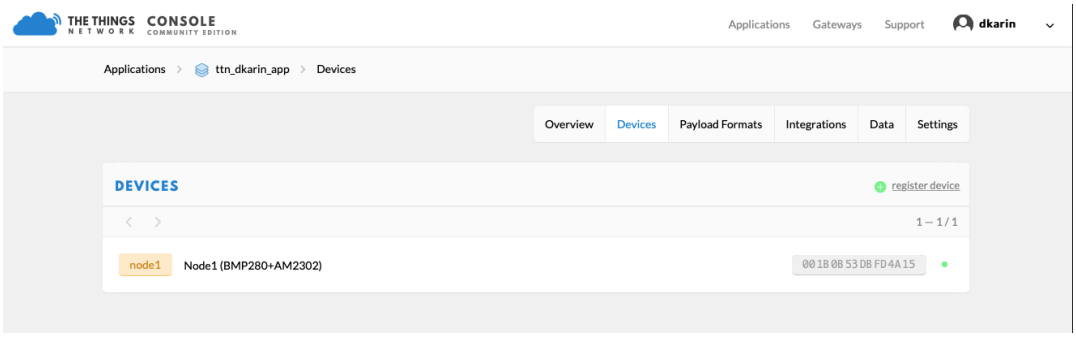
Kako bi se osposobila komunikacija sa The Things Network mrežom potrebno je:

- kreirati aplikaciju,
- registrirati uređaj odnosno upisati «Device ID» ,
- upisati «Device EUI» sa uređaja
- generirati App Key
- u postavkama odabrati metodu aktivacije «ABP»

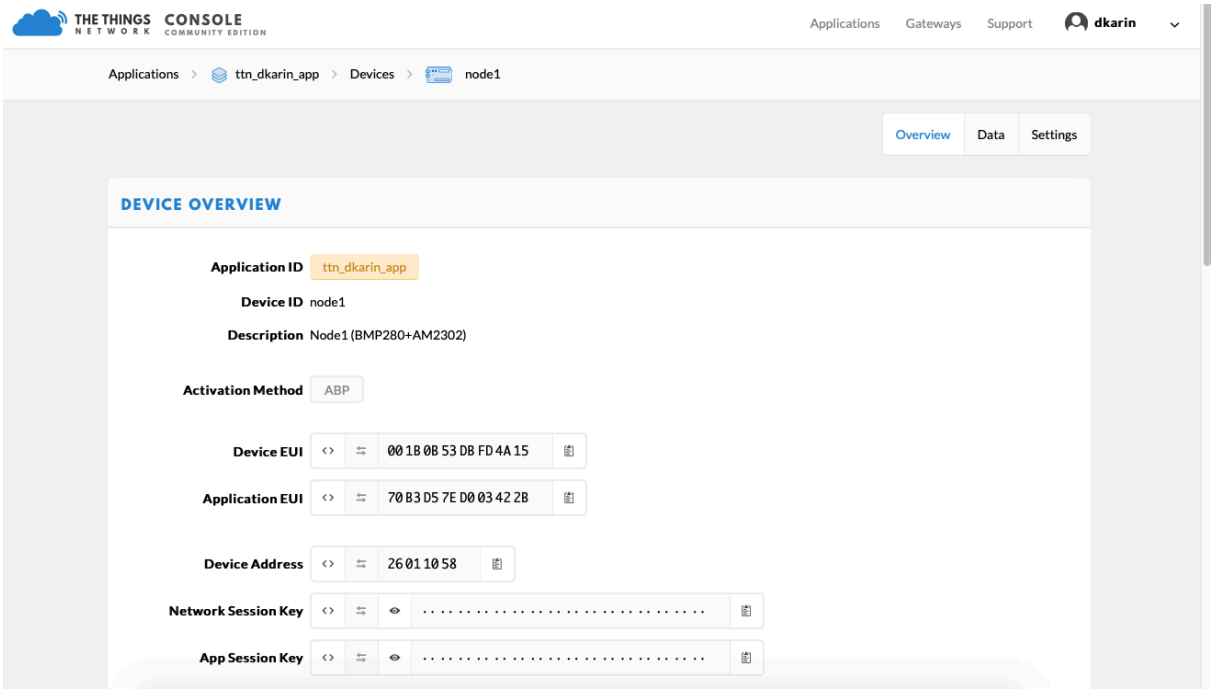


Slika 5.2. Izgled kreirane aplikacije na The Things Network mreži

U tab-u «Devices» (prikazano na slici 5.3. i 5.4.) se nalazi popis registriranih uređaja. U ovom radu je kreiran jedan čvor od 2 senzora (BMP280 i AM2302) čije su karakteristike opisane u prethodnim poglavljima.



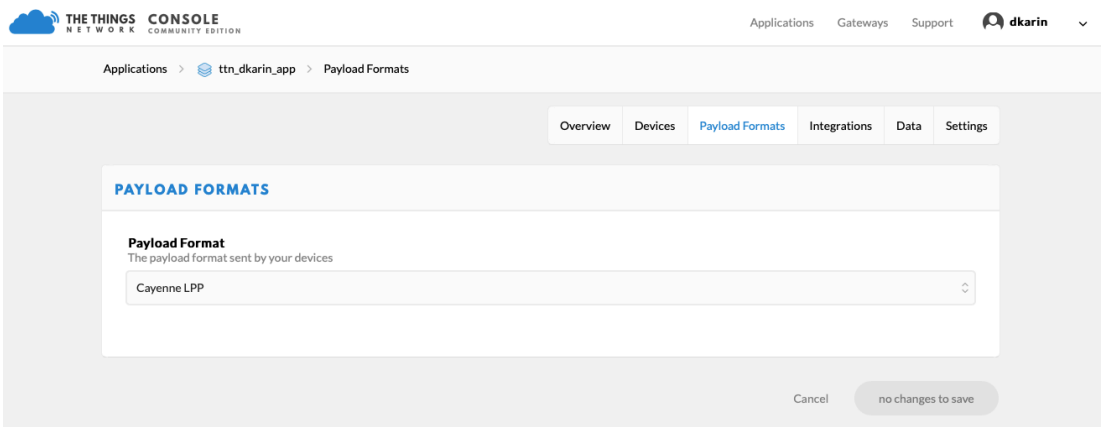
Slika 5.3. «Devices» tab



Slika 5.4. Pregled «Devices» taba

Slika 5.4. daje pregled informacija o čvoru poput adrese uređaja, internet ključa i aplikacijskog ključa. Takve informacije se koriste u Arduino kodu odnosno na platformi za prikazivanje podataka sa senzora o čemu će se govoriti u idućem poglavlju.

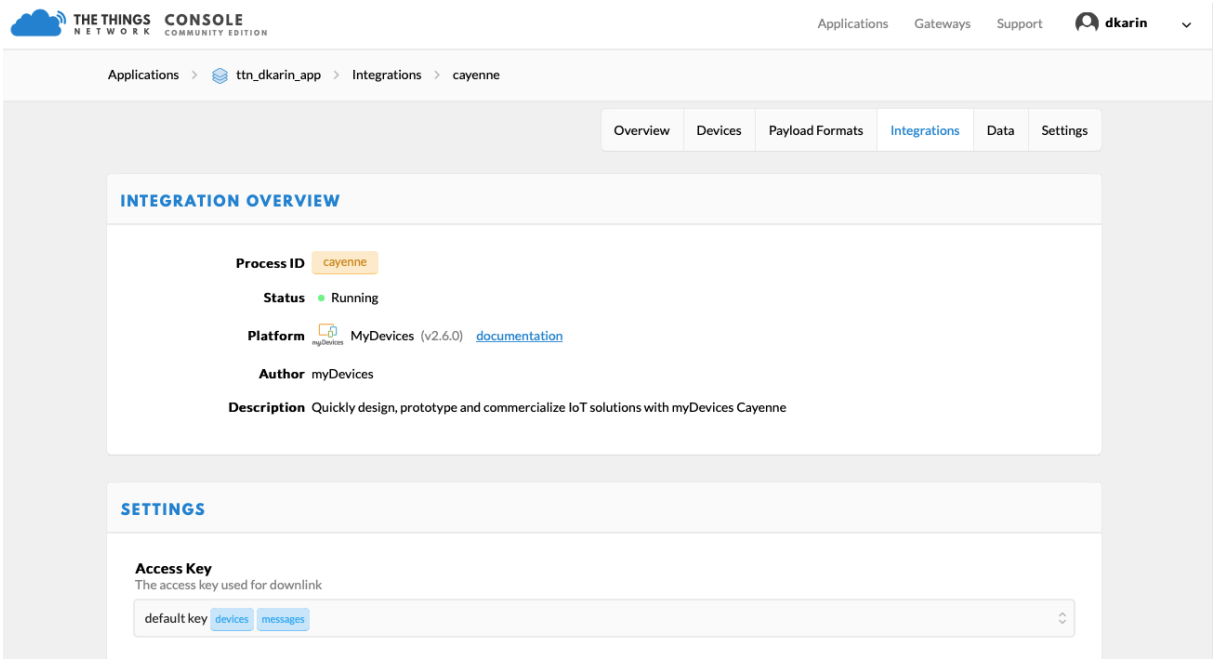
U tab-u «Payload Formats» (prikazano na slici 5.5.) se nalaze tipovi formata podataka koji šalju uređaji kako bi platforma razumjela koji podaci dolaze na njihovu nadzornu ploču (*dashboard*). U ovom radu je korišten format Cayenne LPP koji već ima svoj definiran format, a koristi se za prikaz podataka na Cayenne platformi. Također se može kreirati vlastiti *custom* tip formata.



Slika 5.5. «Payload Formats» tab

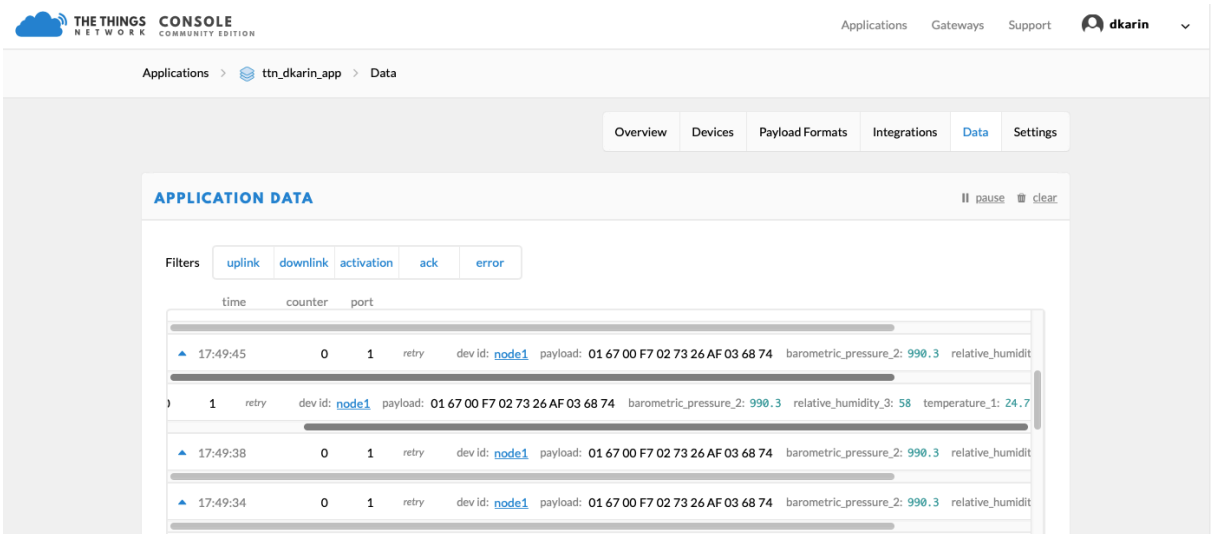
U tab-u «Integrations» (prikazano na slici 5.6.) dodajemo vrstu integracije odnosno platforme na kojoj se prikazuju podaci sa senzora odnosno podaci sa The Things Network mreže. Neke od integracija su *HTTP Integration, IFTTT Maker, ThingsSpeak* i slično. U ovom radu korištena je Cayenne integracija.

Integracija se definira na jednostavan način tako da se odabere tip integracije, upiše se identifikator procesa (*Process ID*) te pristupni ključ (*Access Key*) za pristup podacima.



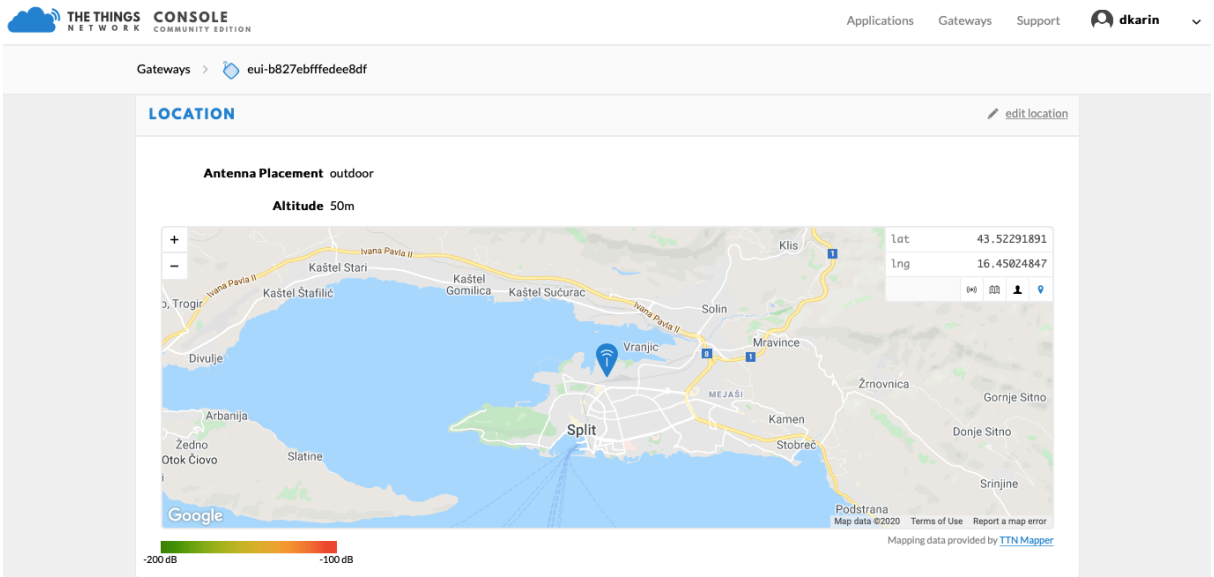
Slika 5.6. «Integrations» tab

Kada je senzorski čvor aktivan, tab «Data» (prikazano na slici 5.7.) daje pregled podataka o vremenu slanja, formatu poruke i podacima sa senzorskog čvora. U radu su se vršila mjerenja tlaka, vlažnosti i temperature pod parametrima sa nazivima: barometric_pressure_2, relative_humidity_3, temperature_1.



Slika 5.7. «Data» tab

Potrebno je imati baznu stanicu (*gateway*) za daljnju obradu odnosno prikaz podataka. Bazne stanice (gateways) čini most između uređaja i The Things Network mreže. U ovom radu je korištena bazna stanica koja se nalazi na Sveučilišnom odjelu za stručne studije.



Slika 5.8. Bazna stanica (gateway)

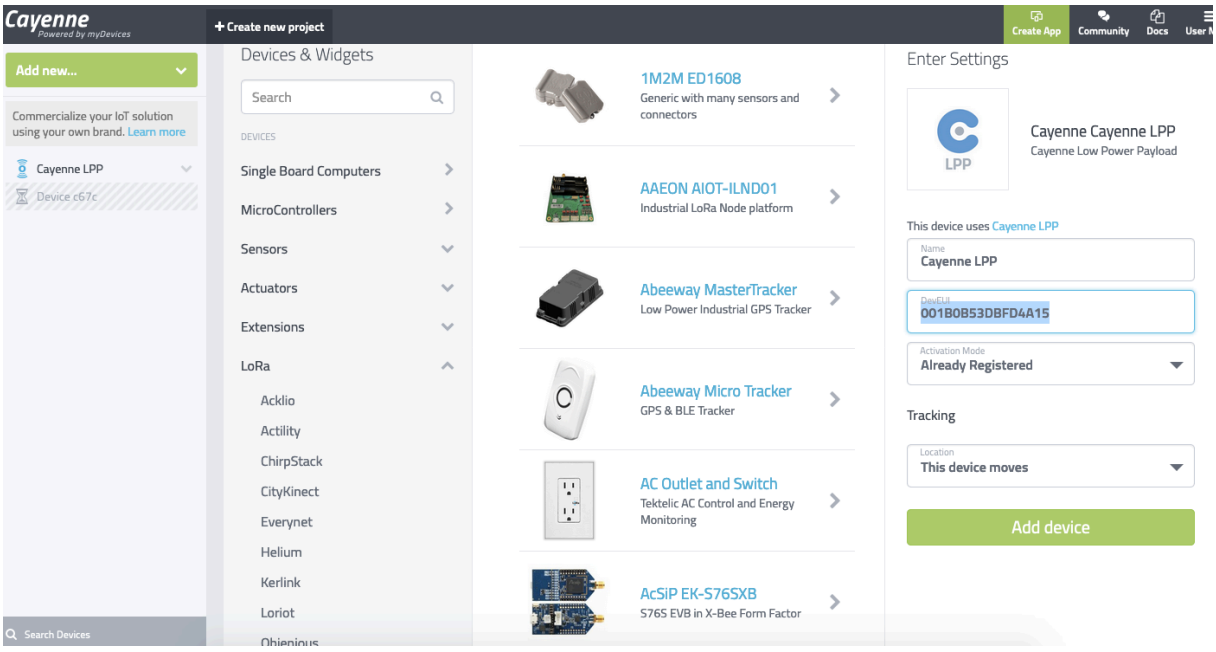
Bazna stanica (*gateway*) omogućuje primanje LoRa paketa. Općenito postoje dvije vrste:

- *Gateway*-i koji rade na minimalnom *firmware*-u, čine ih jeftinima i jednostavnima za upotrebu (npr. *The Things Gateway*), a pokreću samo softver za prosljeđivanje paketa.
- *Gateway*-i koji pokreću operativni sustav te se program za prosljeđivanje paketa pokreće kao pozadinski program (npr. *Kerlink IoT Station, Multitech Conduit*).

5.2. Cayenne platforma

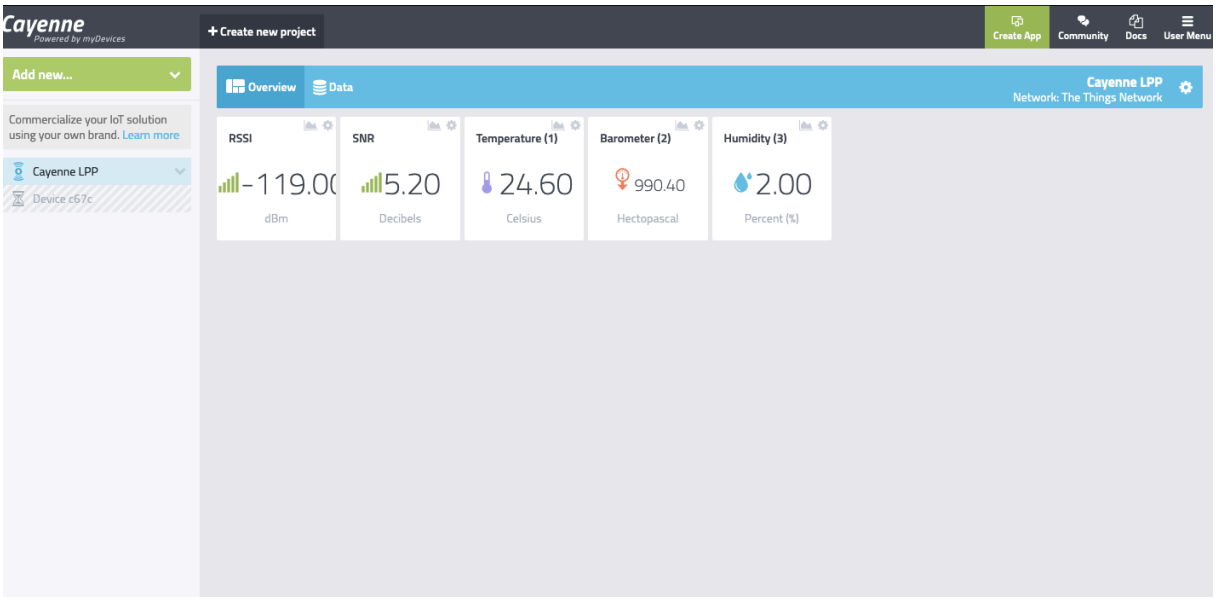
Cayenne platforma omogućuje brzi pregled i izradu vizualizacije IoT (*Internet of Things*) rješenja odnosno prikaz podataka. Može se koristiti kao alat za vizualizaciju podataka u stvarnom vremenu (*real-time*) i prethodno poslanih podataka preko mreže The Things Network.

Povezivanje Cayenne računa sa The Things Network mrežom se vrši na način da se kreira korisnički račun na stranici http://cayenne.mydevices.com , u lijevom izborniku «*Devices & Widgets*» izabere se LoRa stanica, zatim u podizborniku «*The Things Network*» bira se uređaj Cayenne LPP.



Slika 5.9. Dodavanje Cayenne LPP uređaja

Na slici 5.9. je prikazano dodavanje uređaja koji je prethodno definiran u The Things Network mreži pod tab-om «*Integrations*». Potrebno je unijeti parametar *DevEUI* te je uređaj uspješno dodan kada se prikazuje vizualni pregled podataka sa senzorskog čvora kao što je prikazano na slici 5.10.



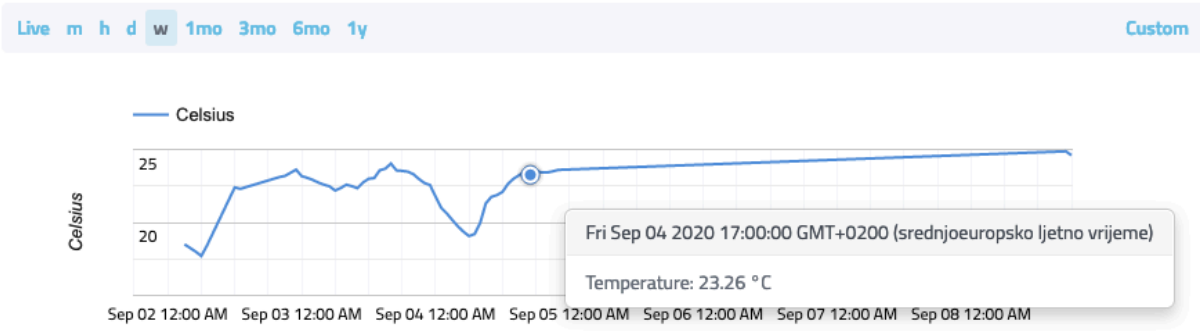
Slika 5.10. Nadzorna ploča prikaza podataka na Cayenne platformi

Senzorski čvor se tijekom svog rada nalazio unutar stambenog prostora. Prosjek izmjerenih parametara temperature iznosi 24.60 °C, tlaka zraka 990.40 hPa te vlažnost 2%. RSSI parametar iznosi -119 dBm te SNR iznosi 5.20 dB.

Blaga odstupanja od stvarnih vrijednosti su moguća zbog činjenica da korišteni senzori koji su opisani u prethodnim poglavljima imaju svoje određene greške u mjerenju, ali za potrebe ovog rada je sasvim dovoljna preciznost.

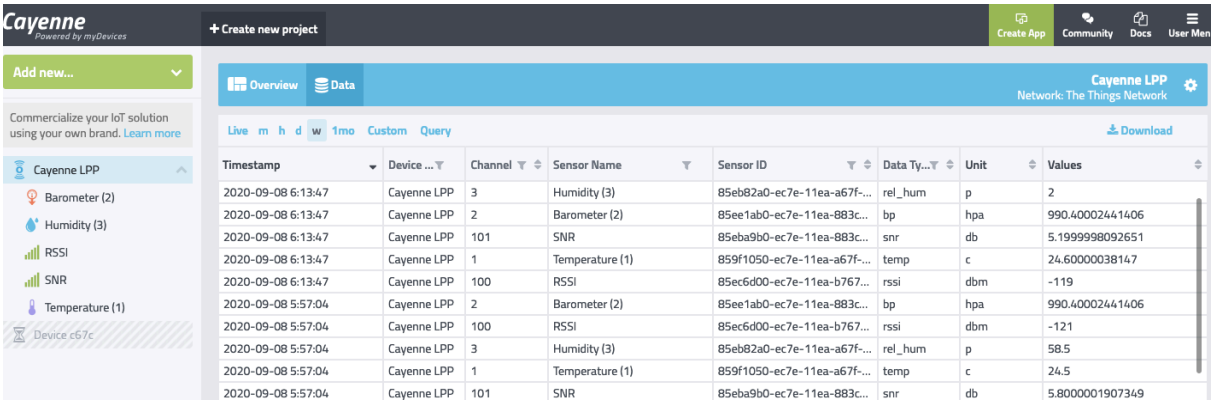
Osim cjelokupnog pregleda parametara, moguć je detaljni grafički prikaz prema stvarnom vremenu, minutama, satima, danima, tjednima itd.

Za primjer je prikazan grafički prikaz temperature u periodu od tjedan dana na slici 5.11.



Slika 5.11. Grafički prikaz temperature u periodu od tjedan dana

Ukoliko je potreban detaljniji prikaz podataka za određeni period tada je potrebno pod tab-om «Data» odabrati period za pregled.



Slika 5.12. Detaljni prikaz podataka za određeni period

Na slici 5.12. se nalazi detaljan prikaz podataka za period od tjedan dana. Vidljiv je točan datum i vrijeme slanja, kanal svakog parametra, ID senzora, mjerna jedinica i vrijednost mjerenja.

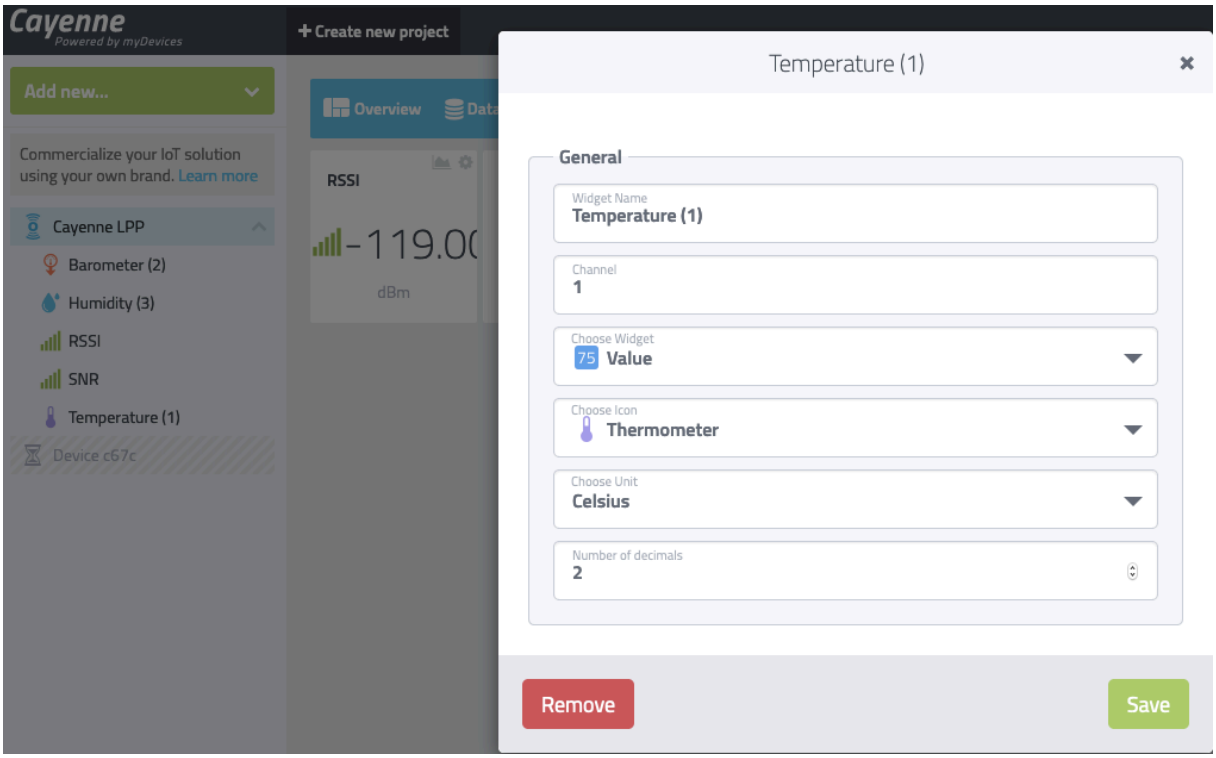
Primjer slanja jednog paketa:

- datum i vrijeme slanja: 08. rujna 2020. ; u 18 sati, 13 minuta i 47 sekundi,
- kanal 3: vlažnost na nadzornoj ploči,
- mjerna jedinica izražena u postotcima (%),
- vrijednost: 2,
- kanal 2: tlak na nadzornoj ploči,
- mjerna jedinica: hpa,
- vrijednost: 990.40002441406,

- kanal 1: temperatura na nadzornoj ploči,
- mjerna jedinica: °C,
- vrijednost: 24.60000038147,
- RSSI: omjer ulazne snage signala,
- mjerna jedinica: dBm,
- vrijednost: -119
- SNR: signal-šum omjer,
- mjerna jedinica: db,
- vrijednost: 5.1999998092651

Moguće je sve podatke za odabrani period spremiti lokalno na računalo te vršiti daljnju obradu.

Za potrebe drugačije vizualizacije podataka, Cayenne platforma nudi mogućnost prilagodbe svakog parametra na koji način će biti prikazano ime, kanal, ikona, mjerna jedinica te broj decimalnih mjesta izmjerene vrijednosti.



Slika 5.13. Mogućnost prilagodbe parametara mjerenja

6. ZAKLJUČAK

Dolazak svake nove tehnologije odnosno inovacije ima zadatak smanjiti troškove proizvodnje, procesa i pojednostavniti način upotrebe za krajnjeg korisnika. Zbog tog razloga tehnologija LoRa ima široku primjenu u svijetu jer nudi mogućnost povezivanja velikom broju uređaja koji su rasprostranjeni na različitim udaljenim lokacijama uz nisku cijenu. Postiže veliku brzinu prijenosa podataka, veliku pouzdanost, dalek domet te vrlo nisku potrošnju energije.

Tehnologija LoRa ima vlastitu tehniku sa kojom prenosi signal te takva modulacija daje precizniji izračun kvalitete veze i veću otpornost na smetnje. Faktor proširenja je vidljiv u tablici 3.2. gdje se povećanjem faktora za 1, brzina slanja se povećava za 2 puta.

U ovom radu je bio cilj pokazati primjenu LoRa tehnologije u praksi te je realiziran zadatak prema shemi koja je prikazana na slici 5.1. Napravljen je senzorski čvor koji se sastoji od 2 senzora: BMP280-senzor tlaka zraka i AM2302-senzor temperature i vlažnosti čije su karakteristike objašnjenje u 4. poglavlju. Zatim je na decentraliziranoj mreži otvorenog koda The Things Network kreiran projekt sa registriram uređajem odnosno čvorom te su se mjerni podaci preusmjeravali na temelju ID uređaja na Cayenne platformu koja omogućuje brzi pregled i izradu vizualizacije IoT (*Internet of Things*) rješenja u stvarnom vremenu.

Interval slanja podataka koji se podešava u programskom kodu koji je priložen u poglavlju 6, varijabla TX_INTERVAL je postavljena na 60 sekundi. Prilikom testiranja u stvarnim uvjetima može se utvrditi da proces slanja paketa odnosno prikaz na Cayenne platformi kvalitetno uspostavljen. Uzimajući u obzir da je u karakteristikama opisanih senzora navedeno kako imaju određenu preciznost odnosno gubitke te da starenjem komponenti postoji mogućnost odstupanja od stvarnih vrijednosti, može se zaključiti da je prilikom rada u stvarnim uvjetima prikazani sustav pouzdan te je ispunio sva očekivanja.

Ove tehnologije dobivaju sve veći značaj u svijetu gdje će se više koristiti za nove aplikacije poput pametnih gradova, pametnih mreža, internetskih aplikacija, logistike i slično.

LITERATURA

[1] G. Strazdins, A. Elsts, K. Nesenbergs, and L. Selavo, “Wireless sensor network operating system design rules based on real-world deployment survey,” Journal of Sensor and Actuator Networks, vol. 2, no. 3, pp. 509–556, 2013., http: //www.mdpi.com/2224- 2708/2/3/509 [16.08.2020.]

[2] F. J. Oppermann, C. A. Boano, and K. Ro ̈mer, A Decade of Wireless Sensing Applications: Survey and Taxonomy. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 11–50, http://dx.doi.org/10.1007/978- 3- 642- 40009- 4 2 [16.08.2020.]

[3] I. Demirkol, C. Ersoy, F. Alagoz et al., “Mac protocols for wireless sensor networks: a survey,” IEEE Communications Magazine, vol. 44, no. 4, pp. 115–121, 2006., [16.08.2020.]

[4] G. Anastasi, M. Conti, M. Di Francesco, and A. Passarella, “Energy conservation in wireless sensor networks: A survey,” Ad hoc networks, vol. 7, no. 3, pp. 537–568, 2009. [16.08.2020.]

[5] K. E. Nolan, M. Y. Kelly, M. Nolan, J. Brady, and W. Guibene, “Techniques for resilient real-world iot,” in 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Sept 2016, pp. 222–226. [16.08.2020.]

[6] U. Raza, A. Camerra, A. L. Murphy, T. Palpanas, and G. P. Picco, “Practical data prediction for real-world wireless sensor networks,” IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 27, no. 8, pp. 2231–2244, Aug 2015. [16.08.2020.]

[7] “Nb-iot - enabling new business opportunities,” Hawei Technologies Co., Tech. Rep., 2015. http://www.huawei.com/ minisite/4- 5g/img/NB- IOT.pdf [19.08.2020.]

[8] “Mobile internet of things: low power wide area connectivity,” GSMA Mobile IoT, Tech. Rep., 2016, gSMA Industry Paper., http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content/uploads/2016/03/ Mobile- IoT- Low- Power- Wide- Area- Connectivity- GSMA-Industry- Paper. pdf [19.08.2020.]

[9] Sigfox’s ecosystem delivers the worlds first ultra-low cost modules to fuel the internet of things mass market deployment. https://www.sigfox.com/en/press/ sigfox-s-ecosystem-delivers-world-s-first-ultra-low-cost-modules-to-fuel-in[t5e8r]neTt-.ofA-tdhainmges.pdf [19.08.2020.]

[10] " Low Power Wide Area Networks: An Overview " , https://arxiv.org/pdf/1606.07360.pdf [20.08.2020.]

[11] Semtech, http://www.semtech.com/ [20.08.2020.]

[12] B. Reynders, W. Meert, and S. Pollin, "Range and coexistence analysis of long range unlicensed communication," in 2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT), May 2016, pp. 1–6 [20.08.2020.]

[13] J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen, and M. Pet- tissalo, "On the coverage of lpwans: range evaluation and channel attenuation model for lora technology," in ITS Telecommunications (ITST), 2015 14th International Conference on, Dec 2015, pp. 55–59 [21.08.2020.]

[14]" SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver ", https://www.semtech.com/uploads/documents/DS_SX1276-7-8-9_W_APP_V5.pdf [21.08.2020.]

[15] Arduino Pro Mini, https://wiki.eprolabs.com/index.php?title=Arduino_Pro_Mini [02.09.2020.]

[16] BMP280, https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/pressure-sensors-bmp280-1.html [02.09.2020.]

[17] BMP280, https://components101.com/sensors/gy-bmp280-module [03.09.2020.]

[18] AM2302, https://www.waveshare.com/wiki/DHT22_Temperature-Humidity_Sensor [04.09.2020.]

[19] https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Digital+humidity+and+temperature+sensor+AM2302.pdf [06.09.2020.]

[20] AM2302, https://www.electroschematics.com/arduino-dht22-am2302-tutorial-library/ [07.09.2020.]

[21] The Things Network, https://www.thethingsnetwork.org/docs/ [08.09.2020.]

[22] Arduino IDE, https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE [08.09.2020.]

[23] https://gist.github.com/mmestrovic/a041ccb9dd5216e1a3036af78125c454 [08.09.2020.]

POPIS SLIKA

Slika 3.1. LPWAN tehnologije

Slika 3.2. Unutarnja konfiguracija predajnika

Slika 4.1. Shema mreže za razmjenu podataka

Slika 4.2. Arduino Pro Mini mikrokontroler

Slika 4.3. Arduino Pro Mini – prikaz pinova

Slika 4.4. BMP280 senzor

Slika 4.5. BMP280 pinovi

Slika 4.6. AM2302 senzor

Slika 4.7. AM2302 pinovi

Slika 4.8. Arduino IDE razvojno okruženje

Slika 5.1. shematski prikaz mreže za razmjenu podataka

Slika 5.2. Izgled kreirane aplikacije na The Things Network mreži

Slika 5.3. «Devices» tab

Slika 5.4. Pregled «Devices» taba

Slika 5.5. «Payload Formats» tab

Slika 5.6. «Integrations» tab

Slika 5.7. «Data» tab

Slika 5.8. Bazna stanica (gateway)

Slika 5.9. Dodavanje Cayenne LPP uređaja

Slika 5.10. Nadzorna ploča prikaza podataka na Cayenne platformi

Slika 5.11. Grafički prikaz temperature u periodu od tjedan dana

Slika 5.12. Detaljni prikaz podataka za određeni period

Slika 5.13. Mogućnost prilagodbe parametara mjerenja

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Tehničke specifikacije različitih LPWAN tehnologija

Tablica 3.2. Raspon proširenja spektra

Tablica 3.3. Cikličko kodiranje

Tablica 3.4. LoRa mogućnosti pojasne širine

Tablica 3.5. Načini pojačanja snage

Tablica 3.6. RssiSmoothing opcije