

Vilniaus universitetas
Fizikos fakultetas
Taikomosios elektrodinamikos ir telekomunikacij institutas

Linda Lidija Zotikovait

DAIKT INTERNETO 868 MHZ SI STUVO KONSTRAVIMAS IR TYRIMAS

Magistrant ros studij baigiamasis darbas

Telekomunikacij fizikos ir elektronikos
studij programa

Studentas	Linda Lidija Zotikovait
Leista ginti	2019 - 05 - 24
Darbo vadovas	doc. Vytautas Jonkus
Recenzentas	doc. eslovas Pavasaris
Instituto direktorius	prof. Jonas Matukas

Vilnius 2019

Turinys

vadas.....	4
Darbo tikslas.....	5
Darbo uždaviniai.....	5
1. Teorin dalis.....	6
1.1. Naudojamos technologijos.....	6
1.2. Radijo ryšys.....	6
1.2.1. Siaurajuosio ir plačiajuosio ryšio palyginimas.....	6
1.2.2. Duomenų perdavimo sparta.....	7
1.2.3. Veikimo nuotolis.....	7
1.2.4. Energijos suvartojimas.....	8
1.3. Siaurajuostis daikt internetas.....	8
1.4. Daikt interneto realizavimo problemos.....	8
2. Praktin dalis.....	9
2.1. Projektuojamo daikt interneto sistuvų sandara.....	9
2.1.1. Sąsaja su kompiuteriu.....	10
2.1.2. Tętampos stabilizatoriai.....	11
2.1.3. ARM procesorius.....	12
2.1.4. RF sistuvas - imtuvas.....	14
2.1.5. 868 MHz antena.....	15
2.2. Projektavimas.....	17
3.1. Gamyba.....	19
3.2. Programavimas.....	20
3.3. Kalibravimas.....	21
3.4. Tyrimas.....	23
3.4.1. Jautrumo matavimas.....	23
3.4.2. Antenos charakteristikų matavimas.....	24
3.4.3. Veikimo nuotolio matavimas.....	25
4. Rezultatai.....	27
5. Išvados.....	27
Santrauka.....	29
Summary.....	30
Literatūros nuorodos.....	31
Priedai.....	33
1 priedas. Sistuvų principinė schema.....	33

2 priedas. Procesoriaus kodas rašas34

3 priedas. Procesoriaus kodas adresai34

4 priedas. Pagrindinė main() programa.....35

5 priedas. Nustatymų failas40

vadas

Ple iantis skaitmeniniam pasauliui, tobul jant technologijoms, atsiranda poreikis integruoti jas kasdienin gyvenim (buit , darb). Yra kuriami išmanieji namai, išmanieji automobiliai, kurie palengvina žmogaus kasdienyb . Ta iau, visa tai apjungti vien visum padeda b tent daikt internetas (*angl. Internet of Things*) – tai erdv s koncepcija, kuri apjungia skaitmenin ir analogin pasaulius. Tai jutikliai ir prietaisai, kurie yra sujungti per ryšio kanalus, prijungti prie interneto ir gali tarpusavyje „bendrauti“, be žmogaus dalyvavimo, perduodant duomenis.

Pagrindiniai daikt interneto ypatumai:

- ⊗ Nuolatin pagalba kasdienini žmogaus veiksmuose.
- ⊗ Viskas vyksta skaidriai, nepastebimai, orientuojantis rezultat .
- ⊗ Žmogus nustato kok rezultat reikia pasiekti, o ne taip, kaip tai padaryti. [1]

Daikt interneto istorija prasid jo nuo Nikolo Teslos (*angl. Nikola Tesla*) 1926 metais. Mokslininkas teig , kad ateityje visi daiktai taps bendros sistemos dalimi, o prietaisai, kuri pagalb bus gyvendinama sistema, bus tokie maži, kad tilps kišen je.

1990 metais Jonh Romki pristat pirm j interneto daikt . Jis prijung savo skrudintuv prie visuotinio tinklo (*angl. Word Wide Web*). Kiek v liau, apie 1999 metus, mokslininkas Kevin Ashton apibr ž daikt interneto s vok , ved radijo dažni žym termin , kuri signalas deng didel plot . Tai s lygojo automatinio identifikavimo centro atsiradim , skirto radijo dažni identifikavimo tyrimams.

2008 metais vyko per jimas nuo žmoni interneto prie daikt interneto – atsirado daugiau negu 6 milijardai prietais kurie gali b ti prijungti prie interneto. Tai reiškia, kad prietais , kurie turi galimyb prisijungti prie tinklo, skai ius daug didesnis negu skai ius žmoni , kurie turi prieiga prie toki prietais . [4]

Ple iantis daikt internetui, kei iasi ir jo taka aplinkai. Si loma tokia daikt interneto klasifikacija:

- 1) 1 lygis – kiekvieno objekto indentifikavimas atliekamas atskirai.
- 2) 2 lygis – paslauga, skirta žmoni poreikiams tenkinti (kaip pavyzdys – išmanusis namas).
- 3) 3 lygis – protingas miestas. Numatoma rinkti ir tvarkyti vis informacij apie gyventojus gyvenviet je, atskiruose rajonuose, apylink se, namuose.
- 4) 4 lygis – sensorin planeta. Veikia tre iojo lygio pavyzdžiu, tik jau visoje planetoje. [2]

Darbo tikslas

Suprojektuoti, pagaminti daikt interneto si stuv panaudojant integruot impedans suderinimo grandin ir iširti jo charakteristikas.

Darbo uždaviniai

- ⊗ Suprojektuoti daikt interneto si stuvo plokšt .
- ⊗ Parinkti elementus projektuojamai daikt interneto si stuvo plokštei.
- ⊗ Pagaminti daikt interneto si stuv .
- ⊗ Atlikti tyrimus.
- ⊗ vertinti gautus rezultatus.

1. Teorin dalis

Prieš pradėdant praktinį dalį išnagrinėsime daiktų interneto veikimą bei naudojamą technologijas. Parinksime konstruojamojo daiktų interneto sistuvų sudarančius elementus.

1.1. Naudojamos technologijos

Šiuo metu daiktų interneto koncepcija remiasi dvejomis technologijomis:

- 1) Radijo dažninis atpažinimas. Tai objektų atpažinimo metodas, kuriame radijo signalo pagalba vyksta turimų duomenų rašymas ir nuskaitymas. Ši technologija tinka kai kuriems objektams, ypač tiems, kuriems nereikia didelio informacijos kiekio gavimui.
- 2) Belaidžiai jutikliniai tinklai. Šiuo atveju reikia turėti daug jutiklių ir vykdančiųjų ringinių, kurie bus apjungiami radijo signalo pagalba. Veikimo aprėptis gali būti nuo kelių metrų iki kelių kilometrų. Ši sistema veikia siunčiant ir gaunant duomenis tarp jos elementų. Ši technologija jau yra gyvendinta sprendžiant daugelį praktinių uždavimų, susijusių su stebėjimu, logistika, valdymu ir t.t. [2]

1.2. Radijo ryšys

Radijo ryšys skirstomas siaurajuostis (*angl. Ultra Narrow Band– UNB*) ir plaiajuostis (*angl. Ultra Wide Band– UWB*). Placiajuostis ryšio kanalas užima juostos plotą 125 arba 250 kHz kanale, o siaurajuostis ryšio kanalas – 100 Hz.

Pagrindinė konkurencija šioje srityje vyksta tarp plaiajuostis ryšio LoRa ir siaurajuostis ryšio Sigfox. LoRa technologija naudoja dažniu moduliuotą impulsą, kuris naudoja kodavimo sistuvų jautrumo padidinimui. Sigfox technologija naudoja standartinį radijo bangos perdavimo būdą, kuris vadinamas fazine moduliacija (*angl. Binary phase – shift keying, BPSK*). Jis apima siaurą spektro dalį ir keičia radijo bangos fazę duomenų užkodavimui. Tai leidžia imtuvui pagauti duomenis tik nedideliame spektro dalyje, kuri sumažina triukšmo poveikį.

Bendras pagrindinių technologijų bruožas – nedidelis spartos belaidžio ryšio kanalo organizavimas, kurio nuotolis gali būti nuo 1 iki 10 kilometrų. Tokios sistemos veikia 864 – 869 MHz ribose, galia 25 mW. [3]

1.2.1. Siaurajuostis ir plaiajuostis ryšio palyginimas

UNB sistemose bazinis stoties imtuvas tuo pačiu metu gali priimti tik vieną kanalą. Dažni atskyrimo suvokta naudojama norint apibrėžti imtuvo gebėjimus atrinkti priimamą kanalą iš eterio taip,

kad nebūt persiklojimų iš kitų gretimų kanalų. Jei tam tikru laiko momentu duomenys priimami kanalu M , tai kanalais $M+1$ ir $M-1$ tuo pat metu priimti nieko negalima.

UWB sistemose naudojamas ne tik dažninis ir laikinis, bet ir kodinis kanalų atskyrimas. LoRa tipo sistemose bazinis stotis konstruojama taip, kad būtų manoma atskirti duomenų srautus, einančius iš kelių ringinių, dirbančių tame pačiame dažniame kanale ir su skirtingomis moduliacijos schemomis.

UNB sistemos labai jautrios dažnio nustatymo tikslumui. Turint 100 Hz darbinį dažnį juostai, mažiausias priimančiojo ringinio (imtuvo) kvarcinio rezonatoriaus dažnio poslinkis turėtų darbinę juostą paslenkti ženkliai už nustatytą ribą. Kad išvengtų šio efekto, yra tobulinama bazinis stotis. Bazinis stotis plačiame spektre aptikęs signalą, turi prisiderinti prie jo.

UWB sistemos suteikia simetrišką komunikacijos kanalą. Dėl to, kad šių sistemų juostos plotis yra šimtai kilohercų, yra suteikiamas simetrinis ryšys, net dažniui pasislinkus 25 % nuo nustatyto kanalo pločio, kad 868 MHz diapazone reikiama leistinis 35 ppm rezonatoriaus paklaidas.

UNB sistemose stebimas Doplerio efektas. Sigfox praranda savo darbinį stabilumą, jei galinio ringinio greitis 5 – 10 km/val.

UNB sistemos naudojamos realizuoti greitaisiais prietaisais dirbinį dažnį perderinimais (*angl. Frequency hopping*), norint išvengti susidurimų ir triukšmų.

UWB sistemos, konkrečiu atveju LoRa, pasižymi didesniu parametru lankstumu. LoRa suteikia simetrinį dvikryptį ryšį ir yra mažiau jautresnė temperatūros kitimui. [3]

1.2.2. Duomenų perdavimo sparta

UNB sistemos dirba žemu fiksuotu greičiu. Sigfox duomenų perdavimo sparta 100 bit/s.

Priklausomai nuo signalo stiprumo, LoRa gali dirbti greičiais nuo 30 bit/s iki 50 bit/s. Praktiškai, tai suteikia UWB sistemoms lankstumo ir platesnio panaudojimo, nepaisant to, kad duomenų paketas yra perduodamas lėčiau negu UNB sistemose.

UNB sistemos turi griežtą apribojimą: Sigfox maksimalus naudojamas duomenų kiekis yra 12 baitų, jų perdavimas trunka keletą sekundžių, o prisijungimo prie Sigfox tinklo sąlygos nustato, kad vienas objektas gali perduoti ne daugiau kaip 140 pranešimų per dieną. [3]

1.2.3. Veikimo nuotolis

UNB ir UWB sistemose panašus veikimo nuotolis. Jis priklauso nuo vietovės sąlygų: jei antena yra atviroje vietovėje ir aukštai – veikimo nuotolis didesnis 30 km, o tankiame miške ar mieste veikimo nuotolis siekia vos 1 – 3 km. [3]

1.2.4. Energijos suvartojimas

Energijos suvartojimas lygoj du momentai: si stuvo lusto technologinis lygis ir duomen perdavimo trukm .

Teoriškai manoma bet kokioje sistemoje palaikyti darb minimum 5 met laikotarpyje vienos baterijos pagalba. UWB sistema turi nedidel pranašum , veikiant mažais nuotoliais, kai duomen perdavimo greitis viršija 1 kbit, kas ženkliai sumažina si stuvo aktyvumo laik .^[3]

1.3. Siaurajuostis daikt internetas

Šiuo metu si lomi trys skirtingi sprendimai tiksliai apibr žiantys optimizuot daikt interneto standart : LTE-M, NB-IoT ir EC-GSM. Pla iau vert t užsiminti apie NB-IoT.

Siaurajuostis daikt internetas (*angl. Narrow Band – Internet Of Things, NB-IoT*) – korinio ryšio standartas, kuriam b tina gauti licenzij bazin ms stotims valdyti.

Duomen perdavimas vyksta siaura 180 kHz plo io dažni juosta. Ta iau, d l daugiajuost s konstrukcijos galima naudoti plat dažni spektr .^[14]

NB-IoT technologij sukur 3GPP konsorciumas 2016 metais. Šiuo metu ši technologija bandym etape. Ta iau ateityje žadama, kad ryšio operatoriai gaus visišk prieig prie jos. Šiuo metu Vilniuje yra vienint l stotis, sukonfiguruota specialiai priimti signalus pasitelkiant NB-IoT. Ta iau dar per anksti kalb ti apie šios technologijos komercializavim , d l keli priežas i : elektronini komponent tr kumas ir tam tikros problemos su turim dažni paskirstymu. NB-IoT naudojimas ir prieži ra yra daug pigesni nei naudojant GSM ir LTE tinklus.^[15]

Planuojama ir toliau pl sti NB-IoT: traukti vietos nustatymo metodus, reikalingos daugiaadres s paslaugos, pavyzdžiui, programin s rangos atnaujinimui arba pranešim siuntimas apimantis vis grup (tarpusavyje apjungt prietais), padidinti mobilum ir paslaug t stinum , taip pat pl toti technines detales, skirtas NB-IoT technologijos taikymui pagerinti.^[14]

1.4. Daikt interneto realizavimo problemos

- 1) Pagrindin problema – standart nebuvimas. Tod l integruojant naujas sistemas atsiranda sunkum . Atskiras sistemas projektuoja tokios kompanijos kaip Apple, Google, Microsoft. Bet jos visos daro tai atskirai, savaip. T.y. geriausiu atveju mes gausim lokalias sistemas, kurias bus sunku apjungti net miesto lygmenyje.
- 2) Daikt energijos šaltinio autonomijos užtikrinimas. Reikia sukurti tokius maitinimo šaltinius, kurie energij gaut iš aplinkos, o ne iš baterij .

- 3) Saugumas. Pašalinti pavojus, kurie yra b dingi pasauliniam tinklui, tokie kaip, silaužimas, duomen vagimas, virusai ir t.t.
- 4) Interneto dingimas. Dingus elektrai visa ranga, naudojama daikt internetui, neveiks, tod l reikia sukurti autonominius maitinimo šaltinius, valdymo, duomen apdorojimo sistemoms ir jutikliams.^[2]

1.5. Priimto signalo stiprumas

Signalo stiprumas (*angl. RSSI – Received Signal Strength Indicator*) – fizinis priimamo signalo lygis. Konstruojant daikt interneto si stuv , CC1200 luste padaryta taip, kad matuojamas RSSI yra priimamos signalo lygis dBm vienetais (decibelas lyginant su 1 milivatu). Kuo RSSI vert yra ar iau nulio (mažesn), tuo signalas geresnis.^[16]

2. Praktin dalis

Praktin dalis skiriama kelis etapus:

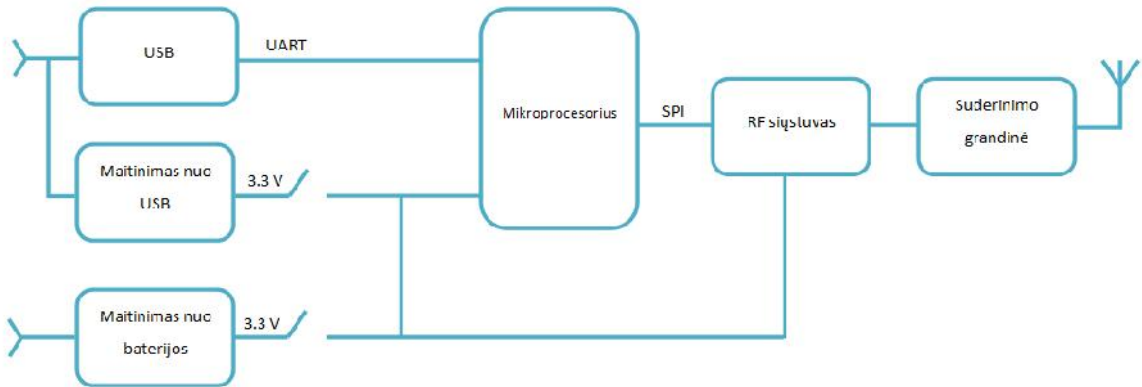
- si stuvo projektavimas;
- konstravimas;
- gamyba;
- programavimas;
- kalibravimas;
- tyrimas.

2.1. Projektuojamo daikt interneto si stuvo sandara

Projektuojamas daikt interneto si stuvus sudarytas iš:

- ARM procesoriaus;
- RF si stuvo;
- mikro USB;
- tampos stabilizatori ;
- impedans suderinimo grandin s;
- generatoriaus;
- antenos.

Blokin schema su ryšiais tarp element pavaizduota žemiau esan iame 1 pav.



1 pav. Blokin projektuojamo sistavos schema

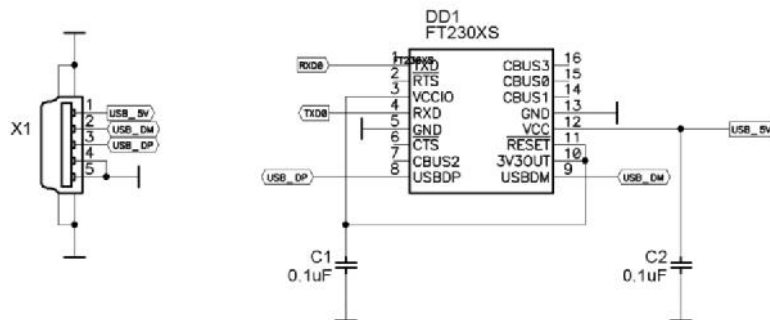
2.1.1. Sajai su kompiuteriu

Sajai su kompiuteriu bus naudojamas FT230XS lustas – tai lustas, suteikiantis ryšį su renginiais per UART sąsają. Viduje yra integruotas +3.3 V tampos lygio pakeitimo/išėjimo konvertorius.



2 pav. FT230XS lustas

FT230XS lustas diegia USB protokolą. Pagrindinė lusto funkcija – pranešti kompiuteriui, kad protokolą diegtas, ir, kad reikia diegti reikalingą tvarkyklę (angl. driver), o taip pat tvarkyti duomenų srautus. Kompiuteryje sukuriamas virtualus portas (angl. Virtual COM Port, VCP). Kitame lusto gale stovi UART valdiklis. Iš lusto UART protokolu duomenų srautas keliauja mikroprocesoriui.



3 pav. USB ir FT230XS lusto schema

Dar viena iš lusto funkcijų: USB baterijos kroviklio aptikimas. Leidžia naudoti USB periferinius prietaisus, skirtus aptikti didesnį energijos šaltinį, krovimo pagerinimui.^[5]

2.1.2. tampos stabilizatoriai

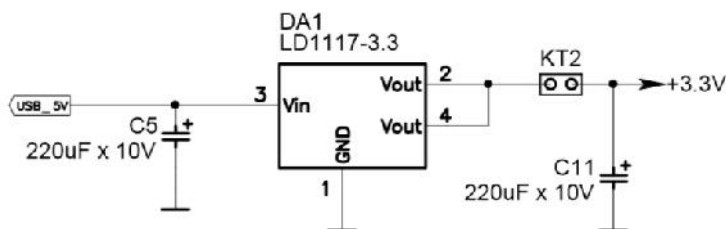
Plokštėje bus naudojami du tampos stabilizatoriai: LD1117-3.3 ir MCP1624.

LD1117-3.3 – fiksuotas mažo tampos kritimo reguliatorius. Standartinis įėjimo tampa $V_{in}=5V$, išėjimo tampa $V_{out}=3.3V$, tipinis išėjimo srovės $I_{out}=950mA$. Tai žeminantis tampos stabilizatorius, sumažinantis 5V ateinančią įtampą iš USB iki 3.3V.



4 pav. LD1117-3.3. tampos stabilizatorius

SOT-223 korpusas optimizuoja stabilizatoriaus temperatūrinės charakteristikas.^[6]

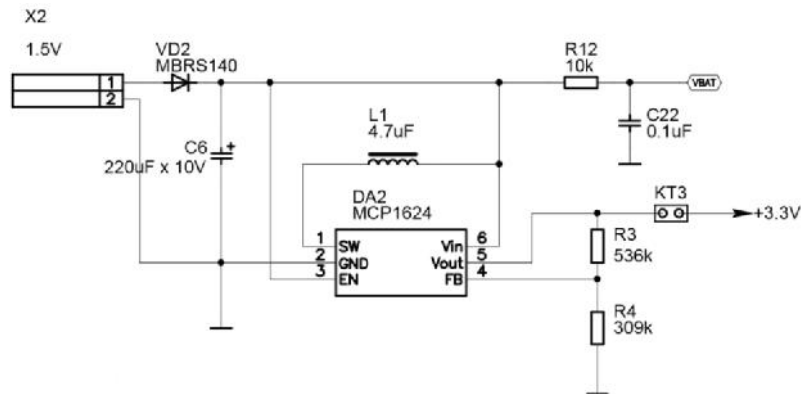


5 pav. Žeminančio tampos stabilizatoriaus schema

Įėjimo tampa praeina per perdavimo elementą, kuris šiuo atveju yra NPN tranzistorius. Tranzistorius veikia tiesinėje srityje, kad sumažintų 5V įėjimo tampą iki 3.3V tampos išėjimo. Gautas išėjimo tampa patikrina klaidos stiprintuvas (*angl. error amplifier*) palygindamas jį su etalonine tampa. Klaidos stiprintuvas jungia užtūrinimą (*angl. gate*) atitinkamam veikimo taškui, kad išėjime būtų gauta reikiama tampa. Pasikeitus įėjimo tampai arba srovei, klaidos stiprintuvas keičia tranzistorių taip, kad išliktų pastovi tampa išėjime.

MCP1624 – kompaktiškas, didelio efektyvumo, fiksuoto dažnio, aukštinantis tampos DC-DC stabilizatorius. Jis suteikia paprastą maitinimo šaltinio naudojimo sprendimą, skirtą

mikrovaldikliams, maitinamiems šarmin mis, NiCd, NiMH, Li-Ion ar Li-Polymer baterijomis. Standartin jimo tampa $V_{in}=0.9 \div 1.7$ V, iš jimo tampa $V_{out}=3.3$ V.



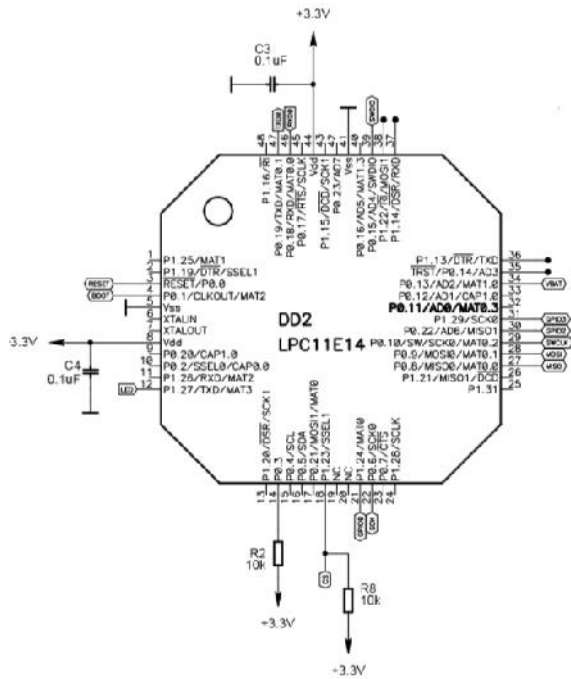
6 pav. Aukštinan iojo tampos stabilizatoriaus schema

Stabilizatorius gali veikti esant žemai jimo tampa: padavus tampa, vidin jungimo logika jungia P kanalo jungiklį, kol iš jimo kondensatorius kraunamas iki reikšmės, esančios artimai jimo tamos. Tuo metu yra ribojama tampa ant jungiklio. Kondensatoriui sikrovus iki jimo tamos vertės, prietaisas pradeda sijunginti. Jeigu jimo tampa yra žemiau 1.6 V, renginys veikia atvirosios kilpos režimu su fiksuotu 70 % darbinio ciklu, kol tampa iš jime pasiekia 1.6 V. Tuo metu stiprintuvo jungiklio srov ribojama iki 50 % jo nominalios vertės. Kai iš jimo tampa pasiekia 1.6 V, inicijuojama impulso pločio moduliacija (angl. *Pulse width modulation, PWM*). Impulso dažnis moduluojamas jei iš jimo apkrovos vertė nukrinta žemiau nustatytos ribos. [7]

Naudojamas arba vienas, arba kitas tampos stabilizatoriai, priklausomai nuo poreikio (atjungiant/sujungiant grandinę su KT2, KT3 jungimais). Užmaitinamas FTDI lustas, mikroprocesorius ir RF siuvas.

2.1.3. ARM procesorius

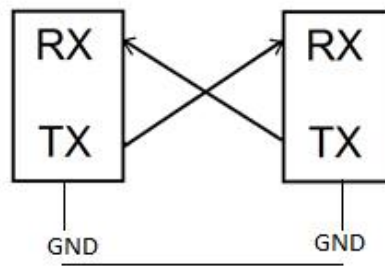
LPC11E14 yra ARM Cortex – M0, 32 bit MCU procesorius, skirtas 8/16 bit mikrovaldikli programoms. Pasižymi geru našumu, mažu galingumu, bazini komand rinkiniu ir atminties adresavimu kartu su mažesniu kodo dydžiu. Veikimo dažnis iki 50 MHz.



7 pav. Mikroprocesoriaus schema

Palaikomos s sąjios:

- 1) USART (*angl. Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter*) – universalus sinchroninis/asinchroninis imtuvas/si stuvas skirtas prietais komunikavimui. Labiau naudojamas asinchroninis imtuvas/si stuvas – prijungiami tik duomen signalai su papildomais srauto valdymo signalais (laikrodžio signalas n ra skaitomas). Duomen perdavimui naudojami du laidai (vien pus vienas laidas, antr pus – kitas).



8 pav. Duomen perdavimas UART s sąja

RX išvadas skirtas duomen pri imimui, o TX – perdavimui.

- 2) SSP (*angl. Synchronous Serial Port*) – valdiklis, palaikantis SPI s sąj . Šis procesorius turi du tokius valdiklius.

SPI (*angl. Serial Peripheral Interface*) – nuosekli s sąja, naudojama prietais komunikavimui esan i toje pa ioje plokšt je. Ši s sąja leidžia sujungti tinkl daugiau

negu du prietaisus. Vienas iš jų tampa vedantysis (*angl. Master*), o kiti vedamieji (*angl. Slave*). Vedantysis paeiliui perduoda duomenis linija, kuri vadinasi MOSI (*angl. Master output slave input*). Seka yra užduodama CS (*angl. Chip select*) linija (vedanį pasirinkimas). Vedamieji perduoda duomenis linija (tik leidus vedanį), kuri vadinasi MISO (*angl. Master input slave output*). SCLK – taktiniai impulsai (užduodamas perdavimo greitis).



9 pav. Duomenų perdavimas SPI sąsaja

- 3) I²C (*angl. Inter Integrated Circuit*) – nuosekli sąsaja, kurioje duomenų mainai vyksta tuo pačiu laidu. Plačiau naudojamas mažos spartos tais sujungimui su procesoriais ir mikrovaldikliais esant trumpam atstumui (vidinis ryšys).^[8]

Procesorius per SPI sąsają komunikuoja su RF siuvu.

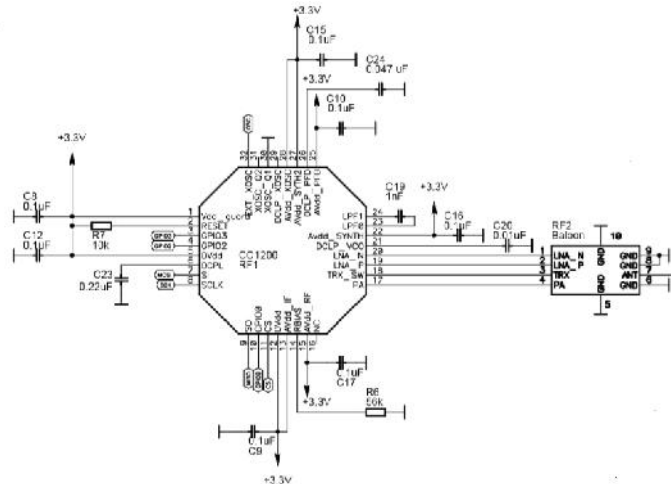
2.1.4. RF siuvas - imtuvas

CC1200 renginys – visiškai integruotas vienakryptis radijo siuvas – imtuvas, skirtas aukštam našumui, esant mažoms galioms ir žemos tamos veikimui belaidėse sistemose. Visi filtrai integruoti, tad pašalinti brangūs išoriniai filtrai. Šis renginys skirtas 164 – 190 MHz, 410 – 475 MHz ir 820 – 950 MHz dažniams skirtiems ISM (pramoniniams, moksliniams ir medicinos prietaisams) ir SRD (trumpojo nuotolio prietaisams).



10 pav. RF siuvas

CC1200 prietaisas palaiko paket apdorojim , duomen buferizavim , ryšio kokyb s indikacij . Pagrindiniai prietaiso veikimo parametrai valdomi per SPI s saj . Tipin je sistemoje CC1200 prietaisas naudojamas su mikrovaldikliu ir tik keliais išoriniais pasyviais komponentais.



11 pav. RF si stuvo impedans suderinimo grandin

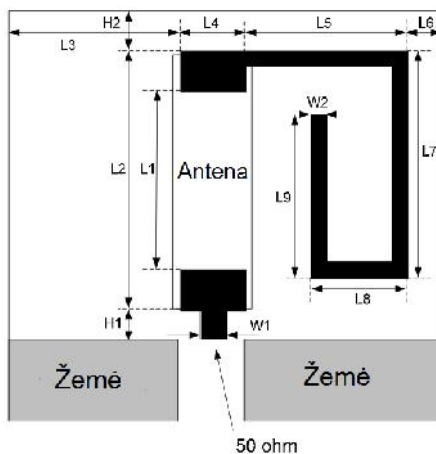
RF si stovas naudojamas kartu su mikrovaldikliu, kuris siun ia perdavimo duomenis si stuvui. CC1200 pagrinde – pilnai integruotas, trupmeninis, itin našus dažnio sintezatorius. Jis užtikrina labai aukšt selektyvum . Prie 32 kojos prijungtas osciliatorius atlieka taktinio generatoriaus funkcij .

Si stuvo veikimo principas pagr stas tiesiogine RF dažnio sinteze (*angl. in-loop modulation*). Efektyvaus spektro naudojimui, si stovas turi duomen filtravim ir formavim TX režimu, palaikyti didel s spartos duomen perdavim siaurajuosiuose kanaluose. Moduliatorius kontroliuoja galios pak lim , spektrinio išskaidymo problemos pašalinimui, kai naudojami išoriniai didelio galingumo RD stiprintuvai.^[9]

Derinimo grandin reikalinga tam, kad suderinti si stuvo iš jimo varž su žinoma 50 varža antenos jime.

2.1.5. 868 MHz antena

Projektuojant anten buvo parinktas lustas (Johanson Technology) sujungtas su specialiu takeliu. Svarbu tiksliai nukopijuoti PCB takel , kad b t pasiektas optimalus našumas. Takelio plotis parenkamas toks, kad impedansas b t 50 . Visi matmenys plokšt je parinkti tokie, kaip žemiau pateiktoje 1 lentel je.^[10]

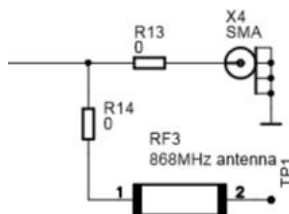


12 pav. Keramin s antenos matmenys ^[10]

1 lentel . Keramin s antenos matmenys ^[10]

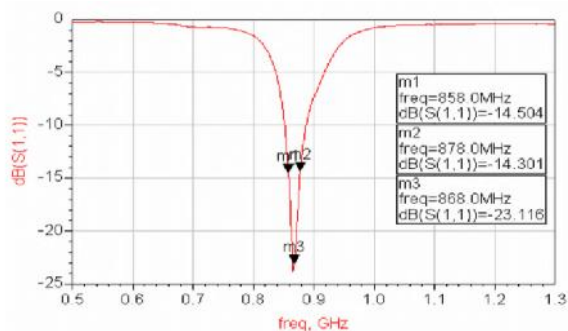
Žym jimas paveiksl lyje	Matmuo, mm	Žym jimas paveiksl lyje	Matmuo, mm
H1	1.0	L6	2.7
H2	1.3	L7	7.0
L1	5.5	L8	3.0
L2	8.0	L9	5.0
L3	12.8	W1	0.5
L4	2.0	W2	0.8
L5	5.0		

Keramin antena priima signal iš RF si stuvo. Schemoje, pateiktoje 13 pav., pavaizduotos dvi antenos. Viena – montuota, 868 MHz antena. Kita – išorin , prijungiama prie SMA jungties.

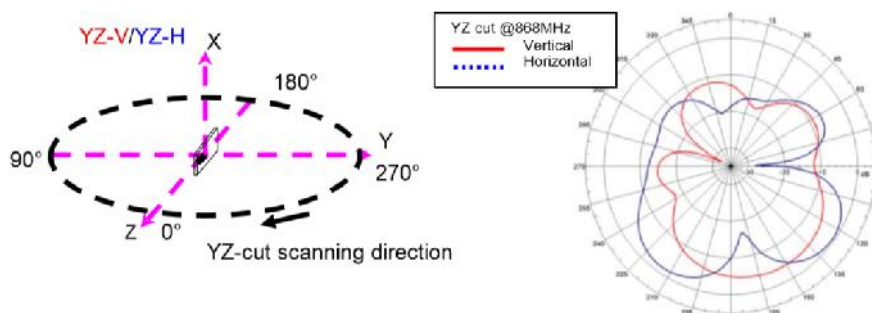


13 pav. Keramin s antenos ir jungties prijungti išorinei antenai schema

Žemiau esan iuose 14 – 15 pav. pateiktos antenos charakteristikos, nurodytos gamintojo. Pagaminus si stuv , antenos atspindžio koeficientas ir spinduliavimo diagrama bus išmatuotos ir palygintos su 14 – 15 pav. Atspindžio koeficientas ties 868 MHz yra 23.12 dB.



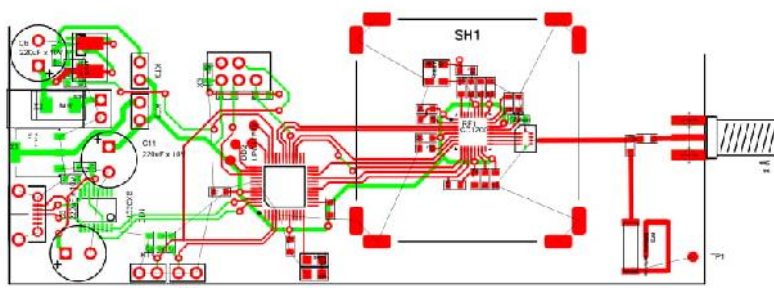
14 pav. Keramin s antenos atspindžio koeficiento kreivė iš dokumentacijos [13]



15 pav. Keramin s antenos spinduliavimo grafikas iš dokumentacijos [13]

2.2. Projektavimas

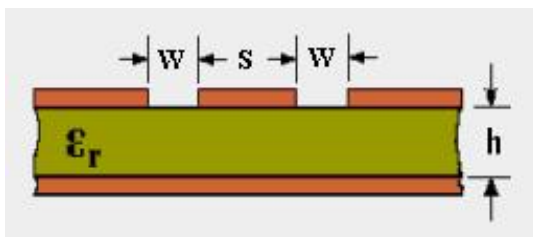
1. Su PCAD programa suprojektuojama principinė schema. RF siųtuvas, procesorius, taktinis impuls generatorius, tampos stabilizatorius, antena ir jungtys sujungiami loginiais ryšiais pagal PIN konfigūracijas (kiekvieno elemento kojos paskirtis nurodyta j vartotojo vadovuose). [1 priedas]
2. Suprojektuojama PCB plokštė – elementai išdėstomi plokštėje pagal reikalavimus: aukštadažnis dalis patalpina po dangteliu, kondensatoriai ir maitinimas patalpina mišiu procesoriaus ir siųtuvo kojose.



16 pav. PCB plokštės projektavimo procese

3. Apskaičiuojamas takelio plotis, kuris sujungia procesorių su antena.

Juostelin s linijos takelio plotis surastas tam skirta skaičiuoklės pagalba internete, o gauti rezultatai patikrinti matematinėmis formulėmis.



17 pav. Linijos parametrai (w – tarpo plotis, s – takelio plotis, h – dielektriko storis, ϵ_r – santykinė dielektrinė skvarba)

Skaičiuojant takelio plotį pasinaudojant internete esama impedanso skaičiuokle^[11], buvo keičiami w ir s pločiai, kad būtų gaunama 50 varža. Dielektriko storis $h = 2.54$ mm. Santykinė dielektrinė skvarba $\epsilon_r = 4.2$.

Gautas takelio plotis $s = 2.9$ mm, o tarpo plotis $w = 0.5$ mm, efektyvioji dielektrinė skvarba $\epsilon_{eff} = 2.74$, varža $Z_0 = 49.44$ Ω.

Varžos skaičiavimo formulės:

$$Z_0 = \frac{60\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot \frac{1}{\frac{K(k)}{K(k')} + \frac{K(kl)}{K(kl')}} \quad (1)$$

$$k = \frac{s}{b}, \quad (2)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2}, \quad (3)$$

$$kl = \frac{\tanh\left(\frac{\pi s}{4h}\right)}{\tanh\left(\frac{\pi b}{4h}\right)}, \quad (4)$$

$$kl' = \sqrt{1 - kl^2}, \quad (5)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{1 + \epsilon_r \frac{K(k')}{K(k)} \frac{K(kl)}{K(kl')}}{1 + \frac{K(k')}{K(k)} \frac{K(kl)}{K(kl')}} \quad (6)$$

Kur s – takelio plotis, b – takelio ir tarpo iš abiejų pusių suma, ϵ_r – santykinė dielektrinė skvarba, h – dielektriko storis.^[11]

Suskaičiuojame k , k' , kl , kl' :

$$k = \frac{0.0029}{0.0039} = 0.74, \quad (7)$$

$$k' = \sqrt{1 - 0.74^2} = 0.67, \quad (8)$$

$$kl = \frac{\tanh\left(\frac{3.14 \cdot 0.0029}{4 \cdot 0.00254}\right)}{\tanh\left(\frac{3.14 \cdot 0.0039}{4 \cdot 0.00254}\right)} = \frac{\tanh(0.896)}{\tanh(1.205)} = \frac{0.714}{0.835} = 0.86, \quad (9)$$

$$kl' = \sqrt{1 - 0.86^2} = 0.51, \quad (10)$$

Suskaičiuojamos pirmos trys eliptiniai integralo $K(k)$ funkcijos skaičiuoklės pagalba.^[12]

$$K(k) = 1.90, \quad (11)$$

$$K(k') = 1.81, \quad (12)$$

$$K(kl) = 2.17, \quad (13)$$

$$K(kl') = 1.70, \quad (14)$$

Gautas (11) – (14) formulėse vertės įstatome (6) formulę :

$$\varepsilon_{eff} = \frac{1 + 4.2 \cdot \frac{1.81 \cdot 2.17}{1.90 \cdot 1.70}}{1 + \frac{1.81 \cdot 2.17}{1.90 \cdot 1.70}} = \frac{6.12}{2.22} = 2.76, \quad (15)$$

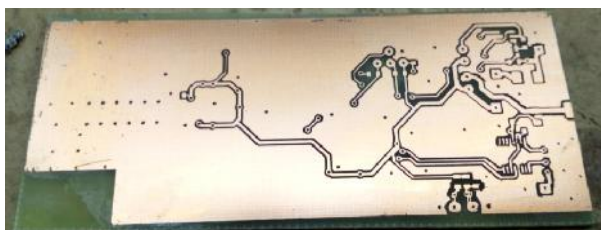
Visas apskaičiuotas vertes susistatome į (1) formulę ir patikriname ar $Z_0 = 50 \Omega$.

$$Z_0 = \frac{60 \cdot 3.14}{\sqrt{2.76}} \cdot \frac{1}{\frac{1.90}{1.81} + \frac{2.17}{1.70}} = \frac{188.4}{3.87} = 48.68 \Omega. \quad (16)$$

Apskaičiuotos ε_{eff} ir Z_0 vertės beveik nesiskiria nuo suskaičiuotų su skaičiuokle. Skirtumai gal jo atsirasti dėl skaičiavimų apvalinimo.

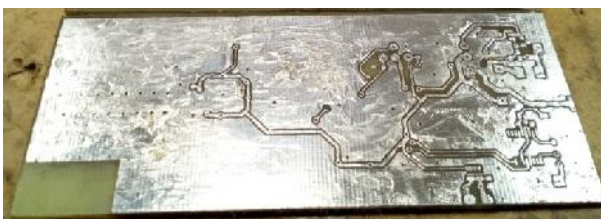
3.1. Gamyba

1. Išsodinama plokštė (pradžiai išsodinamas fotorezistas UV šviesa, o paskui išsodinamas varis natrio chloridu).



18 pav. Išsodinta plokštė

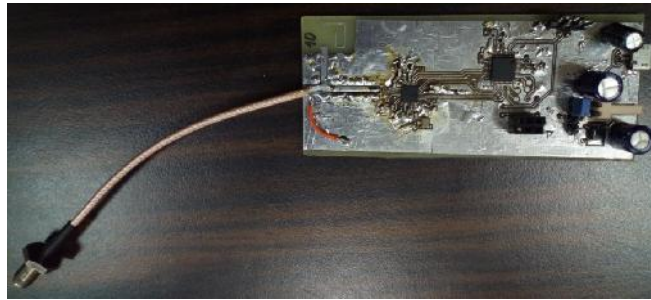
2. Plokštė padengiama lydmetaliu.



19 pav. Lydmetaliu padengta plokštė

3. Išgręžiamos skylutės komponentų montavimui.

4. Sumontuojami komponentai.



20 pav. Sumontuoti komponentai plokštėje

Komponentai montuojami keliais etapais:

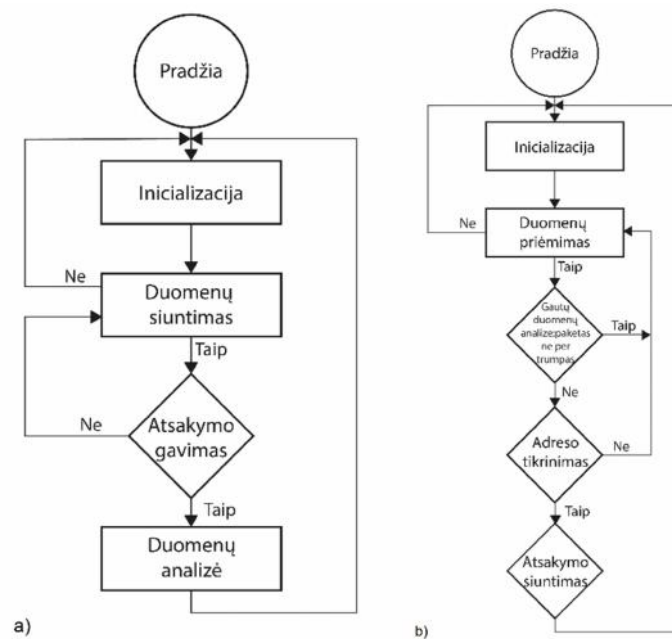
- 1) Kondensatorių, rezistorių, LED bei varželių litavimas.
- 2) Lusto (sąsajos su kompiuteriu), tampos stabilizatoriaus, jungčių litavimas.
- 3) Procesoriaus litavimas.
- 4) Siuvtuvo ir taktinio impulsų generatoriaus litavimas.
- 5) Antenos litavimas.

Detaliau lituojamos dalimis, patikrinant kiekvienos dalies veikimą. Jeigu randama klaidų, taisoma.

3.2. Programavimas

1. Surašytas procesoriaus kodas rašas bei jo adresai [2, 3 priedas].
2. Sukurta pagrindinė programa main(), kurioje surašytos funkcijos:
 - 1) skaitmeninis įėjimas/išėjimas konfigūravimui,
 - 2) procesoriaus taktinio dažnio skaičiavimui,
 - 3) procesoriaus palaikomųjų sąsajų inicializavimui, šviesos diodo valdymui (jungimas/išjungimas),
 - 4) paketo siuntimo, siuvtuvo b senos išvedimo terminalo paspaudus tam tikrą kompiuterio klaviatūros mygtuką [4 priedas].
3. Sutvarkytas nustatymų failas: rašytas mikrovaldiklio tipas, kvarcinių rezonatorių dažniai, UART, SPI modulių nustatymai [5 priedas].
4. Programa sukompiliuota ir kelta plokštės.

Blokinė programavimo veikimo schema pateikta 21 pav. Viena schema aprašo siuntimo (plokštės „Siuvtuvas“) programavimą (21 pav. a), kita – priėmimo (plokštės „Imtuvas“) programavimą (21 pav. b).

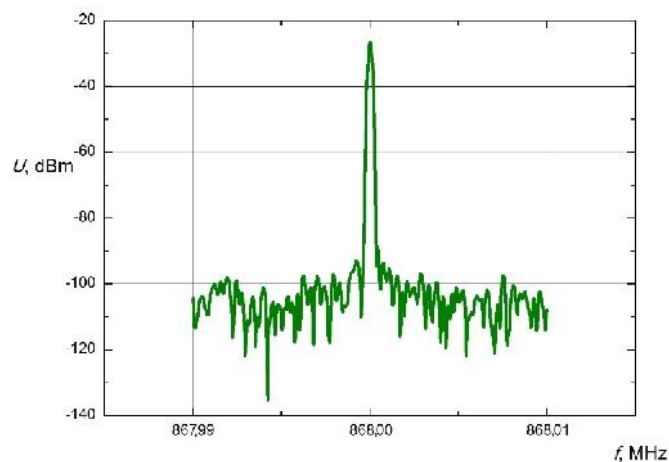


21 pav. Programos blokinė schema: a) duomenų siuntimui, b) duomenų gavimui

Plokštė „Si stuvas“ išsiuntusi duomenis laukia iš plokštės „Imtuvas“ atsakymo, jei atsakymą gauna – toliau analizuoja gautus duomenis. Plokštė „Imtuvas“ priėmusi duomenis patikrina ar jie skirti jai, jeigu taip – siunčia atsakymą plokštei „Si stuvas“.

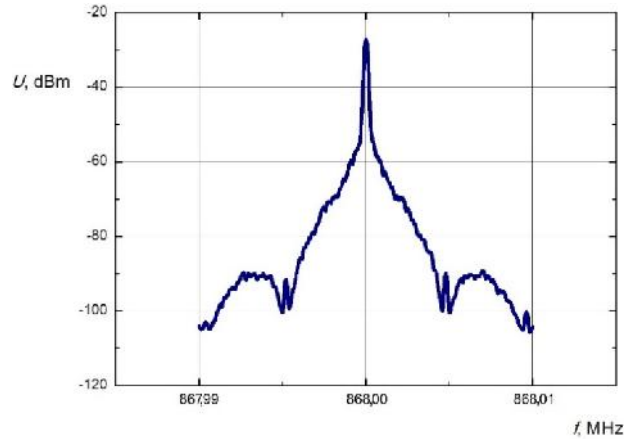
3.3. Kalibravimas

1. Prijungiame pirmąją plokštę prie spektro analizatoriaus, pasižiūrime nešlį, jeigu jis yra pasislinkęs nuo 868 MHz, nustatome jį kuo arčiau šio dažnio. Žemiau pateiktame paveikslėlyje signalas yra nesuvidurkintas, todėl matomi pašaliniai triukšmai.



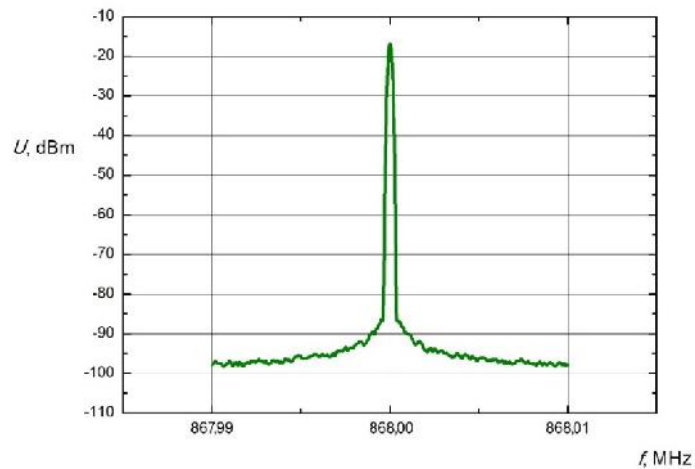
22 pav. Pirmosios plokštės signalo nešlys su išjungtu vidurkinimu

2. Spektro analizatoriuje perjungiamo režim bei stebime spektr , užsirašome signalo lyg : -27.232 dBm. Žemiau pateiktame paveiksl lyje matomas duomen perdavimas. Oscilografe jungtas vidurkinimas, todėl n ra matoma papildom trukdži , kaip 22 pav.



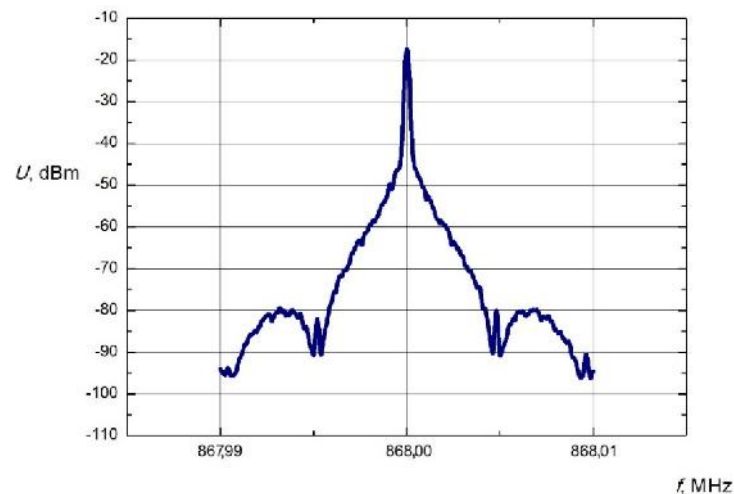
23 pav. Pirmosios plokšt s signalo spektras nenutr kstamai perduodant duomenis su jungtu vidurkinimu

3. Tas pats padaroma su antr ja plokšte. Prijungiame antr j plokšte prie spektro analizatoriaus, pasiži rime nešl , paderiname, kad jis b t ties 868 MHz dažniu.



24 pav. Antrosios plokšt s signalo nešlys su jungtu vidurkinimu

4. Perjungiamo spektroanalizatoriaus režim bei stebime antrosios plokšt s spektr . Užsirašome signalo lyg : -17.512 dBm.



25 pav. Antrosios plokštės signalo spektras nenutrūkstamai perduodant duomenis su jungtu vidurkinimu

5. Sujungiame tarpusavyje abi plokštes.
6. Nustatomas priimto signalo stiprumo indikavimas. RSSI parenkamas kiekvienai plokštei, pasiuntus paket (informacij) iš pirmos plokštės, antrą turi ateiti tokio pat stiprumo signalas koks iš jo iš pirmos. Ir atvirkščiai, pasiuntus paket (informacij) iš antros plokštės, pirmą turi ateiti tokio pat stiprumo signalas koks iš jo iš antros.

3.4. Tyrimas

3.4.1. Jautrumo matavimas

Plokštės jautrumo matavimas atliekamas patalpinus vieną plokštę izoliuotą dėžėje, kad signalas plokštė atkeliautų tiksliai iš laido, prijungto prie kitos plokštės. Viduje jau patalpintas – 50 dB atenuatorius. USB laidas, išeinantis iš vienos dėžės pusės, pajungiamas prie kompiuterio. Iš kitos dėžės pusės pajungiamas laidas, sujungiantis abi plokštes. Antroji plokštė per USB kabelį pajungiama prie kompiuterio (26 pav.).



26 pav. Jautrumo matavimo schema

Kompiuteriuose jungiama programa, kurios pagalba siunčiami paketai iš vienos plokštės kitai, bei žiūrima ar paketai praeina. Dėžės iš jime prijungiami atenuatoriai: vertė didinama iki tol, kol

paketai nebepraėina. Jautrumas gaunamas sud jus vis prijungt išor je bei viduje atenuatori vertes, bei plokšt s signalo lyg (plokšt s signalo lygis jautrumo matavime – 48 dB):

$$-50 + (-16) + (-48) = -114 \text{ dB} \quad (17)$$

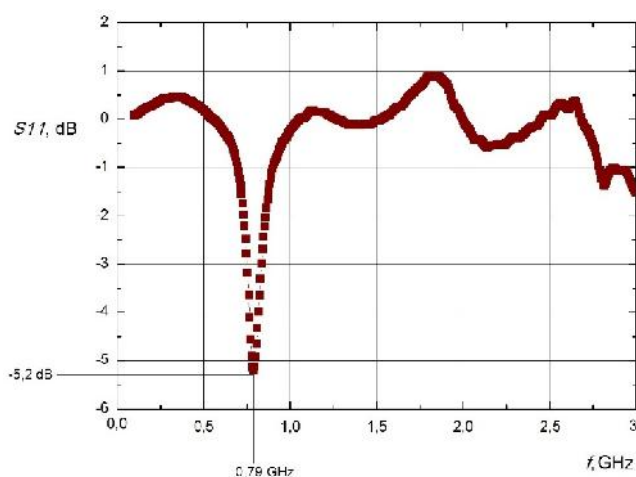
Jautrumo matavimai pakartoti kitai plokštei, pakeitus si stuvo paketo duomenis kode (norint gauti didesn jautrum). Pakeitimai daryti SmartRF studio programa: rašius si stuvo parametrus, programa sugeneruoja registrus, kurie keliami parašyt si stuvo program . J sukompiliavus, kelinama plokšt . Gautas jautrumas yra mažesnis – -88 dB.

3.4.2. Antenos charakteristik matavimas

Atliekant antenos charakteristik matavimus, laidas lituojamas prie antenos taip, kad b t atjungta visa plokšt , ir matuojamos tik antenos charakteristikos.

a) Atspindžio koeficiento matavimas

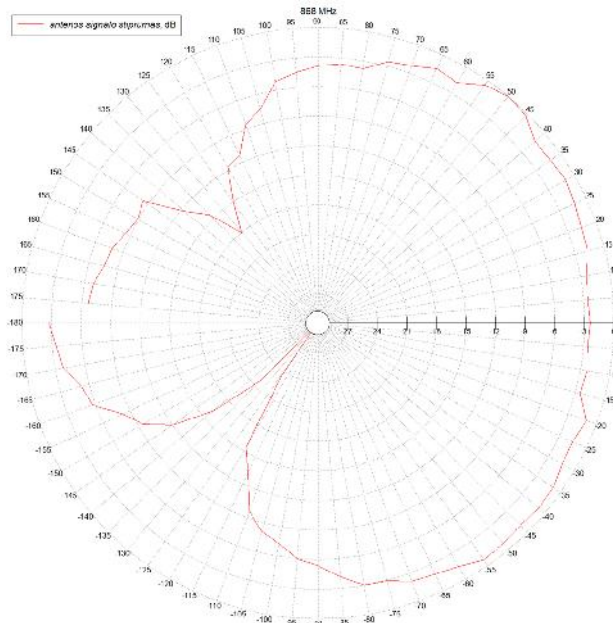
Atspindžio koeficientas matuotas specialiaame anten kambaryje. Sukalibravus tinklo analizatori ZVA 8, prijungus vienam gale dipolin anten , kitam gale tiriam si stuv , analizatoriumi matuojamas atspindžio koeficientas. Rezultatas pateiktas žemiau, 27 pav., lyginant su teorine kreive, gautas atspindžio koeficientas yra didesnis (didel energijos dalis nevirsta elektromagnetine banga, bet atsispindi nuo antenos) ir dažnis yra pasislink s iki 0.79 GHz. Toks rezultatas yra d l netiksliai pagamintos apkrovos antrame antenos gale – W2 takelio plotis (ži r ti 12 pav.) turi b ti 0.8 mm, o yra 0.5 mm.



27 pav. Išmatuotas atspindžio koeficientas

b) Spinduliavimo diagramos matavimas

Spinduliavimo diagrama buvo matuojama sukintant tiriamąją anteną ir registruojant gaunamus duomenis iš imtuvo (dipolinės antenos). Matavimai pradėti nuo taško „0“ pažymto žemiau esančiame paveikslėlyje. Maksimali spinduliavimo vertė ties 0° ir 180° . Kreivės pabėdis panašus teorijoje pateiktai kreivei.



28 pav. Tiriamos antenos spinduliavimo diagrama

3.4.3. Veikimo nuotolio matavimas

Prieš atliekant šiuos matavimus plokštės programos kodas buvo modifikuotas: pridėta, kad plokštė gavusi jai skirtą paketą, siųstų atsakymą atgal siųstuvui.

Viena plokštė (atliekanti imtuvo funkciją) pakabinama aukštai, kita (atliekanti siųstuvo funkciją), kartu su GPS moduliu yra prijungiama prie kompiuterio. Tuo pat metu nuo imtuvo tikrinama kokiam atstumui esant imtuvas nebegauna paketo iš siųstuvo. Imtuvas registruoja gauto signalo lygį ir išsiunčia šią informaciją siųstuvui. Parašyta programa registruoja GPS koordinates ir kartu su gauto priimto signalo lygiu rašo failą kompiuteryje.

Tyrimai atlikti keliuose vietovėse:

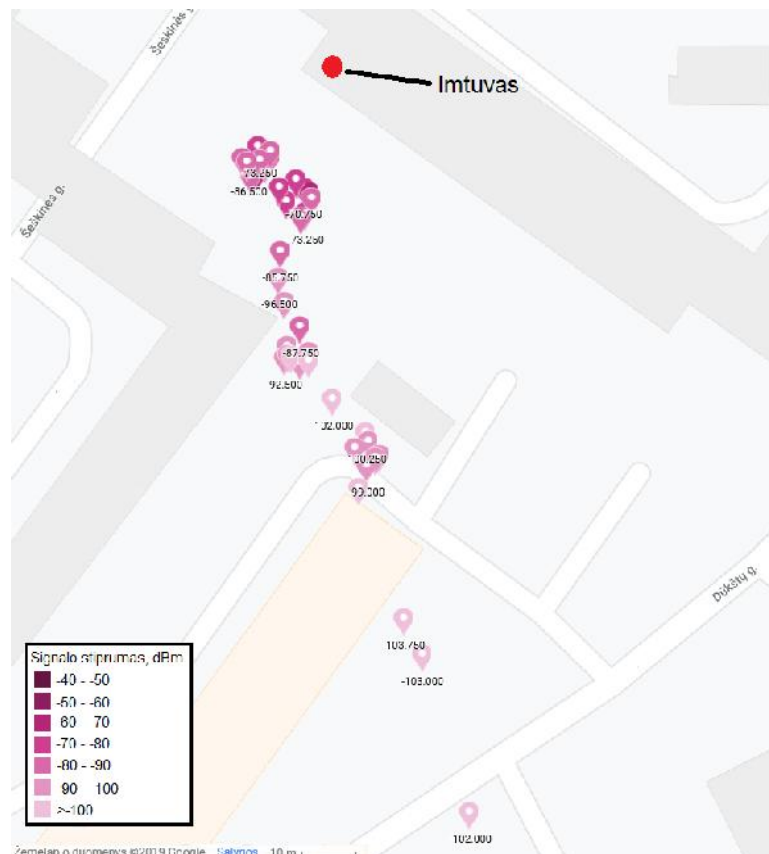
1. Saulėtekio alėja – imtuvas padėtas fizikos fakulteto 8 aukšte, lauke už langą. Išmatuotas maksimalus veikimo nuotolis – 490 m.

Priimto signalo stiprumas buvo matuojamas tolstant nuo imtuvo ir artinant prie jo. Rezultatai gauti tokie patys – tolstant nuo siųstuvo signalas silpnėja, artinant prie siųstuvo signalas stiprėja (30 pav.).

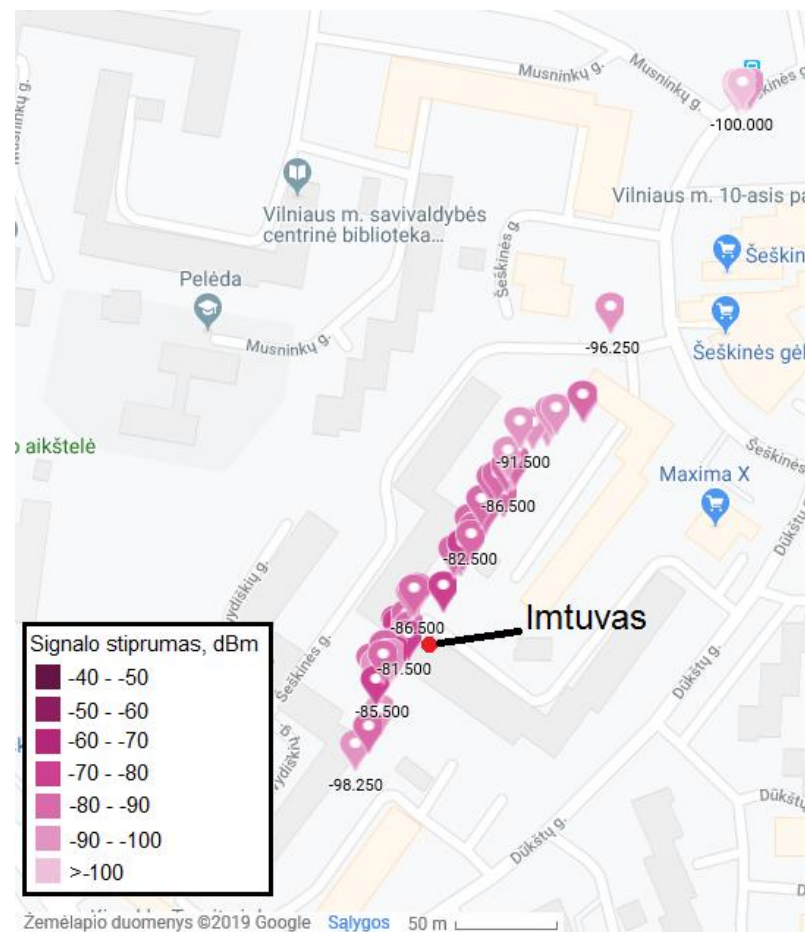


29 pav. Veikimo nuotolio matavimas Saulėtekio alėjoje

2. Tankiai užstatytas gyvenamasis rajonas – imtuvas padėtas 2 aukšte (apytiksliai 6 metrų aukštyje). Iš jo iš imtuvo matavimo zonos (atsistojus už namo) signalas nepraeidavo. Maksimalus atstumas, kuriame imtuvas dar priimdavo informaciją iš siųstuvo - 140 m ir 306 m.



30 pav. Veikimo nuotolio matavimas tankiai užstatytam gyvenamajam rajone (pirmas maršrutas)



31 pav. Veikimo nuotolio matavimas tankiai užstatytam gyvenamajam rajone (antras maršrutas)

4. Rezultatai

- 1) Suprojektuotas daikt interneto si stovas.
- 2) Pagaminta daikt interneto si stovo plokšt ir paruošta komponent montavimui.
- 3) Sumontuoti komponentai.
- 4) Sukalibruotos plokšt s.
- 5) Atlikti tyrimai.

5. Išvados

Pagaminto daikt interneto si stovo charakteristikos:

- Si stovo jautrumas 22 dBm geresnis negu pateiktas gamintojo technin je dokumentacijoje.
- Veikimo nuotolis ne tankiai užstatytame rajone iki 500 metr , esant 14 dBm galiai. Veikimo nuotolis gyvenamajam rajone nuo 140 metr iki 300 metr , tiesioginio matomumo zonoje,

esant 14 dBm galiai. Antenos veikimo nuotolis mažas (nesiekia tik tosi 1 km) dėl prasto antenos suderinamumo.

- Kadangi šis stovas yra nedidelio matmenų, panaudojimo sritis plati, pavyzdžiui, periodiškam duomenų kiekiui nuskaitymui iš renginių (pvz.: dujų, elektros skaitiklių, temperatūros daviklių).

Santrauka

Linda Lidija Zotikovait

Daikt interneto 868 MHz si stuvo konstravimas ir tyrimas

Pagrindinis šio darbo tikslas yra suprojektuoti, pagaminti daikt interneto si stuv panaudojant integruot impedans suderinimo grandin ir iširti jo charakteristikas.

Šiame darbe trumpai aptariama daikt interneto svarba šiuolaikiniame pasaulyje, bei siaurajuos io ir pla iajuos io ryšio privalumai ir tr kumai. Išvardinti komponentai kurie naudojami plokšt s gamyboje. Atlikti teoriniai takelio plo io, jungian io si stuvo lust su antena, skai iavimai.

Surinkus si stuv iširtos sekan ios charakteristikos: si stuvo jautrumas, antenos atspindžio koeficientas, antenos spinduliavimo diagrama, si stuvo veikimo nuotolis. Veikimo nuotolis matuotas keliose vietose.

Rezultate gauta, kad pagaminto si stuvo jautrumas 22 dBm didesnis negu pateikiamas gamintojo techniniame dokumente. Veikimo nuotolis ne tankiai užstatytame rajone iki 500 metr , esant 14 dBm galiai. Veikimo nuotolis gyvenamajam rajone nuo 140 metr iki 300 metr , tiesioginio matomumo zonoje, esant 14 dBm galiai.

Summary

Linda Lidija Zotikovait

868 MHz IoT Transceiver Design and Investigation

The main purpose of this work is to design, produce an Internet of Thing transmitter, using an integrated impedance matching circuit and to analyze its characteristics.

In this work briefly discussed the importance of the Internet of Thing in the modern world and the advantages and disadvantages of narrowband and wideband. There is a list of components used in plate production. Theoretical calculations of the track width connecting the RF chip to the antenna were performed.

The following characteristics were investigated when the transmitter was assembled: transmitter sensitivity, antenna reflection ratio, antenna radiation diagram, transmitter operating range. The range was measured in several locations.

The result is that the transmitter sensitivity by 22 dBm is better than that provided by the manufacturer's datasheet. The operating range in a living area is from 140 to 300 meters at a power of 14 dBm. The operating range in not densely built area are up to 500 meters at a power of 14 dBm.

Literat ros nuorodos

- [1] Internetinis straipsnis: <https://lifehacker.ru/internet-of-things-2/> Perži ros data: 2019-01-28
- [2] Internetinis straipsnis: <http://fb.ru/article/251264/internet-veschey---chto-eto-takoe-razvitie-interneta-veschey-v-rossii> Perži ros data: 2019-01-28
- [3] Internetinis straipsnis: <https://habr.com/company/unwds/blog/396869/> : LoRa UNB. 1: Perži ros data: 2019-01-28
- [4] Internetinis straipsnis: <https://robo-sapiens.ru/stati/internet-veshhey/> Perži ros data: 2019-01-28
- [5] Future Technology Devices International Ltd. FT230X (USB to BASIC UART IC) datasheet http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT230X.pdf Perži ros data: 2019-01-28
- [6] LD117 product datasheet <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/99/3b/7d/91/91/51/4b/be/CD00000544.pdf/files/CD00000544.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000544.pdf> Perži ros data: 2019-01-28
- [7] Low-Voltage Input Boost Regulator datasheet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001420D.pdf> Perži ros data: 2019-01-28
- [8] LPC11E1x product datasheet <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/LPC11E1X.pdf> Perži ros data: 2019-01-28
- [9] CC1200 product datasheet <http://www.ti.com/product/CC1200#> Perži ros data: 2019-01-28
- [10] Compact 868/915 MHz Antenna Design <http://www.ti.com/lit/an/swra160b/swra160b.pdf> Perži ros data: 2019-03-15
- [11] Internetin skai iuokl : Coplanar Waveguide With Ground Characteristic Impedance Calculator <http://chemandy.com/calculators/coplanar-waveguide-with-ground-calculator.htm> Perži ros data: 2019-01-28
- [12] Internetin skai iuokl : Elliptical Integrals Of The First Kind Calculator <http://chemandy.com/calculators/elliptical-integrals-of-the-first-kind-calculator.htm> Perži ros data: 2019-01-28

[13] 0868AT43A0020E antenna datasheet

<https://eu.mouser.com/datasheet/2/611/0868AT43A0020-1519301.pdf> *Perži ros data: 2019-03-15*

[14] Whitepaper NarrowBand_IoT – 1MA266_0e, J.Schnlienz, D. Raddino, 13 release

https://www.rohde-schwarz.com/us/applications/narrowband-internet-of-things-white-paper_230854-314242.html *Perži ros data: 2019-05-01*

[15] Internetinis straipsnis: NB-IoT?

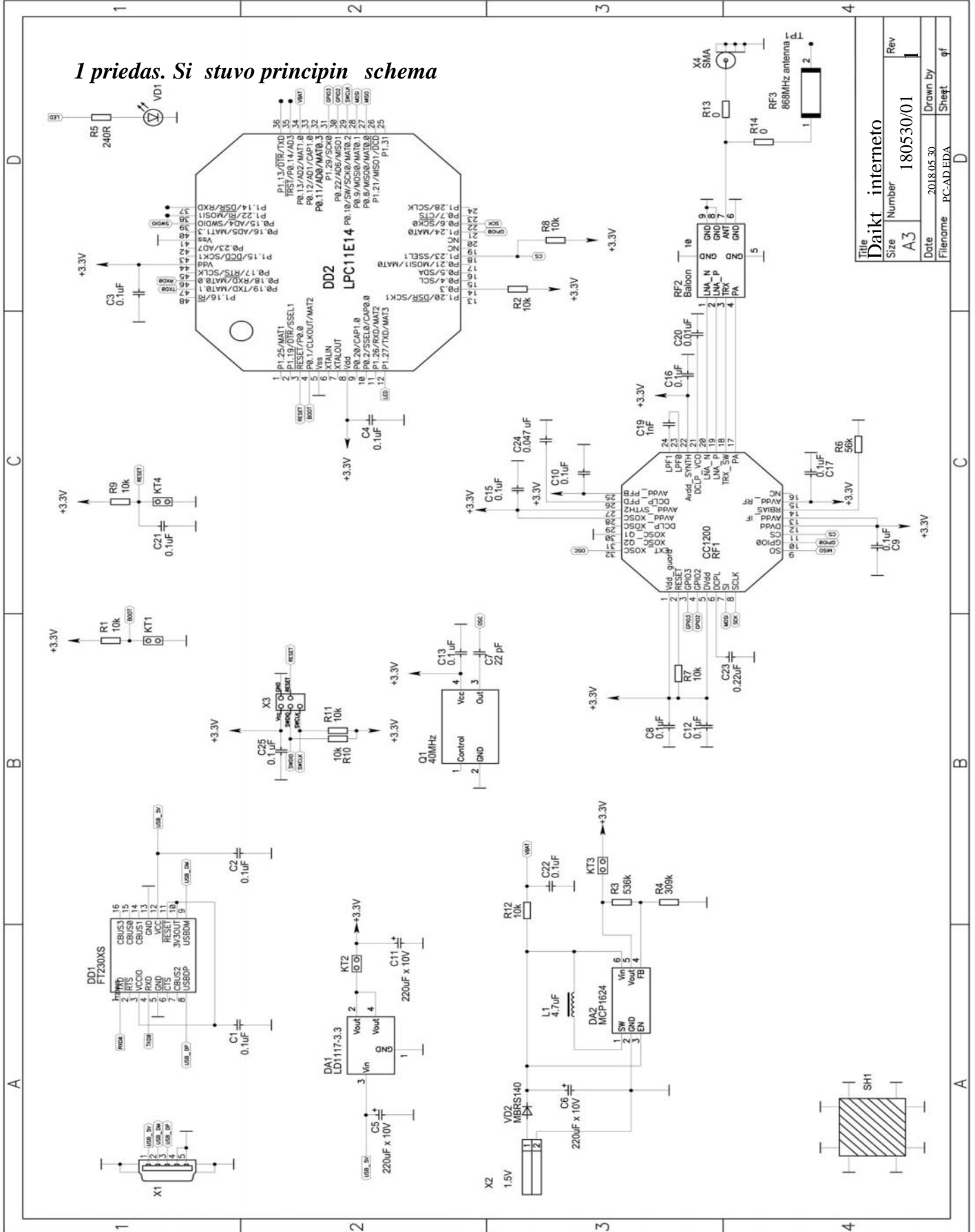
<https://www.intelvision.ru/blog/nb-iot> *Perži ros data: 2019-05-01*

[16] Understanding RSSI

<https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html> *Perži ros data: 2019-05-01*

Priedai

1 priedas. Si stuvo principin schema



Title		Daikt interneto	
Size	Number	Rev	
A3	180530/01		
Date	2018.05.30	Drawn by	
Filename	PC-AD.EDA	Sheet	gf

2 priedas. Procesoriaus koj s rašas

```
#include "project_settings.h"
#include "project_include.h"
const MCU_PIN DevicePins[]={
    { PIN_TX, MOD_UART0, 1, 0},
    { PIN_RX, MOD_UART0, 1, 0},
    { PIN_LED, MOD_GPIO, 0, PINMODE_DIG_OUT_HIGH},
    { PIN_RF_RST, MOD_GPIO, 0, PINMODE_DIG_OUT_HIGH},
    { PIN_RF_CS, MOD_GPIO, 0, PINMODE_DIG_OUT_HIGH},
    { PIN_RF_GPIO0, MOD_GPIO, 0, 0},
    { PIN_RF_GPIO2, MOD_GPIO, 0, 0},
    { PIN_RF_GPIO3, MOD_GPIO, 0, 0},
    { PIN_SPI0_SCK, MOD_SPI0, 2, 0},
    { PIN_SPI0_MISO, MOD_SPI0, 1, 0},
    { PIN_SPI0_MOSI, MOD_SPI0, 1, 0},
    { PIN_SPI1_SCK, MOD_SPI1, 2, 0},
    { PIN_SPI1_MISO, MOD_SPI1, 2, 0},
    { PIN_SPI1_MOSI, MOD_SPI1, 2, 0},
    { PIN_MCU_GPIO1, MOD_GPIO, 1, 0},
    { PIN_MCU_GPIO2, MOD_GPIO, 1, 0},
    { PIN_MCU_GPIO3, MOD_GPIO, 1, 0},
    { PIN_BATT, MOD_ADC, 1, PINMODE_ADMODE},
    { 0, 0, 0, 0} // pabaigos narys
};
```

3 priedas. Procesoriaus koj adresai

```
#include "chip_ccl20x_config.h"
#include "chip_ccl20x_1.h"
#include "rf_modem.h"
#ifdef REMOTE
    #include "rf_protocol.h"
#endif
#ifdef LOCAL
    #include "pc_protocol.h"
#endif

#define PIN_RX 0x012
#define PIN_TX 0x013
#define PIN_RF_RST 0x016
#define PIN_RF_CS 0x002
#define PIN_RF_GPIO0 0x015
#define PIN_RF_GPIO2 0x117
#define PIN_RF_GPIO3 0x118
#define PIN_SPI0_SCK 0x006
#define PIN_SPI0_MISO 0x008
#define PIN_SPI0_MOSI 0x009
#define PIN_SPI1_CS 0x113
#define PIN_SPI1_SCK 0x114
#define PIN_SPI1_MISO 0x115
#define PIN_SPI1_MOSI 0x116
#define PIN_MCU_GPIO1 0x00B
#define PIN_MCU_GPIO2 0x00C
#define PIN_MCU_GPIO3 0x00D
#define PIN_MCU_GPIO4 0x00E
#define PIN_LED 0x014
```

```

#define PIN_BATT          0x010
extern const MCU_PIN DevicePins[];

#ifdef REMOTE
uint32_t Batttery(void);
void SwitchLedOn(unsigned int period);
#endif

```

4 priedas. Pagrindin main() programa

```

#include "project_settings.h"
#include "project_include.h"
volatile unsigned int MainTimer, LedTimer;
void Timer0Func(void);
unsigned int Modulation, EEPROM_Status, LedTaskStep, LedSwitchOnTime;

static void Task_Test(void);
static void Task_Led(void);

#ifdef LOCAL
#warning "LOCAL configuration"
#else
#ifdef REMOTE
#warning "REMOTE configuration"
#else
#error "Configuration must be defined"
#endif
#endif
#endif

int main(void)
{
    unsigned int c;
    MainTimer = 0;
    SYS_ClockInit();
    SYS_CalcCoreClock();
    PIN_Configure(MOD_GPIO);
    TIMER_Init(0, 1000, Timer0Func);
    UART_Init(0, 115200);
    STREAM_Init();

#ifdef LOCAL
    OUTDEV_DEBUG = OUTDEV_NULL;

```

```

CMD_InitTask();
#endif

MODEM_Init();

#ifdef REMOTE
PIN_Set(PIN_LED);
Delay(300);
PIN_Clear(PIN_LED);
ADC_Init(ADC_CH5, ADC_DIV_AUTO, 0);
xfprintfn(OUTDEV_DEBUG, "IOT transceiver start");
xfprintfn(OUTDEV_DEBUG, "MCU clock %d", SYS_GetCoreClock_Hz());
xfprintfn(OUTDEV_DEBUG, "RF addr = %02X", ModemControl.rf_addr);
#endif

for(;;)
{
    #ifdef LOCAL
        CMD_Task();
    #endif
    #ifdef REMOTE
        Task_Test();
    #endif
    Task_Led();
    MODEM_Task();
}
return 0;
}

#ifdef LOCAL
static void Task_Led(void)
{
    switch(LedTaskStep)
    {
        case 0:
            PIN_Set(PIN_LED);
            LedTaskStep++;
            LedTimer = 0;
            break;

```

```
case 1:
    if(LedTimer > 50)
    {
        PIN_Clear(PIN_LED);
        LedTaskStep++;
        LedTimer = 0;
    }
    break;
case 2:
    if(LedTimer > 50)
    {
        PIN_Set(PIN_LED);
        LedTaskStep++;
        LedTimer = 0;
    }
    break;
case 3:
    if(LedTimer > 50)
    {
        PIN_Clear(PIN_LED);
        LedTaskStep++;
        LedTimer = 0;
    }
    break;
case 4:
    if(LedTimer > 3000)
    {
        LedTaskStep = 0;
    }
    break;
default:
    LedTaskStep = 0;
}
}
#endif

#ifdef REMOTE
static void Task_Led(void)
{
```

```

switch(LedTaskStep)
{
    case 0:
        break;
    case 1:
        if(LedTimer > LedSwitchOnTime)
        {
            LedTimer = 0;
            PIN_Clear(PIN_LED);
            LedTaskStep = 0;
        }
        break;
    default:
        LedTaskStep = 0;
}
}

void SwitchLedOn(unsigned int period)
{
    LedSwitchOnTime = period;
    LedTimer = 0;
    LedTaskStep = 1;
    PIN_Set(PIN_LED);
}
#endif

#ifdef REMOTE
static void Task_Test(void)
{
    unsigned short c;
    int p;
    c = UART_Getch(0);
    if(c)
    {
        c &= 0xFF;
        if(c == 't')
        {
            RF_SendTest();
            xfprintln(OUTDEV_UART0, "send TEST");
        }
    }
}

```

```

    }
    if(c == 'e')
    {
        xfprintf(OUTDEV_UART0, "\n\rnum=%X ver=%X",
CC120X_SingleRegRd(CC120X_REG_PARTNUMBER),
CC120X_SingleRegRd(CC120X_REG_PARTVERSION));
    }
    if(c == 'r')
    {
        xfprintf(OUTDEV_UART0, "Reset");
        CC120X_Reset();
    }
    if(c == 's')
    {
        CC120X_PrintState(OUTDEV_DEBUG);
    }
    if(c == 'p')
    {
        CC120X_PrintAllRegs(OUTDEV_UART0);
    }
    if(c == 'm')
    {
        xfprintf(OUTDEV_UART0, "RX len=%d TX len=%d",
CC120X_SingleRegRd(CC120X_REG_NUM_RXBYTES),
CC120X_SingleRegRd(CC120X_REG_NUM_TXBYTES));
    }
    if(c == 'w')
    {
        xfprintf(OUTDEV_UART0, "Modem work");
        MODEM_SetState(MODEM_STATE_WORK);
    }
}
}
#endif

void Timer0Func(void)
{
    MainTimer++;
    CC120X_GuardTimer++;
}

```

```

    LedTimer++;
    #if USE_DELAY>0
        DelayTimer_ms++;
    #endif
    #ifdef LOCAL
        ProtocolRxTimer++;
        ProtocolStatusTimer++;
    #endif
}

```

5 priedas. Nustatym failas

```

#include "mcu_list.h"
#define CHIP_TYPE          CHIP_LPC11Exx //mikrovaldiklio tipas
#define RTC_FREQUENCY_HZ  32768 //kvarcini rezontari dažniai
#define OSC_FREQUENCY_MHZ 10 //kvarcini rezontari dažniai
#define OSC_FREQUENCY_HZ  (OSC_FREQUENCY_MHZ*1000000)
#define OSCFG_MAIN_CLOCK_SETUP  1
#define OSCCFG_BYPASS  0
#define OSCCFG_RANGE  0
#define OSCCFG_FCLKANA_DIV  0
#define OSCCFG_FCLKANA_FREQ  1
#define OSCCFG_MAIN_MSEL  3
#define OSCCFG_MAIN_PSEL  2
#define OSCCFG_MAIN_CLK  3
#define OSCCFG_PLL_CLK  0
#define OSCCFG_AHB_DIV  1
#define USE_UART0  1 //UART moduolio nustatymai
#define RX0BUFSIZE  10
#define TX0BUFSIZE  2000
#define USE_SPI0  1 //SPI moduolio nustatymai
#define USE_SPI1  1
#define USE_TIMER0  1 //TIMER moduolio nustatytmai
#define USE_TIMER1  1
#define USE_ADC  1
#define USE_STREAM  0x11 //Naudoti formatuoto išvedimo funkcijas
//Apdoroti ir išvesti branduolio klaidas
#define USE_ERROR  1
#define ERROR_UART  0
#define ERROR_BITRATE  9600
#define ERROR_TIMER  0
#define CC120X_EN_DEBUG_INFO  1
#define COMMAND_UART_CH  0
#define SOFTWARE_VERSION  0x100
#define HARDWARE_VERSION  0x300
#define USE_DELAY  1 //Naudoti užlaikymams RIT skaitikl ir Delay() fukcij
#define USE_IAP  1
#define USE_MATH  1
#define USE_EEPROM  1

```