

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Romas Lukas

**Realaus laiko sensorinio procesoriaus aparatinės ir
programinės įrangos sudarymas ir tyrimas**

Magistro darbas

Darbo vadovas

prof. E. Kazanavičius

KAUNAS, 2012

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

**Realaus laiko sensorinio procesoriaus aparatinės ir
programinės įrangos sudarymas ir tyrimas**

Magistro baigiamasis darbas

Recenzentas

Dr. Prof. V. Jusas

2012 05

Vadovas

Dr.Prof. E. Kazanavičius

2012 05

Atliko

IFM-0/5 gr. stud.

R. Lukas

2012 05 23

KAUNAS, 2011

Santrauka

Patalpų temperatūros matavimas yra būtinas, siekiant kontroliuoti patalpų šildymą, vėdinimą. Stebėjimui atlikti, sukurti sensoriniai procesoriai, kurie matuoja temperatūrą ir bevielio radijo signalu ją siunčia į duomenų surinkimo įrenginį. Darbe yra pateikti algoritmai ir prietaisai, kurie yra naudojami temperatūrai matuoti. Duomenys perduodami radijo ryšio dažniu - 433 MHz. Dėl sistemos paprastumo ir mažesnio energijos suvartojimo, sensorinis procesorius duomenis gali tik siųsti. Turint tik šią funkciją, sensorių sinchronizuoti nėra galimybės. Siekiant galimybės, naudoti keliolika siųstuvų, duomenys yra užkoduojami išskleisto spektro (angl. spread spectrum) metodu, kuris leidžia išskirti vieno siųstuvo signalą iš bendro radijo signalo, kuriame yra kelių siųstuvų signalai ir aplinkos triukšmas.

Šiuo darbu siekta sukurti temperatūros matavimo sistemai bevielį siųtuvą, kurio duomenų perdavimo algoritmas veiktų pasirinktoje architektūroje, naudotų mažai energijos, kas sąlygotų sensorinio procesoriaus maitinimo šaltinio ilgaamžiškumą, o jo architektūra būtų paprasta, kas įtakotų nedidelę siųstuvo kainą. Darbe atlikta temperatūros matavimų prietaisų ir jų algoritmų analizė, bei duomenų perdavimo bevielėmis sistemomis būdų analizė. Sudarytas matematinis modelis temperatūros matavimui ir išsiuntimui, atsižvelgiant į optimalų energijos suvartojimą. Atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių pagalba nustatyta, kaip keičiasi energijos suvartojimas, keičiant sistemos valdymo algoritmus, kokia energijos suvartojimo priklausomybė nuo moduliacijos sekų ilgio, duomenų perdavimo atstumo priklausomybė nuo sekų ilgio.

Summary

The measurement of room temperature is necessary seeking to control heating and ventilation in the room. For this purpose a sensory processor was created. It measures temperature by means of radio signal and sends the measurements to the device collecting data. Algorithms and devices for measuring temperature and transmitting data by radio signal were discussed in this work. Data are transmitted by radio contact frequency – 433 MHz. In order to get the simplicity of the system and a lower degree of energy use, a sensory processor can only send data, therefore there is no possibility to synchronize transmitters with each other and with the receiving device. Seeking to use several devices, data are encoded with the method of spread spectrum. This method allows to emit signal of one transmitter from the general radio signal which includes signals of several transmitters and the noise.

Wireless transmitter of temperature measurement system was created in the course of this work. The algorithm of data transmitter works in chosen architecture and uses a small amount of energy. It prolongs the length of work of sensory processor power supply. The analysis of devices measuring temperature and their algorithms is presented in the work. The ways of data transmission by wireless systems is discussed. Taking into consideration optimal energy use, mathematic model for measuring and sending temperature has been made. During experimental researches energy use dependencies from algorithm of system management and modulation length of sequences has been determined as well as data transmission distance dependence on the length of sequences.

Svarbių terminų žodynėlis

ADC - Analoginis skaitmeninis keitiklis (angl. analog to digital converter).

DAC - Skaitmeninis analoginis keitiklis (angl. digital to analog converter)

NTC - termistorius su neigiamu koeficientu (angl. negative temperature coefficient)

PTC - termistorius su teigiamu koeficientu (angl. Positive Temperature Coefficient)

WDT - procesoriaus įrenginys, prikeliantis procesorių iš miego režimo, po pasirinkto laiko intervalo

Paveikslai

1 pav. Namų patalpų temperatūros matavimo sistema (I - duomenų surinkimo įrenginys, S - temperatūros matavimo ir siuntimo įrenginys).....	8
2 pav. Temperatūros stebėjimo struktūrinis modelis	11
3 pav. Temperatūros sensoriaus S kur $S_1 \in S_n$ (1 pav. 2 pav.) bendroji schema.....	12
4 pav. Įtampos daliklis.....	14
5 pav. varžos priklausomybė nuo temperatūros	14
6 pav. Duomenų siuntimas bevielė erdve.....	16
7 pav. Duomenų kodavimas CDMA metodu.....	17
8 pav. Temperatūros matavimo principinė schema.....	20
9 pav. Temperatūros priklausomybė nuo ADC reikšmės.....	21
10 pav. Skaidymo į intervalus pirminės kreivės padengimas naujais skaidiniais.....	22
11 pav. Dalijimas į tieses (padidintas vaizdas).....	23
12 pav. Lagranžo polinomo skaičiavimui reikalingų taškų parinkimas.....	24
13 pav. Pavertus į Lagranžo interpoliacinius daugianarius gautas grafikas.....	25
14 pav. Sensorinio procesoriaus būsenų diagrama	27
15 pav. Teorinis energijos suvartojimas	28
16 pav. Principinė sensorinio procesoriaus schema.....	30
17 pav. Sensorinio procesoriaus montažinė plokštė.....	31
18 pav. Energijos suvartojimas priklausomai nuo matavimų intervalų	34
19 pav. Srovės suvartojimo mAs priklausomybė nuo paketų kiekio	35
20 pav. Srovės dalies suvartojimas 4 paketų siuntimui.....	36
21 pav. Srovės vartojimo priklausomybė nuo sekų ilgių	37
22 pav. Siųstuvo bandymo planas.....	38

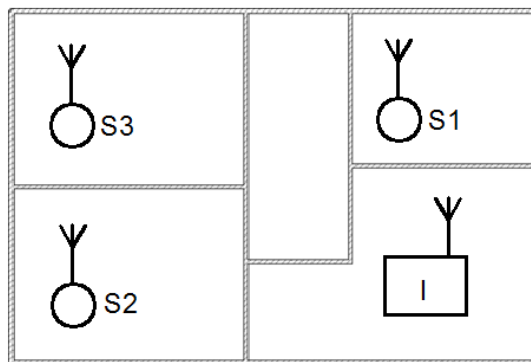
TURINYS

Įvadas.....	8
1 Realaus laiko sensorinio procesoriaus aparatūrinės ir programinės įrangos analizė	10
1.1 Esamų duomenų surinkimo ir perdavimo sistemų analizė	10
1.2 Tiriamo objekto analizė.....	11
1.3 Temperatūros matavimo prietaisų analizė.....	13
1.4 Mikro valdikliai skirti nesudėtingų sistemų valdymui.....	15
1.5 Duomenų perdavimas bevielėmis sistemomis	15
1.6 Duomenų perdavimo algoritmai	16
1.7 Išvados.....	18
2 Realaus laiko sensorinio procesoriaus skaičiavimų ir valdymo algoritmų sudarymas.....	19
2.1 Temperatūros matavimo prietaiso algoritmų projektavimas	19
2.2 Duomenų kodavimo CDMA metodu algoritmo tyrimas.....	26
2.3 Sensorinio procesoriaus aparatūrinės įrangos valdymo algoritmo sudarymas ir tyrimas.....	26
2.4 Sensorinio procesoriaus aparatūrinės įrangos sudarymas	29
3 Realaus laiko sensorinio procesoriaus aparatūrinės ir programinės įrangos tyrimas.....	32
3.1 Sistemos energijos suvartojimo pokytis, priklausantis nuo sistemos valdymo algoritmo	32
3.2 Energijos suvartojimo priklausomybė nuo moduliacijos sekų ilgio, paketų kartojimo dažnio	35
3.3 Duomenų perdavimo atstumo priklausomybė nuo sekų ilgio	38
Išvados.....	40
Rekomendacijos	41
Literatūros sąrašas.....	42
Priedai.....	44

Įvadas

Realaus laiko sistemos tampa vis aktualesnės šiuolaikiniame pasaulyje. Informacijos kiekis ir gyvenimo tempas pastaruoju metu labai smarkiai išaugo. Šiuo metu labai didelis dėmesys žmogaus gyvenime yra skiriamas patogiai darbo ir gyvenimo aplinkai. Tiesioginiai išmanieji namai, biurai, pramogų zonos. Tokių sistemų paskirtis yra ne tik patalpa padaryti komfortiška, bet ir taupyti energiją. Daugiausia energijos suvartojama patalpa šildyti. Šiam tikslui yra kuriamos sistemos, kurios matuoja patalpų temperatūras ir didina arba mažina jų šildymą, įjungia vėdinimą.

Temperatūros matavimas kambaryje yra viena pagrindinių sistemos reikiama reguliuoti šildymo sistemos darbą. Tokiems davikliams keliami šie reikalavimai: paprastas ir nesudėtingas įrengimas, nesudėtingas naudojimas, patikimumas, nedidelė kaina. Temperatūros stebėjimo koncepcija pavaizduota 1 pav.



1 pav. Namų patalpų temperatūros matavimo sistema (I - duomenų surinkimo įrenginys, S - temperatūros matavimo ir siuntimo įrenginys)

Problema - norint užtikrinti patikimą duomenų perdavimą reikalingi sudėtingi algoritmai ir didelis perduotų duomenų kiekis, tam reikalinga sudėtinga aparatinė įranga, kuri suvartojamas didelis energijos kiekis, kas sąlygos trumpą baterijos naudojimo laiką. Tokios aparatūros kaina bus didelė.

Pagrindinis darbo tikslas - sukurti temperatūros matavimo sistemai bevielį siųstuvą, kurio duomenų perdavimo algoritmas veiktų pasirinktoje architektūroje, naudotų mažai energijos, kas sąlygotų sensorinio procesoriaus maitinimo šaltinio ilgaamžiškumą, o jo architektūra būtų paprasta, kas įtakotų nedidelę siųstuvo kainą.

Darbo uždaviniai:

- atlikti temperatūros matavimų prietaisų ir jų algoritmų analizę;

- išanalizuoti duomenų perdavimo bevielėmis sistemomis būdus;
- sudaryti matematinį modelį temperatūros matavimui ir išsiuntimui, atsižvelgiant į optimalų energijos suvartojimą;
- sudaryti matematinius algoritmus temperatūros matavimui ir išsiuntimui, atsižvelgiant į optimalų energijos suvartojimą;
- eksperimentiniais tyrimais nustatyti ir palyginti:
 - kaip keičiasi energijos suvartojimas keičiant sistemos valdymo algoritmus;
 - kokia energijos suvartojimo priklausomybė nuo moduliacijos sekų ilgio, siuntimo dažnio;
 - duomenų perdavimo atstumo priklausomybė nuo sekų ilgio.

Darbo struktūra

Analizės dalis - atliekamas duomenų surinkimo ir perdavimo bevielėmis sistemomis tyrimas. Analizuojami temperatūros matavimo įtaisai, jų parametrai ir algoritmai, kurie reikalingi apdoroti duomenims. Surinktus duomenis, reikia perduoti bevieliu ryšiu, šiam tikslui - analizuojami pagrindiniai duomenų perdavimo būdai, o pateikiami sistemai tinkamiausi algoritmai.

Teorinė dalis - pagal analizės dalyje nagrinėtus temperatūros skaičiavimo algoritmus, sudaromas matematinis modelis temperatūros skaičiavimui, bei parenkamas optimalus būdas jai skaičiuoti. Sudaromas mikro valdiklio veikimo algoritmas, suprojektuojama ir pagaminama spausdintinė montažinė plokštė.

Eksperimentinė dalis - aprašomi atlikti eksperimentai. Atliekami realūs bandymai su sistema, stebimas jos energijos suvartojimas, kuris priklauso nuo perduodamo duomenų kiekio, skleidimo sekų ilgių. Tiriama, kaip priklauso atstumas, nuo bito skleisties (koduojamos sekos) ilgio.

1 Realaus laiko sensorinio procesoriaus aparatūrinės ir programinės įrangos analizė

1.1 Esamų duomenų surinkimo ir perdavimo sistemų analizė

Temperatūros stebėjimas nuo seno naudojamas pramonėje, žemės ūkyje, aplinkos stebėjime. Technologijoms pingant, atsiranda galimybės ir poreikis jas naudoti buityje. Lietuvos rinkoje galima įsigyti prietaisų, kurie radijo bangomis perduoda aplinkos parametrus į namuose esančią priėmimo stotelę. Taip pat, labai plati pasiūla sistemų, kurios matuoja skysčių, burių medžiagų parametrus, ir laidais juos perduoda į pagrindinę stotelę.

Energijos aprūpinimas. Energija prietaisui gali būti tiekama kelias būdais, tai yra: turėti nuosavą energijos šaltinį, būti maitinamas iš tinklo, mišrus būdas. Tuo atveju kai įrenginys turi savo maitinimo šaltinį, jis gali būti maitinamas baterija, saulės elementais ir kitomis priemonėmis. Tokio prietaiso maitinimo didžiausias privalumas yra - įrengiant nereikia atvesti laidų maitinimui, jį daug lengviau perkelti iš vienos vietos į kitą. Trūkumas - reikia keisti baterijas, nes jai senkant prastėja duomenų perdavimo patikimumas, visiškai nusilpus baterijai prietaisas visiškai nebeperduoda duomenų.

Duomenų siuntimas. Duomenys gali būti perduodami įvairiomis terpėmis, nuo radijo signalų iki varinių laidų ar stiklo pluoštų. Priklausomai nuo atstumais ir duomenų kiekio yra nustatoma kaip bus perduodami duomenys. Ne ką mažiau svarbus veiksnys yra galimybė praveisti laidus, nes pavyzdžiui sandarioje patalpoje gali nebūti galimybės tiesti kabelį. Beveik visi įrenginiai dažniausiai perduoda tik mažus duomenų kiekius, kadangi dideliems matavimams ir dažnam siuntimui reikia daug energijos. Duomenų siuntimas laidais turi privalumą - duomenų siuntimo patikimumas, nes priešingai, nei bevielė erdve, triukšmai čia maži ir pasitaiko retai.

Dabar atsiranda vis naujų ir įvairių būdų, kaip duomenis surinkti ir perduoti. Viena iš naujovių vieno laido (angl. one wire) technologija, kada vienu laidu prietaisas yra maitinamas ir iš jo paimami duomenys. Dalis prietaisų duomenų nesiunčia, o rašo juos į atmintį ir vartotojui prijungus prie duomenų nuskaitymo įrenginio (kompiuterio ar panašaus įrenginio) juos patiekia vartotojui.

Rinkoje nemažai produktų, kurie surenka duomenis ir juos perduoda naudojant standartinius protokolus ir įtampas, tokias kaip RS232, RS484 [1]. Tokių prietaisų privalumas yra tas, kad juos lengvai galima įjungti į jau veikiančias sistemas, kadangi šie protokolai yra standartizuoti ir pakankamai plačiai paplitę.

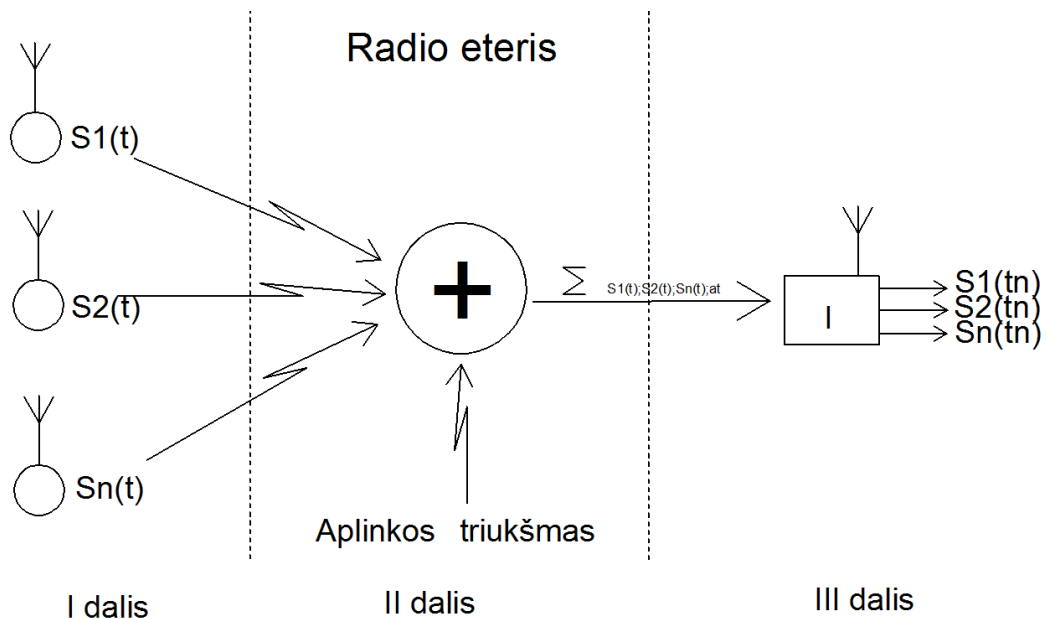
Aplinkos stebėjimų sistemų kainos svyruoja priklausomai nuo:

- kokioje aplinkoje jos dirbs – darbo temperatūra, bus karšta ar šalta, bus agresyvių medžiagų, galimi mechaniniai pažeidimai;
- kokie parametrai bus matuojami – temperatūra, slėgis, drėgnumas...
- koku atstumu bus perduodami duomenis – namo, biuro, gamyklos patalpose, per telefoną, internetu;
- kiti.

Duomenų perdavimas bevieliu ryšiu labai supaprastina sistemos įrengimą. Jei sistema turi autonominį maitinimą, tokį kaip baterija, yra išsprendžiamas ir maitinimo klausimas, nes ne visur yra galimybė maitinti iš elektros tinklo. Apibendrinant, galima teigti, kad sistemą būtų paprasta įrengti - tinkamiausias būdas yra radijo signalo pavidalu perduoti duomenis, o maitinti iš baterijos ar akumuliatoriaus.

1.2 Tiriama objekto analizė

Temperatūros stebėjimo sistemos taikymas – vidaus patalpų temperatūros stebėjimas. Temperatūrinis jos darbo režimas bus nuo 5 °C iki 50 °C.. Visą sistemą galima padalinti į dvi atskiras ir vieną bendrą dalį (2 pav.).



2 pav. Temperatūros stebėjimo struktūrinis modelis

I dalis

Pirmoje dalyje yra temperatūros sensorius, kuris matuoja temperatūrą ir ją siunčia radijo bangomis. Šio darbo tikslas yra detaliau išnagrinėti šiai sistemai reikalingus algoritmus, aparatūrinę įrangą.

II dalis

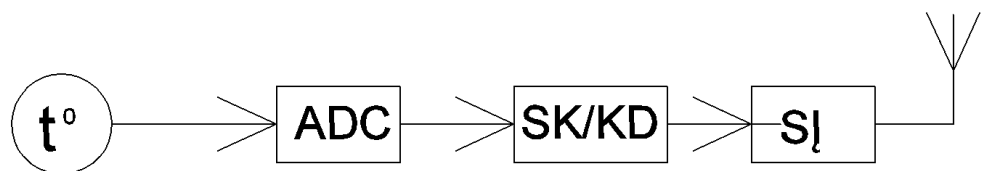
Ši sistemos dalis apima duomenų persiuntimui reikalingus algoritmus, bei jiems naudojamus protokolus. Šią darbo dalį reikia labai glaudžiai derinti su Igno Plauskos magistro darbe sudarytais algoritmais "Realaus laiko informacijos surinkimo aparatinės bei programinės įrangos sudarymas ir tyrimas" [2], kadangi duomenų užkodavimo algoritmas yra labai svarbus veiksnys, kai juos reikia atkoduoti. Taip pat reikia atsižvelgti ir į tai, kad ryšio kanalas bus pilnas aplinkos triukšmų. Tiriant duomenų perdavimą labai svarbus veiksnys yra ne vien duomenų perdavimo patikimumas, bet ir energijos suvartojimas, kadangi kuo sudėtingesnis duomenų kodavimas ir kuo jų daugiau, tuo didesnis energijos suvartojimas.

III dalis

Trečiosios dalies tyrimą ir projektavimą ir projektavimą atliko Ignas Plauska magistro darbe [2]. Ji yra skirta duomenų surinkimo procesoriaus kūrimui. Šis įrenginys surinks informaciją ateinančią iš sensoriaus, ją iškoduos ir pateiks vartotojui.

Šiame darbe projektuojama ir tiriama sensorinė dalis. Tai apima algoritmų nagrinėjamą optimaliam duomenų užkodavimui, atsižvelgiant į energijos suvartojimą ir duomenų persiuntimo kokybės santykį. Svarbus veiksnys, pasirenkant duomenų užkodavimo algoritmą yra galimybė, gavėjui priimta signalą, kuriame yra užkoduoti duomenys, jį išskirti iš aplinkos triukšmo.

Sensoriniams procesoriams, nesvarbu kokius aplinkos parametrus matuoja įvairūs davikliai. Jam svarbu gautas reikšmes paversti į skaitmeninį signalą. Skaitmenis signalas yra daug lengviau apdorojamas. Jam apdoroti gali būti naudojami įvairūs mikro procesoriai, kurių pagalba galima lengvai ir greitai keisti sistemos skaičiavimo parametrus. Atlikus duomenų apdorojimą, jie yra perduodami siuntimo įrenginiui. Sistema duomenis siunčia bevieliu ryšiu, kur reikalingi modulatorius ir siųstuvas. Duomenų siuntimą atliekant laidiniu būdu, duomenys talpinami į reikiamą protokolą ir siunčiami.



3 pav. Temperatūros sensoriaus S kur $S_1 \in S_n$ (1 pav. 2 pav.) bendroji schema

Pateikta bendroji schema 3 pav.turi temperatūros matavimo prietaisą - t° . ADC (angl. Analog to Digital Converter) įrenginį, kuris analoginį signalą verčia į skaitmeninį. ADC gali būti patalpintas matavimo prietaise arba mikro procesoriuje. Apdorotas signalas, jei temperatūros matavimo prietaisas nepateikia temperatūros, o tik tam tikrą pokytį ar reikšmę,

turi būti paverstas į temperatūrinę išraišką, tam naudojamas Skaičiavimo įrenginys (SK). Suskaičiuota temperatūra yra siunčiama, tačiau duomenų išsiuntimo/priėmimo santykiui padidinti, ji yra užkoduojama kodavimo įrenginyje - KD . Koduotas signalas siunčiamas į siuntimo įrenginį SI, kuris signalą užmoduliuoja ir išsiunčia radijo signalu.

Sistemos paskirtis yra vidaus patalpų matavimas, darbo aplinka, kurios temperatūrą sistema matuos nuo +5 iki +50. Sistema yra sudaryta iš temperatūros matavimo ir siuntimo įrenginio ir duomenų surinkimo įrenginio. Šiame darbe nagrinėjami duomenų surinkimo ir išsiuntimo algoritmai, aparatūrinė įranga, reikalinga šiam darbui atlikti. Aparatūrinė įranga sudaryta iš: temperatūros matavimo įrenginio, skaičiavimo ir kodavimo įrenginių, siųstuvo.

1.3 Temperatūros matavimo prietaisų analizė

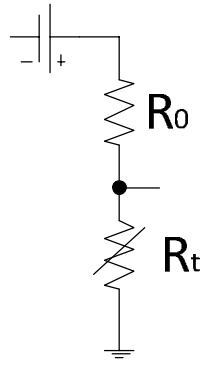
Kuriama sistema yra elektroninė, todėl toliau nagrinėjami tik elektrinį signalą galintys generuoti termometrai. Taip pat nebus nagrinėjami radiaciniai (veikimas pagrįstas lazeriu arba infraraudonųjų spindulių pagrindu) ir akustiniai termometrai, kadangi jų kainos šiuo metu yra pakankamai didelės.

Varžos termometrų veikimas pagrįstas laidininkų ir puslaidininkų savybe keisti elektrinį laidumą kintant jų temperatūrai. Žinomiausi šios klasės atstovai yra NTC (neigiamas temperatūros koeficientas) ir PTC (teigiamas temperatūros koeficientas) termistoriai. [3] Termistorius yra puslaidininkinis termorezistorius. NTC termistorių privalumas yra didelis jų tikslumas, maži gabaritai. Jų pagrindas yra sukepintų metalų oksidas. Temperatūriškai šie termistoriai veikia tokiu principu: kylant temperatūrai jų varža mažėja. Dėl didelės savitosios varžos, labai mažą įtaką jiems daro jungimo laidai. PTC termistorių veikimas panašus kaip ir NTC, tik jų varža didėja kylant temperatūrai.[4]

Termoporų veikimas pagrįstas elektrovaros susidarymu tarp skirtingų metalų jų sujungimo vietose. Vienas sujungimo galas vadinamas karštuoju, kuris yra sulituojamas arba suvirinamas, kitas (šaltasis) paliekamas laisvas, jo galuose statomas voltmetras arba kitas prietaisas matuojantis įtampą. Vienas didžiausių šio prietaisų minusas yra tas, kad jis nematuoja absoliutinės temperatūros, jis gali pamatuoti temperatūrų skirtumą tarp karštojo ir šaltojo galų. [5]

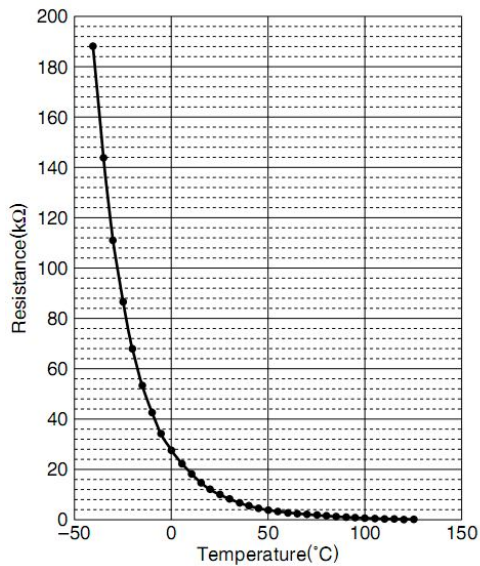
Atlikus matavimo prietaisų apžvalgą nustatyta, kad šiam darbui labiausiai tinka NTC tipo termistorius, dėl palyginti nedidelės jo kainos, tikslumo, mažų gabaritų ir nesudėtingos jungimo schemas.

Temperatūros matavimui termistorius naudojamas kaip įtampos daliklis (4 pav. Įtampos daliklis).



4 pav. Įtampos daliklis

NTC termistorių trūkumas yra jų netiesinė priklausomybė tarp varžos ir temperatūros



5 pav. varžos priklausomybė nuo temperatūros [6]

Temperatūra tokiu atveju Kelvinais gali būti skaičiuojama pagal formulę:

$$T = \frac{1}{\frac{1}{t_0} + \frac{1}{B} * \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)}$$

B - termistoriaus koeficientas

R - varža

R₀ - termistoriaus varža.

Atliekant skaičiavimus, labai svarbus veiksnys yra skaičiavimo supaprastinimas. Prietaisas bus skirtas matuoti vidaus patalpų (kambarių) temperatūras, tad nėra būtinas visas galimas NTC diapazonas, bus naudojama nuo +5 iki +50. Tokie apribojimai suteikia

galimybes supaprastinti skaičiavimus. Pasinaudojus Lagranžo interpoliaciniais daugianariais, skaidymu į intervalus metodais galima atsisakyti kai kurių sudėtingų skaičiavimų.[7][8][9]

1.4 Mikro valdikliai skirti nesudėtingų sistemų valdymui

Šiuo metu, rinkai yra siūloma gausybė variantų, įvairių mikro valdiklių, kurie pasižymi skirtingomis savybėmis, pradedant maitinimo įtampa, baigiant skaičiavimo pajėgumais. Kaip pavyzdys gali būti pateiktas mikro valdiklis, kuris turi daugybės įrenginį ir mikro valdiklis, kuris neturi daugybės įrenginio. Tokiame įrenginyje daugyba bus realizuojama programiškai, tačiau tai užims didelę dalį programavimo atminties, taip pat lėtins įrenginio veikimą. Tarp gausybės mikro valdiklių gausu skirtingų architektūrų, tačiau pasitaiko ir tokių, kurie turi vieningą architektūrą. Tokia architektūra yra vadina ARM (angl. Advanced RISC Machine) [10][11].

Skirtumai, kuriuos turi CPU yra minimalūs, lyginant su periferinių įrenginių įvairove. Atsižvelgiant į procesoriaus paskirtį jis gali turėti keletą tokių pačių periferinių įrenginių. Pavyzdžiui, galima išnagrinėti signalų apdorojimui skirtą mikro valdiklį: jis gali turėti vieną arba kelis keitiklius ADC ir DAC. Toks įrenginių dubliavimas reikalingas pagreitinti signalų apdorojimą, o kartu ir paspartinti mikro valdiklio darbą. Bendrosios paskirties mikro valdiklių periferinius įrenginius sudaro tokie standartiniai įrenginiai kaip: WTD (angl. Watch Dog Timer), laiko moduliatorius, duomenų įėjimo/išėjimo įrenginiai, buferiai.[12][13]

Renkantis kokį mikro valdiklį naudoti, labai svarbu nustatyti koks yra jo operacijų vykdymo dažnis, kokius periferinius įrenginius jis turi, kiek išėjimo/įėjimo kojų turi mikro valdiklis. Atsižvelgiant į šiuos parametrus svarbu atsakyti į klausimą, ar visų resursų pakaks reikiamai užduočiai atlikti. Atliekant temperatūros matavimus bus reikalingas ADC įrenginys, todėl būtina atsižvelgti į tai, jog pasirinktas mikro valdiklis turėtų šį įrenginį.

1.5 Duomenų perdavimas bevielėmis sistemomis

Šiuo metu, kai vis daugiau naujų technologijų skverbiasi į mūsų gyvenimą, neretai tenka susidurti su duomenų perdavimo ir sistemų tarpusavio bendravimo problema. Dažnai įrenginiai turi būti portatyviniai, dėl šios priežasties jų bendravimas laidinėmis priemonėmis yra neįmanomas, arba labai apsunkintas, tokiu atveju tenka naudoti belaidžius bendravimo metodus.

Lietuvoje, kaip ir visame pasaulyje belaidė erdvė yra licencijuota ir nelicencijuota. Norint naudotis licencijuotu dažniu reikia jį išsipirkti ir suderinti reikiamus duomenis su ryšių reguliavimo tarnyba. Tuo tarpu nelicencijuotu dažniu galima naudotis be didelių apribojimų. Apie dažnių naudojimą plačiau galima pasiskaityti Ryšių reguliavimo tarnybos nutarimuose. [14]

Lietuvoje, kaip ir visame pasaulyje yra keletas nelicencijuotų dažnių, kuriais su daliniais apribojimais gali naudotis visi vartotojai. Pagal tai koku greičiu, koku atstumu ir kokioje terpėje teks perduoti duomenis, reikia pasirinkti ir tinkamą dažnį. Kai kurių dažnių duomenų perdavimo, atstumo priklausomybė nuo dažnio, pateikta 1 lent.

1 lentelė Duomenų perdavimo priklausomybė nuo atstumo

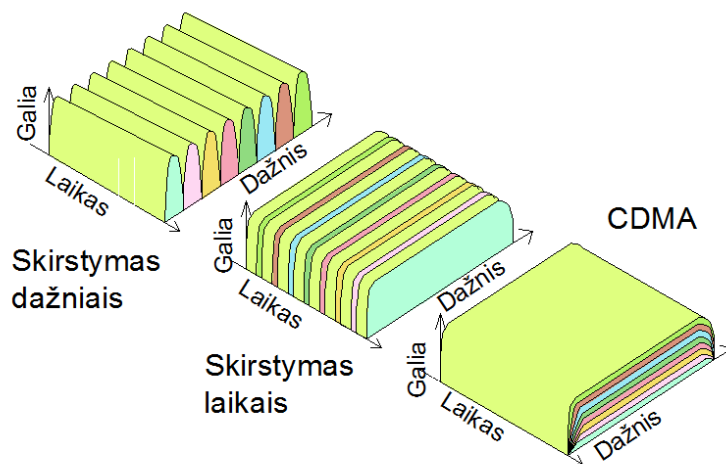
Dažnis	Atstumas
5.8 GHz	100 - 670 m
2.4 GHz	100 - 670 m
900 MHz	100 - 500 m
433 MHz	25 - 133 m

Kitas svarbus veiksnys, pasirenkant duomenų siuntimui tinkamą dažnį, yra atsparumas įvairiom kliūtims, čia dažniausiai galioja taisyklė, kad kuo didesnis dažnis tuo jis mažiau atsparus kliūčiai. Sistema bus skirta patalpų temperatūros matavimui, kurių dažniausios kliūtys yra sienos, todėl šiuo atveju geriau naudoti žemo dažnio radijo signalo duomenų perdavimą. [15][16]

Sistemos veikimui tinkamiausias dažnis yra 433 MHz, kadangi jis yra nelicencijuotas, nevartoja didelio energijos kiekio, lyginant su kitais dažniais (2,5 GHz). Šio siųstuvo aparatūrinė įranga yra pakankamai pigi, lyginant su kitų tipų siųstuvais.

1.6 Duomenų perdavimo algoritmai

Duomenų perdavimui bevielėmis sistemomis galimi keli komunikacijos modeliai, labiausiai paplitę yra šie: skirstymas dažniais, duomenys perduodami skirtingais laiko momentais, CDMA (angl. Code division multiple access).

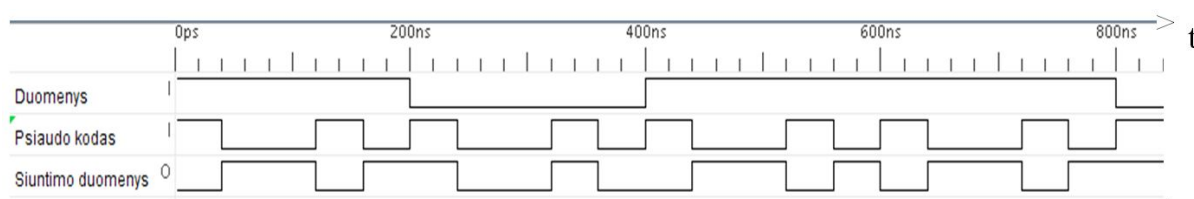


6 pav. Duomenų siuntimas bevielu erdve

Duomenų perdavimas skirtingais dažniais. Kai duomenis vienu metu siunčia keletas siuntėjų, galima juos siųsti skirtingais dažniais. Tokiu būdu yra naudojama plati dažnių juosta. Šiuo metodu duomenis perdavinėja televizijos siųstuvai. Imtuvas ieško skirtinguose dažniuose duomenų, radęs nustato, kad šiuo dažniu transliuojama TV programa (Lietuvoje kanalų dažniai skiriasi 8 MHz). Metodo esminis trūkumas, paprastoms ir nesudėtingoms sistemoms, yra sudėtingas imtuvas. Siuntimui reikia skirtingais dažniais sugebančių siųsti siųstuvų. Privalumas – nereikia atskiro duomenų išskyrimo iš skirtingų siuntėjų, taip pat nereikia sinchronizacijos.

Duomenų siuntimas skirtingais laiko intervalais. Kada duomenų siuntimas gali būti nutrauktas, tai yra, duomenys gali būti siunčiami intervalais, tada duomenis galima siųsti skirtingais laiko momentais. Tada imtuvas arba paėiliui apklausia kiekvieną siuntėją, arba sintėjai nuolat tikrina ar radijo terpė laisva ir jei laisva - siunčia, jei ne laukia skirtingus laiko intervalus ir vėl bando kartoti siuntimą. Tokiu principu veikia GSM ryšys.

CDMA metodu paremtas duomenų perdavimas. Kai duomenis reikia perduoti vienu dažniu ir neįmanoma jų sinchronizuoti, galima naudoti CDMA metodą. Šiam kodavimui naudojami spektro skirstymo metodai. Tarkime, pradinius duomenis koduojame "Gold sekomis".



7 pav. Duomenų kodavimas CDMA metodu

Sekas turi gavėjas, ir gavęs užkoduotą pranešimą iš siuntėjo, jis skaičiuoja koreliaciją ir pagal gautą koreliacijos reikšmę, nustato ar duomenys yra gauti iš reikiamo siuntėjo, ar tai kitų siuntėjų duomenys, aplinkos triukšmas. Tokių sekų privalumas yra tas, kad nereikia skirtingų dažnių imtuvų/siųstuvų, nereikalingas sinchronizavimas ir dvipusis ryšys. Didžiausias trūkumas toks, kad reikia pakankamai daug skaičiavimų atlikti, kad suskaičiuoti koreliaciją, ypač tada kai siųstuvų yra daug. [17]

Atlikus duomenų persiuntimų beviele erdve tyrimą buvo nustatyta, kad pigiausias ir vienas paprastesnių variantų yra duomenų siuntimas CDMA metodu. Šio metodo privalumas yra tas, kad nereikia skirstyti duomenų kanalo į mažesnius kanalus, kur skirtingais dažniais būtų siunčiama informacija, kas reikalautų sudėtingesnės aparatūrinės įrangos. CDMA pranašumas prieš siuntimą, išskirstant skirtingais laiko momentais, yra tas, kad siuntėjui nereikia imtuvo, kuris būtinas sinchronizavimo vykdymui.

1.7 Išvados

Atlikus esamų sistemų ir priemonių analizę nustatyta, kad:

- Sistema tarpusavyje bendraus 433 MHz dažniu, kadangi jis Lietuvoje yra nemokamas, atsparus dažniausiai pasitaikysiančioms kliūtims, siųstuvai ir imtuvai yra pakankamai pigūs;
- Temperatūros matavimui bus naudojamas pigus, bet patikimas NTC tipo termistorius, kurio varža netiesiškai mažėja kylant temperatūra;
- Temperatūros matavimui reikalingas logaritmo skaičiavimas, kas didina mikroprocesoriaus darbą. Siekiant šią kliūtį pašalinti, formulę reiki supaprastinti, tam galima naudoti matematinius metodus;
- Duomenų siuntimui pasirinktas CDMA metodas, kadangi šis metodas leidžia pasirinkti pakankamai pigią aparatinę įrangą.

2 Realaus laiko sensorinio procesoriaus skaičiavimų ir valdymo algoritmų sudarymas

Atlikus esamų prietaisų analizę, nagrinėjama kokia aparatūrinė įranga, algoritmai, duomenų siuntimo metodai juose yra naudojami. Atsižvelgiant į išnagrinėtą literatūrą siekiama suprojektuoti ir pagaminti aparatūrinę įrangą, kuri energija vartotų taupiai, bei būtų pakankamai pigi. Šiam tikslui būtina sudaryti tokius algoritmus, kurie naudotų kaip įmanoma trumpiau ir mažiau aparatūrinės įrangos resursų.

2.1 Temperatūros matavimo prietaiso algoritmų projektavimas

NTC tipo termistoriaus temperatūros priklausomybė nuo varžos nėra tiesinė, tad reikia skaičiuoti logaritminę funkciją, arba ją pakeisti Lagranžo polinomis arba kelėta atskirų kreivių ar tiesių. Toks keitimas supaprastina skaičiavimą, tačiau yra prarandamas tikslumas. Varžos priklausomybės nuo temperatūros, formulė pateikta žemiau.

$$R_t = R_r * e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r})} \quad (1)$$

R_t - varžą Ω , priklausanti nuo temperatūros

R_r - NTC varža Ω esant standartinei T_r

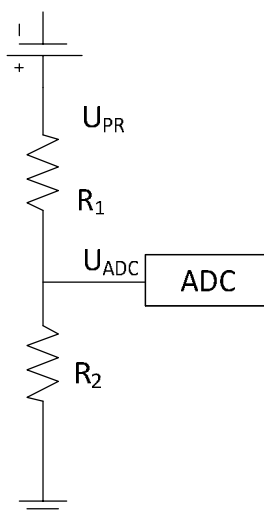
T - Temperatūra K

T_r - standartinė temperatūra Kelvinais

β - NTC termistoriaus specifinė konstanta

e - Eulerio skaičius ($e = 2.71828$)

Kaip jau minėta ankščiau, NTC termistorius bus naudojamas įtampos daliklyje, tokiu atveju ADC fiksuos įtampos pokyčius ir juos pateiks skaičiavimams.



8 pav. Temperatūros matavimo principinė schema

Pateiktoje principinėje schemoje R_1 žymi termistorių, ADC (angl. Analog to Digital) yra mikro procesoriaus įrenginys. Jo pagalba matuojamas įtampos pokytis, kurį sąlygoja varžos pokytis termistoriuje. Termistoriaus varža priklauso nuo temperatūros pakyčio. Pasinaudojus ADC skaičiavimo ir įtampos daliklio formulėmis galima suskaičiuoti temperatūrą. Visi naudojami žymėjimai pateikti brėžinyje (8 pav.)

Įtampos daliklio formulė

$$U_{ADC} = \frac{R_2}{R_2 + R_T} * U_{pr} \quad (2)$$

ADC vertimo formule, kad ADC maksimali reikšmė $2^{10} = 1024$

$$U_{pr} = \frac{U_{ADC} * 1024}{ADC} \quad (3)$$

Sujungus šias dvi formules ir išreikikus R_T gauname tokią formulę

$$R_T = \frac{1024 * R_2}{ADC} - R_2 \quad (4)$$

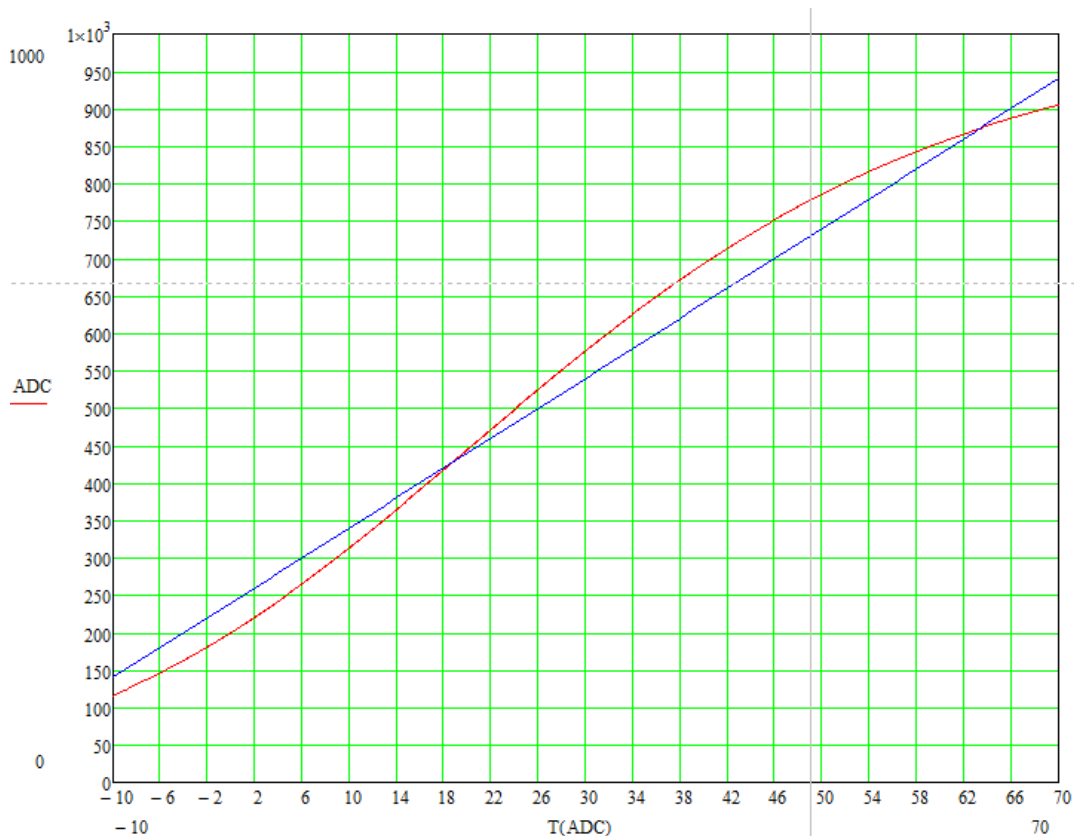
Temperatūros tolesnis skaičiavimas vyksta naudojant NTC parametrų skaičiavimo formulę ir aukščiau pateiktą apjungtą daliklio ir ADC formulę.

$$\frac{R_2 * 1024}{ADC} - R_2 = R_r * e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r})} \quad (5)$$

Darbe ši formulė bus naudojama temperatūros skaičiavimui, todėl išreiškiama T.

$$T = \frac{1}{\ln\left(-\frac{R_2 - \frac{1024 * R_2}{ADC}}{R_r}\right)} + \frac{1}{T_r} \quad (6)$$

Pasinaudojus formule galima nustatyti temperatūros priklausomybę nuo ADC pateikiamos reikšmės, kuri tiesiogiai priklauso nuo varžos, kuri kinta kintant temperatūrai.



9 pav. Temperatūros priklausomybė nuo ADC reikšmės

Išnagrinėjus 9 pav. galima teikti, kad priklausomybė nėra tiesinė. Reikšmių nustatymui reikia logaritmų skaičiavimų, o tas labai apsunkina mikroprocesoriaus darbą, reikalauja didelės programinės atminties. Yra keletas būdų supaprastinti skaičiavimus, vienu metodu galima gauti paprastą daugyba su kėlimu laipsniu, kitu variantu pasirinktą intervalą skaidyti į dalis ir kiekvienai jai suskaičiuoti tiesines lygtis. Toliau nagrinėjamas tik reikiamas intervalas nuo 5 iki 50. Keičiant formulę ir paprastinant skaičiavimus beveik visada yra prarandamas tikslumas, tad buvo apibrėžta leistina paklaida, tai yra 0,5 laipsnio.

Dalinant į intervalus buvo skaičiuojama tiesinės lygties funkcija:

$$t_{ADC} = ADC * x + b \quad (7)$$

Tikrinant ar naujai suskaičiuotos reikšmės nenukrypsta nuo $\pm 0,5$, visa reikalinga temperatūrų aibė buvo padalinta į 3 intervalus.

$$T_{250-512} = 0.08 * ADC - 15.5$$

$$T_{512-693} = 0.08 * ADC - 15.3$$

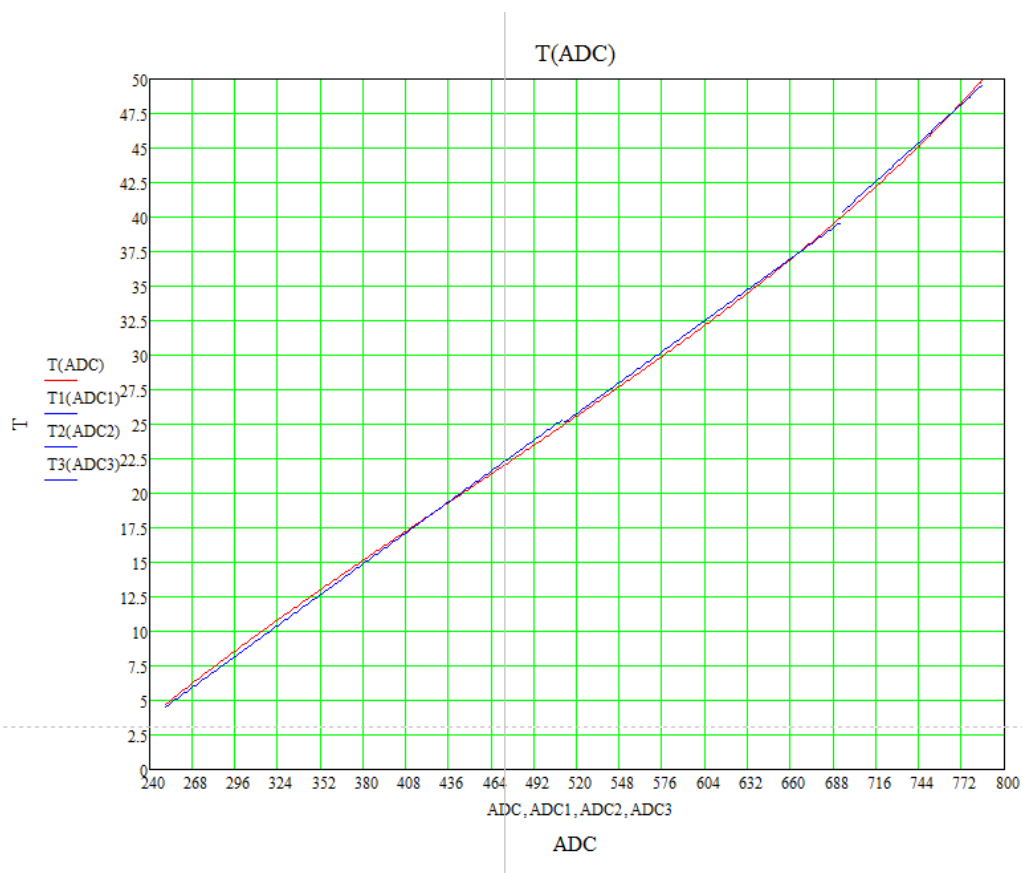
$$T_{694-786} = 0.1 * ADC - 29$$

Atlikus skaičiavimus buvo nustatyta, kad paklaidos yra $+0,42$ ir $-0,46$. Tokiu būdu gautas paprastesnis metodas skaičiuoti temperatūrą.

Skaičiavimams atlikti bus reikalinga:

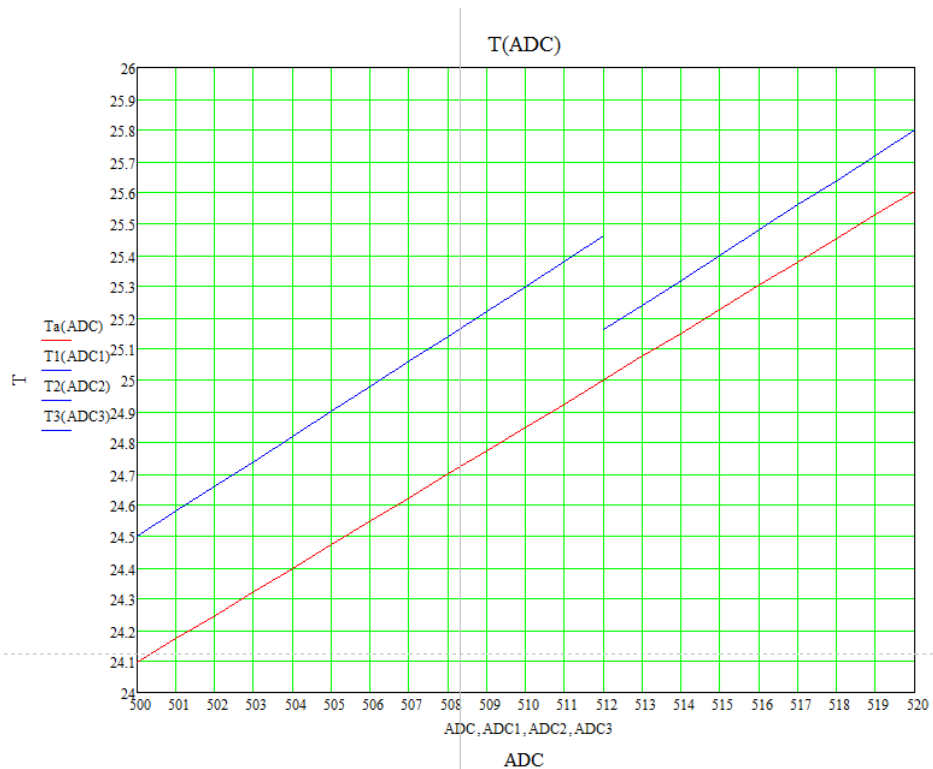
- daugybos operacijų - 1;
- atimties operacijos - 1;
- sudėties operacijos - 0;
- palyginimo operacijos - 3;

Kadangi lygtis yra identiška, tai taupant programinę atmintį sąlygos sakiniuose naudingiau priskirti ne visą išraišką, o tik išraiškos parametrus.



10 pav. Skaidymo į intervalus pirminės kreivės padengimas naujais skaidiniais

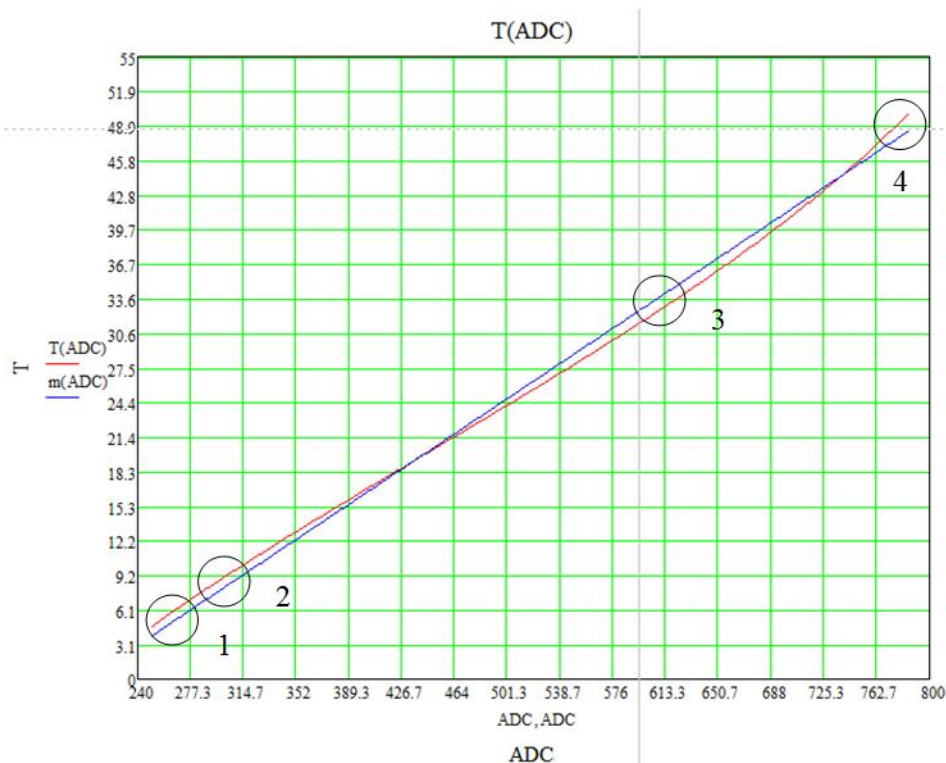
Išnagrinėjus 10 pav. vaizduoja pirminė kreivė (raudona) ir naujai apskaičiuota kreivė (mėlyna). Kaip matyti naujai skaičiuojamos reikšmės turi nedidelius nukrypimus lyginant su originaliomis reikšmėmis. Tačiau kaip jau buvo minėta anksčiau neviršijančiais $-0,46$ $+0,42$.



11 pav. Dalijimas į tieses (padidintas vaizdas)

Kaip matyti išdidinus 11 pav., vienas didesnių trūkumų šio metodo yra tai, kad gaunasi pakankamai staigus perėjimas nuo vienos temperatūros prie kitos, kai ADC reikšmės yra tarpinės.

Lagranžo interpoliacinio daugianario skaičiavimas pagrįstas žinomus aibės taškus, juos galima suskaičiuoti pagal pradinę formulę arba naudoti grafike nustatytais taškais, statant į Lagranžo interpoliacinio daugianario skaičiavimo formulę. Imant taškus svarbu atsižvelgti, kad jie dengtų kreivės taškus minimumo ir maksimumo taškuose (labiausiai nutolę) atsižvelgiant į tendencijos liniją.



12 pav. Lagranžo polinomo skaičiavimui reikalingų taškų parinkimas

Kaip jau buvo minėta anksčiau, pasirenkant taškus reikia imti pikus.

- 1 taškas - pradžios taškas;
- 2 taškas - didžiausias pikas virš tendencijos linijos (mėlyna);
- 3 taškas - mažiausias pikas po tendencijos linijos;
- 4 taškas - pabaigos taškas;

Kuo kreivė daugiau laužyta, tuo daugiau reikia imti taškų, kad užtikrintų reikiamą padengimą. Tačiau, didinant taškų kiekį gaunamas sudėtingesnis polinomas, kas apsunkina tolesnį jo naudojimą.

Iš bendrosios lygties sudarome reikalingą lygtį.

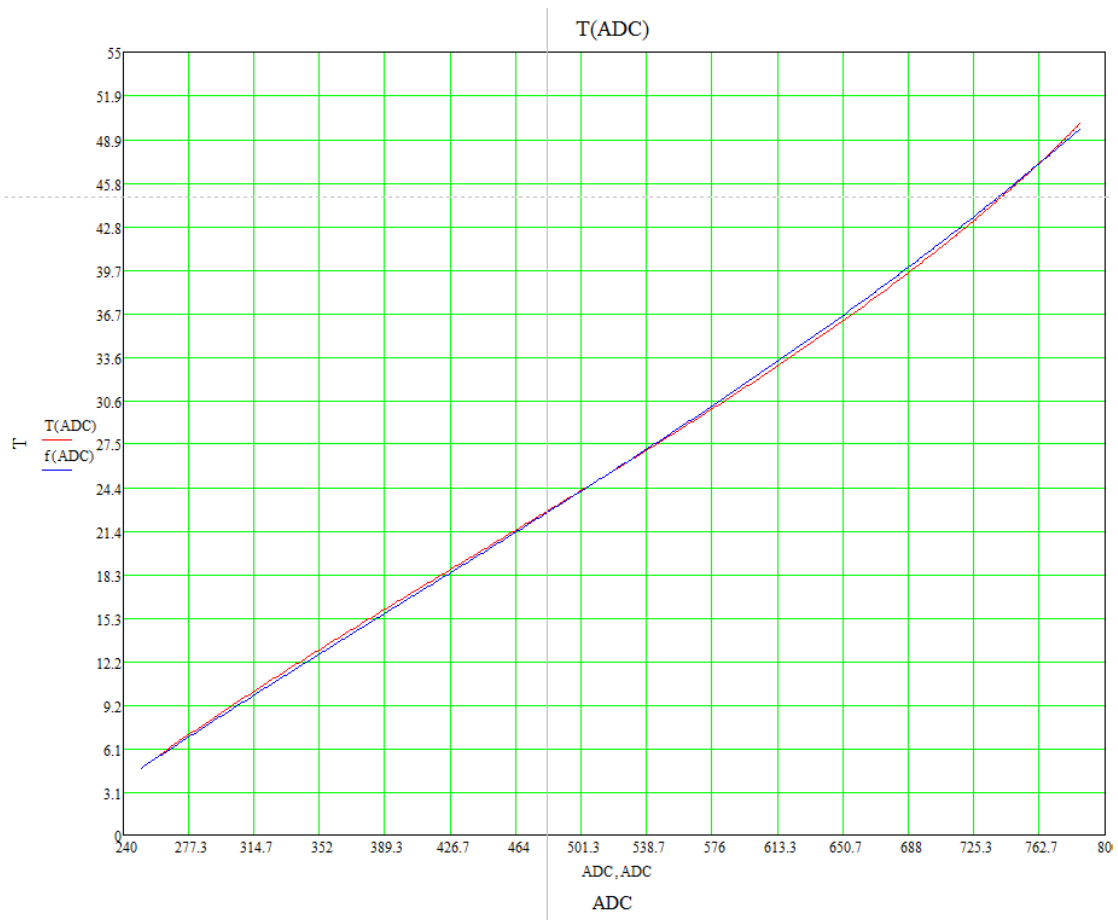
$$T_{ADC} = \frac{y_0 * (ADC - x_1) * (ADC - x_2) * (ADC - x_3)}{(x_0 - x_1) * (x_0 - x_2) * (x_0 - x_3)} + \frac{y_1 * (ADC - x_0) * (ADC - x_2) * (ADC - x_3)}{(x_1 - x_0) * (x_1 - x_2) * (x_1 - x_3)} + \frac{y_2 * (ADC - x_0) * (ADC - x_1) * (ADC - x_3)}{(x_2 - x_0) * (x_2 - x_1) * (x_2 - x_3)} + \frac{y_3 * (ADC - x_0) * (ADC - x_1) * (ADC - x_2)}{(x_3 - x_0) * (x_3 - x_1) * (x_3 - x_2)} \quad (8)$$

Supaprastinę lygtį ir įstatę reikšmes gauname galutinę išraišką

$$T_{ADC} = 7.0681053030919446616 * 10^{-8} * ADC^3 - 0.000086470171381160205438 * ADC^2 + 0.11149233587164481882 * ADC - 18.90308971019680822$$

(9)

Gauta išraiška turi vieną esminį trūkumą, skaičiavimo įrenginiu reiks atlikti veiksmus su labai mažais *float* tipo skaičiais. Patikrinus, kaip padengia pirminį taškų intervalą naujai suskaičiuota kreivė gaunami rezultatai, kad reikšmės svyruoja nuo -0,37 iki +0,39.



13 pav. Pavertus į Lagranžo interpoliacinius daugianarius gautas grafikas

Išanalizavus 13 pav. ir atlikus skaičiavimus, šiuo metodu nėra gaunama trūkio taškų, temperatūra nešokinės staigiai, kaip skaidant į intervalus. Dėl šios priežasties temperatūra, kad ir skirsis nuo realios, nedarys staigių šuolių žemyn, kai aplinkos temperatūra pakyla ir priešingai.

Skaičiavimams atlikti bus reikalinga:

- daugybos operacijų - 8;
- atimties operacijos - 2;
- sudėties operacijos - 1;
- palyginimo operacijos - 0;

Atliekant temperatūros skaičiavimo algoritmo supaprastinimo tyrimą buvo nagrinėjami du metodai: gautą aibę skaidant į atskirus intervalus ir jiems skaičiuojant tiesės lygtis, naudojant Lagranžo interpoliacinio daugianario skaičiavimo formulę, sudaryta nauja lygtis. Aibę skaidant į tris intervalus buvo pasiektas reikiamas tikslumas $\pm 0,5$. Lagranžo

metodas naudojant 4 taškus taip pat tenkina reikiamą tikslumą ir yra šiek tiek tikslesnis. Nors Lagranžo metodas ir yra tikslesnis, gaunama viena formulė, tačiau skaičiavimams šis metodas sunaudoja daugiau resursų, kadangi yra kelimas 3-čiuoju ir 2-truoju laipsniu, reikia dauginti iš labai mažų (8-tuntos eiles po kablelio) skaičių. Tolesniam darbui prasmingiau naudoti skaidymo į intervalus metodą. Nors šiuo būdu reikalingas tikrinimas ir dalinimas į intervalus, tačiau nereikalinga daugyba iš tokių mažų skaičių (naudojami 2 skaičiai po kablelio), taip pat reikia tik 1 daugybos operacijos. Ši pasirinkimą sąlygoja siekis, kad procesorius kuo mažiau ir trumpiau dirbtų, kadangi tokiu atveju bus sutaupyta energija. Taip pat paprasti ir mažesni skaičiavimai sąlygoja paprastesnę mikro valdiklį.

2.2 Duomenų kodavimo CDMA metodu algoritmo tyrimas

Atliekant duomenų siuntimą duomenys yra užkoduojami skleidžiančiąja seka. Šio kodavimo tikslas - pagerinamas išsiųstu/priimtų duomenų santykis. Šį santykį nulemia, tai jog toks signalas tampa atsparesnis triukšmas. Kodavimui naudojamos „Gold sekos“. Kuo ilgesnė seka, tuo daugiau duomenų reiks išsiųsti. Ši sąlyga lemia tai, kad reikia ieškoti duomenų išsiuntimo/priėmimo ir energijos suvartojimo santykio geriausios reikšmės.

Vienam duomenų paketui užkoduoti bus reikalinga atlikti skaičiavimus, kurie pateikti 10 formulėje.

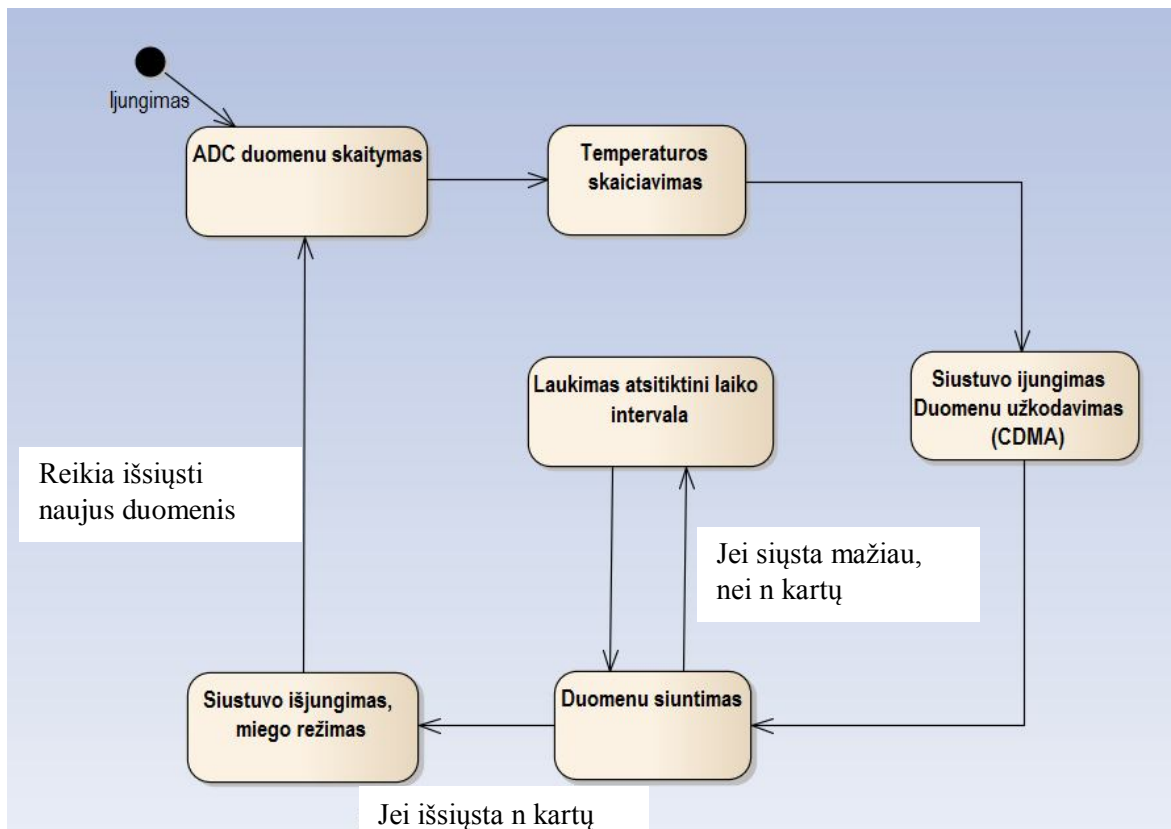
$$S_i = d * ss \quad (10)$$

S_i - vieno sensoriaus siunčiamas paketas
 d - sensoriaus duomenys, kurie turi būti išsiųsti;
 ss - skleidimo seka.

Siekiant supaprastinti skaičiavimus ir mažiau teršti radijo eteryje, galima pasirinkti metodą, kai koduojami ir siunčiami tik vienetiniai bitai. Tokio skleidimo privalumas toks, kad siųstuvai nesiunčia nulinių bitų skleisties, kas įtakoja tai, kad statistiškai reiktų perpus mažiau duomenų išsiųsti. Taip pat mažesnis išsiunčiamų duomenų kiekis statistiškai per pusę turėtų mažiau teršti radijo eterį [18].

2.3 Sensorinio procesoriaus aparatūrinės įrangos valdymo algoritmo sudarymas ir tyrimas

Sistemos darbą galima vaizduoti kaip automata, todėl UML būsenų diagramos pagalba galima sudaryti modelį pateiktą 14 pav.



14 pav. Sensorinio procesoriaus būsenų diagrama

Siustuvai, kaip jau buvo minėta anksčiau, yra išjungiami siekiant sutaupyti energijos, o po įjungimo, kaip deklaruoja gamintojas, reikia palaukti t_{wait} , kad būtų galima siųsti duomenis. Į tai labai svarbu atsižvelgti programuojant mikro valdiklį, kadangi jei duomenys bus pradėti siųsti anksčiau, nei nusistovės pereinamieji procesai siustuve, galimas išsiunčiamų duomenų sugadinimas arba jų praradimas.

Pakartotinis duomenų siuntimas reikalingas siekiant pagerinti duomenų perdavimo patikimumą, nors tai reikalauja papildomų energetinių išteklių. Atsitiktinis laiko tarpas, kurį reikia palaukti, bus generuojamas pagal laisvos procesoriaus kojelės reikšmę, kuri bus suskaičiuota pasinaudojus ADC įrenginiu.

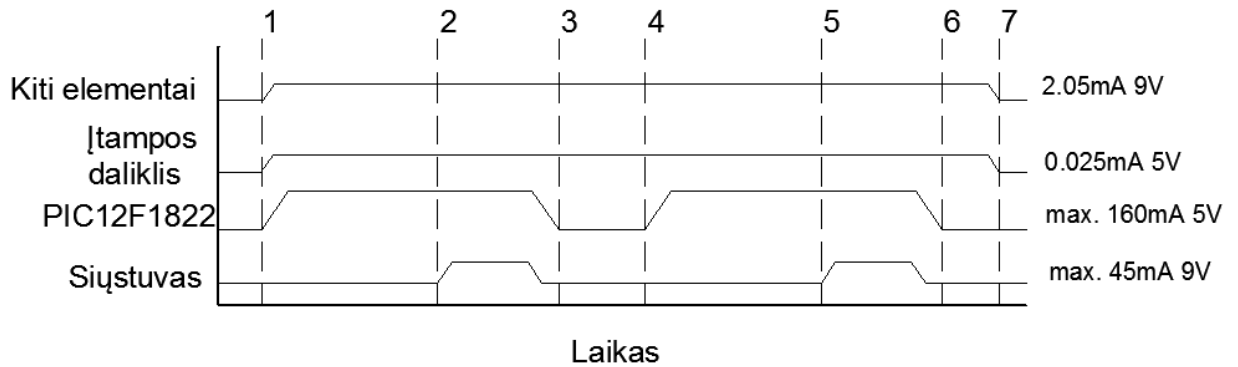
Teorinis energijos suvartojimas skaičiuojamas pagal tai, ką deklaruoja gamintojas. Dažniausiai yra pateikiama tik maksimali suvartojama energija. Įtampos daliklio suvartojamą energiją galima suskaičiuoti naudojant Ohm'o dėsnį ir nuoseklių varžų jungimo skaičiavimo formulę.

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{5}{100k + 100k} = 0.025mA \quad (11)$$

Siustuvo maksimali suvartojama srovė gamintojas pateikia 45mA.

Mikroprocesoriaus suvartojama srovė yra 160mA. Tokia įtampa bus vartojama, kai mikroprocesorius bus apkrautas maksimaliai ir visi įrenginiai bus įjungti. Šiame darbe visų įrenginių nenaudosime, todėl teorinis energijos suvartojimas turėtų būti mažesnis nei praktinis.

Toliau pateiktas teorinis energijos skaičiavimo modelis, atsižvelgiant į tai, kokį energijos suvartojimą nurodo gamintojas.



15 pav. Teorinis energijos suvartojimas

Išnagrinėjus 15 pav. matome, kad ne visi prietaisai veikia vienodą laiko intervalą, ne visi jį vartoja vienodai energijos. Toliau pateikiami paaiškinimai, kas vyksta kiekvienu laiko momentu.

- 1 - Prietaisas prijungiamas prie maitinimo šaltinio;
- 2 - Įjungiamas siųstuvas;
- 3 - Baigtas duomenų siuntimas, mikro procesorius pereina į laukimo fazę;
- 4 - Mikro procesorius pradeda duomenų surinkimą ir išsiuntimą;
- 5 - atitinka 3 punktą;
- 6 - atitinka 6 punktą;
- 7 - sistema atjungiamas nuo maitinimo.

15 pav. vaizduojama, kaip sistema dirba du taktus, jei sistemos darbas nėra nutraukiamas, 3 - 6 punktai kartojami nuolat. Pagal laiko diagramą galima sudaryti galios suvartojimo formulę.

Siųstuvo darbo laikas priklauso nuo to, kokio ilgio seka bus užkoduoti duomenys ir kokie atsitiktiniai laiko intervalai bus tarp pakartotinio sintimo. Kuo ilgesnis kodavimas, tuo ilgiau siųs duomenis. Siuntimo laikas apskaičiuojamas pagal žemiau pateiktą formulę.

$$t_s = \frac{PI + MI}{SD} \quad (12)$$

t_s - siųstuvo siuntimo laikas, kurį užtrunka vienam paketui išsiusti;
PI - paketo ilgis, jis sudarytas iš siunčiamų duomenų + pagalbinių duomenų;
MI - skleidimo sekos ilgis, tai yra, kokio ilgio seka bus užkoduotas vienas bitas;
SD - siuntimo dažnis, kurį gali išsiųsti/priimti sistema.

Mikro procesoriaus veikimo laikas priklauso nuo kelto dalykų, tai yra, kiek laiko užtruks siuntimas, temperatūros skaičiavimo, intervalo tarp siuntimų ir kitų pereinamųjų procesų. Laiko intervalas iki tol, kol duomenys bus pradėti siųsti, galima išmatuoti ir naudoti kaip konstanta, prie kurios pakanka pridėti siuntimo laiką.

$$t_p = t_s + t_o \quad (13)$$

t_p - laikas, kurį bus įjungtas mikro procesorius;

t_s - laikas, kurį duomenis siūs siųstuvas;

t_o - laikas kurį mikro procesorius užtruks ADC matavimui ir temperatūros skaičiavimui.

Suradus pagrindines konstantas ir išmatavus realų mikroprocesoriaus energijos suvartojimą, galima atlikti teorinius skaičiavimus, kurie parodys, kokia yra energijos suvartojimo priklausomybė nuo vienam bitui užkoduoti reikalingos sekos ilgio.

2.4 Sensorinio procesoriaus aparatūrinės įrangos sudarymas

Atlikus algoritmų analizę nustatyta, kokios aparatūrinės įrangos reikės projektuojamam sensoriniam davikliui. Pagal šiuos parametrus parenkami jau žinomi elementai, taip pat įdedami nauji, kurie būtini tarpusavio elementų suderinimui, veikimo kokybei pagerinti.

Pagal pasirinktą 433 MHz dažnį buvo parinktas siųstuvas dirbantis šiuo dažniu. Lietuvoje galima rasti kelėta jų variantų, tačiau visi pasižymi panašiomis savybėmis.

- maitinamas - 3 - 12 V;
- didžiausia suvartojama galia (12 VDC) - 45mA;
- įsijungimo/išsijungimo laikas - 1us;
- antenos spinduliuojama galia (3V) - 2,4dB
- moduliacija - ASK;
- siuntimo greitis - 8 kb/s

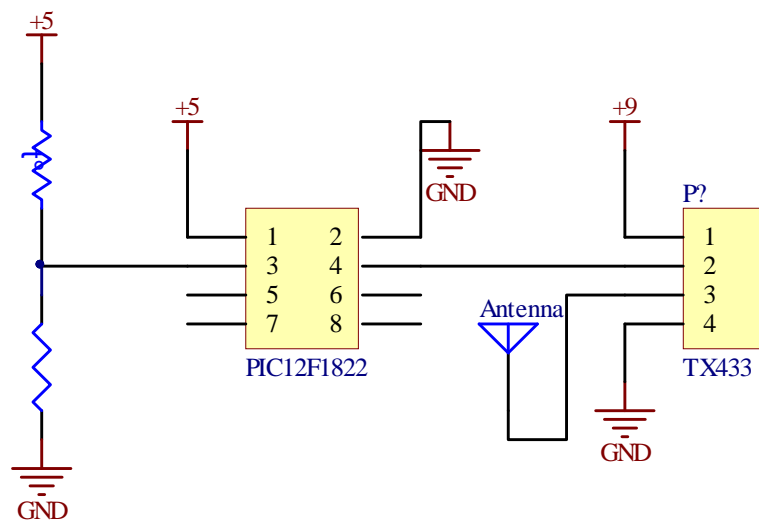
Siųstuvas maitinimas nuo 3 iki 12 V suteikia laisvę rinktis maitinimo šaltinį, kadangi jis gali būti maitinamas tokia pat įtampa kaip ir mikroprocesoriai, kurių standartinė maitinimo įtampa yra 3,3-5 V, tiek didesne. Visgi buvo pasirinktas maitinimas 9 V. Kadangi, tai

užtikrins baterijos ilgesnį tarnavimo laiką. Kintant maitinimo įtampai, jei maitinama iš 4,5 V (3 baterijų po 1,5 V), bus labai greitai pasiektas kritinis taškas, kada baterijos nepakaks. Naudojant 9 V įtampą iškyla kita problema. Mikro procesoriai tokių įtampų nepalaiko, o įtampos daliklis suvartos kur kas daugiau energijos, nei nuo 5 V maitinimo. Šia problemai spręsti į schemą reikia įdėti įtampos stabilizatorių, kurio pagalba mikro procesorius ir įtampos daliklis bus maitinamas 5 V įtampa.

Skaičiavimams atlikti ir visos sistemos darbui valdyti buvo pasirinktas Microchip firmos, 8 bitų mikro procesorius PIC12F1822. Įrenginio pagrindiniai parametrai:

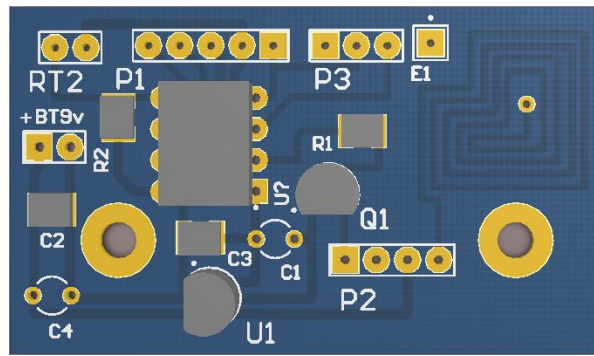
- skaičiavimų greitis - 32 MHz;
- ADC - 10-bitų;
- Programuojama atmintis - 2K žodžių;
- Laiko skaitikliai 8/16 bitų
- WDT - maksimalus 256s;

Temperatūros matavimui naudojamas NTC tipo termistorius. Jo varža normaliomis sąlygomis (25°C) yra 100kΩ.



16 pav. Principinė sensorinio procesoriaus schema

Kadangi šio darbo vienas iš pagrindinių tikslų yra energijos taupymo algoritmų ir aparatūrinės įrangos tyrimas, į schemą yra įdedama papildomų elementų, tokių kaip tranzistoriai, kurių pagalba nereikalingos schemos dalys yra atjungiamos, kad nevartotų energijos. Darbo stabilumui, triukšmam sugerti taip pat schemoje naudoti kondensatoriai, kiti elementai. Pasinaudojus projektavimo programomis gaunama gamybai tinkama schema. Šios plokštės 3D vaizdas pateiktas 17 pav.



17 pav. Sensorinio procesoriaus montažinė plokštė

Sudarytas prototipas buvo pagamintas Realus laiko kompiuterių sistemų centre, naudojant Colinbus firmos prototipų gamybos įrenginį. Turint aparatūrinę ir programinę įrangą, buvo atlikti tyrimai ir bandymai, kaip sistema veikia.

3 Realus laiko sensorinio procesoriaus aparatūrinės ir programinės įrangos tyrimas

3.1 Sistemos energijos suvartojimo pokytis, priklausantis nuo sistemos valdymo algoritmo

Į valdiklį įdiegus programinę įrangą ir ją pritaikius tyrimams buvo nustatyti sistemos parametrai. Mikro valdiklis nustatytas taip, kad dirbtų 1MHz greičiu. Pirmiausiai buvo matuojama, kiek laiko mikro valdiklis skaičiuos temperatūrą. Šis parametras yra nepriklausomas nuo to, kokio dydžio skleidimo sekos yra naudojamos. Atlikus matavimus nustatyta, kad mikro valdiklis ADC keitiklio reikšmių skaičiavimas ir jų vertimas į realią temperatūrą užtrunka 4,5 ms.

Duomenų siuntimo laikas priklauso nuo: moduliacijos sekos, paketo siuntimo kartų, laiko tarpo tarp paketų. Siekiant įvesti pastovią energijos suvartojimo reikšmę, dirbtinai yra įvedamos konstantos. Siuntimui įtakos turi ir paketo sandara, kuri pastebimai kinta, keičiantis temperatūrai. Bendra duomenų paketo sandara pavaizduota 2 lentelėje.

2 lentelė Siunčiamo duomenų paketo sandara

ID	DUOMENYS	LB
1 0 0 1 1 0 0 1	1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0	1 0 1 0 1 0 1 0

- ID - 8 bitų unikalus temperatūros matavimo sistemos kodas. Jo pagalba nustatoma, kad prietaisas yra iš temperatūros matavimo sistemos, taip pat imtuvas žino, kad prasideda paketas.
- DUOMENYS - 16 bitų išmatuotos temperatūros reikšmė. Savyje gali talpinti 1024 reikšmes. Toks duomenų keikis nėra būtinas, tačiau tokio ilgio pasirinkimą nustatė imtuvinė dalis, dėl paprastesnių ir greitesnių skaičiavimų. Laisvos reikšmės bus naudojamos informuoti, kad:
 - temperatūra nukrito žemiau +5;
 - temperatūra pakilo aukščiau +50;
 - reikia pakeisti bateriją.
- LB - laisvi paketo bitai, į jį įeina paketo patikrinimo suma (angl. check sum), taip pat palikta laisvų bitų sistemos išplėtimui.

Galima suskaičiuoti, kad siunčiant 32 bitų, kurių kiekvienas išskleistas 64 bitais reikia išsiųsti 1024 bitus. Nustačius siuntimo įrenginį 4000 b/s dažniu gauname siuntimo laiką 0,512s. Atlikus programinės įrangos pakeitimus ir su oscilografu, išmatavus siuntimo laiką nustatyta, kad teorinis skaičiavimas atitinka praktinį skaičiavimą.

Atliekamas matavimas, kiek energijos suvartoja kiekvienu sistemos darbo ciklu.

3 lentelė Energijos suvartojimas vieno duomenų siuntimo takto metu

Atliekamas veiksmas	Skaičiavimui sugaištas laikas	Vartojama srovė mA
Temperatūros skaičiavimas	4,5ms	2,80
1 paketo moduliavimas ir išsiuntimas	0,512s	11,36
Energijos suvartojimas, kai laukiama siuntimo kito paketo	0,4s	8,20
Energijos suvartojimas, kai mikroprocesorius miega	900s (15min)	1,08

Pagal 3 lentelės duomenis galima suskaičiuoti įtampą, kuri bus suvartota temperatūros skaičiavimui.

$$2,8 * 0,0045 = 0,0126mAs$$

Atliekant matavimus, buvo įvesta funkcija, kad mikro procesorius išsiuntęs duomenų paketą, palaukia atsitiktinį laiko tarpą ir vėl siunčia. Siunčiant 4 paketus bus reikia palaukti 3 kartus. Laukimo periodų, kai laukiama 0,4 s suvartojama sistemos galia pateikta skaičiavime.

$$4 * 11,36 * 0,512 + 3 * 0,4 * 8,02 = 32,88mAs$$

Sistemai neatliekant jokių skaičiavimų, ji yra užmigdoma, ir iš miego režimo pabunda tik tada, kai reikia išsiųsti duomenis. Matuojant temperatūrą 4 kartus per valandą reikės laukti 900 sekundžių. Jos suvartojama galia:

$$1,08 * 900 = 972mAs$$

Atlikus visų darbo ciklų energijos skaičiavimą gauname, kad 15 minučių ciklu dirbantis sensorinis procesorius suvartos tokia įtampą:

$$0,0123 + 32,88 + 972 = 1005mAs$$

Skaičiavime įvestos konstantos:

- siunčiamas paketas 10011001101010101010101010101010
- siunčiami 4 paketai, siekiant pagerinti išsiųstų/priimtų paketų santykį;
- laukimo laikas tarp paketų siuntimo 0,4s. (laukiama 3 kartus po 0,4 s.);
- laukimo laikas, tarp matavimų 900s. = 15min.;

Žinant sistemos parametrus galima sudaryti matematinį modelį, kuris parodys energijos suvartojimo priklausomybę nuo laukimo laiko tarp matavimų. Formulė parodo vienam matavimui suvartojamą srovę.

$$e(ll) = l_{ts} * e_{ts} + pk * e_s * \frac{32 * si}{400} + (pk - 1) * l_{lt} * e_{lt} + l_m * e_m \quad (14)$$

Čia:

e_{ll} - energijos suvartojimo priklausomybė nuo laukimo laiko

l_{ts} - laikas reikalingas suskaičiuoti temperatūrai

e_{ts} - srovė, kuri vartojama skaičiuojant temperatūrą

pk - paketų kiekis, kuris siunčiamas vienai reikšmei perduoti

e_s - energija suvartojama siuntimui

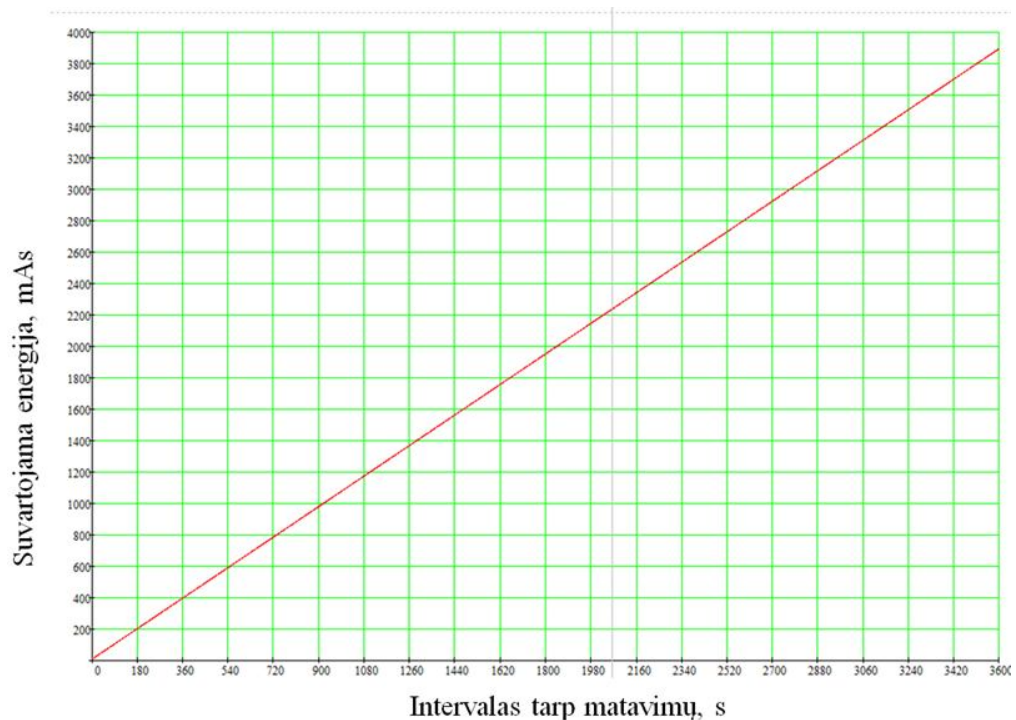
si - skleidimo sekos ilgis, tai yra butų kiekis, kuriuo užkoduojamas vienas duomenų bitas

l_{lt} - laikas kuris laukiamas tarp paketų siuntimo

e_{lt} - srovė, kuri vartojama, kai siųstuvus laukia siuntimo

l_m - laikas kuris laukiamas tarp temperatūros matavimų

e_m - srovė, kuri vartojama tarp temperatūros matavimų



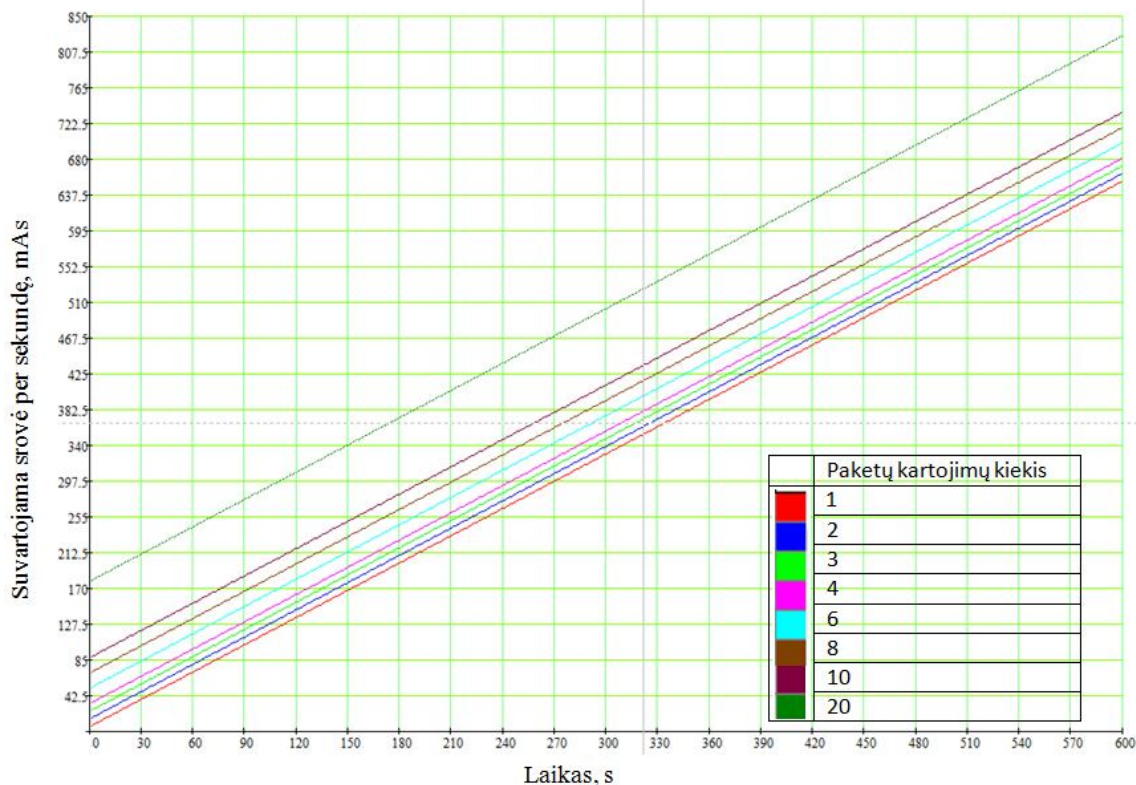
18 pav. Energijos suvartojimas priklausomai nuo matavimų intervalų

Kaip matyti 18 pav. Energijos suvartojimas priklausomai nuo matavimų intervalų energijos suvartojimas tiesiškai priklauso nuo to, kokiais intervalais bus siunčiama informacija. Todėl galima daryti išvadą, kad siuntimo sekos ir kartojimų kiekis neturi daryti didelio energijos suvartojimo pokyčio, kai siųstuvas duomenis siunčia dideliais intervalais. Skaičiuojant buvo įvestos tokios konstantos:

$e_{ts} - 2,80$; $l_{ts} - 0,004$; $pk - 4$; $e_s - 11,36$ $si - 64$ $l_{lt} - 0,4$ $e_{lt} - 8,2$ $l_m - 1-3600s$. (nuo 1 sekundės iki 1 valandos) $e_m - 1,08$

3.2 Energijos suvartojimo priklausomybė nuo moduliacijos sekų ilgio, paketų kartojimo dažnio

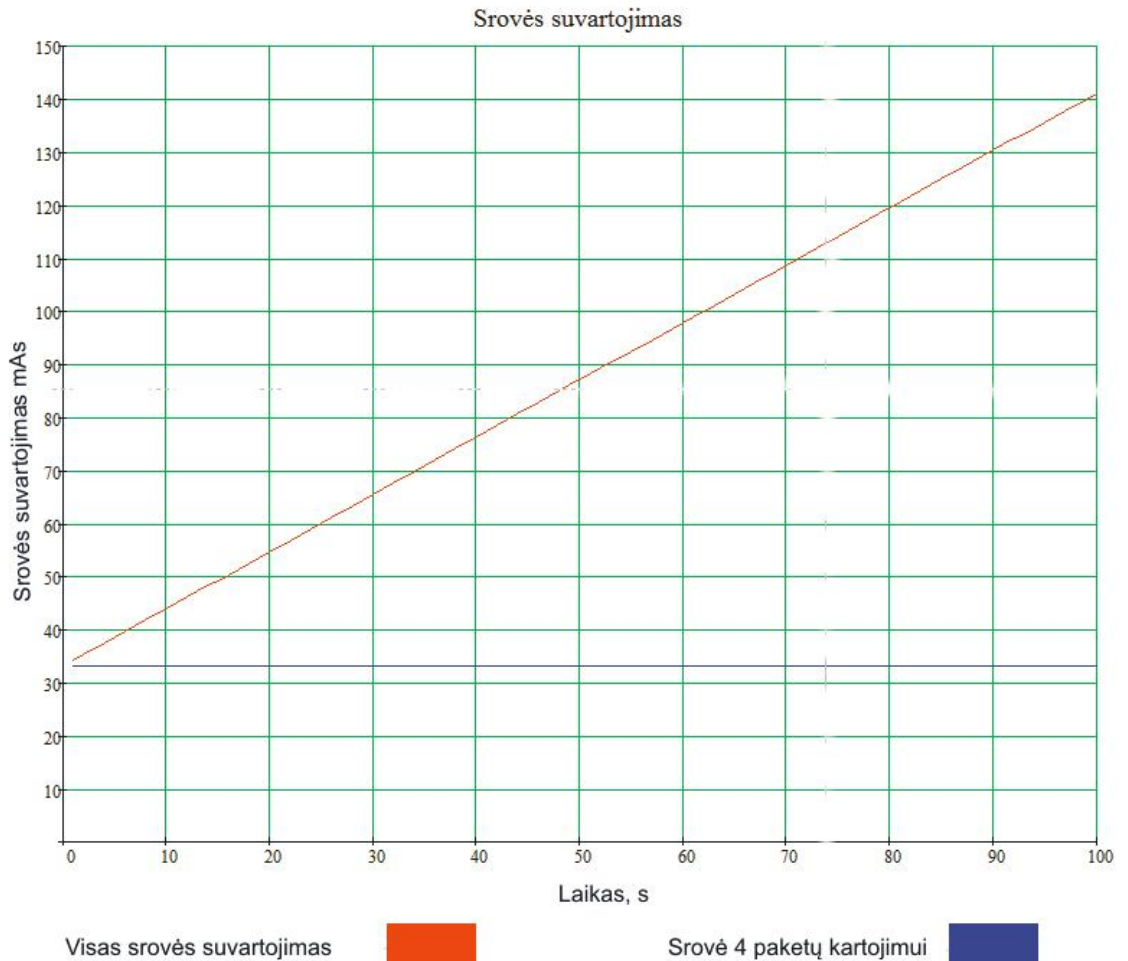
Tiriant kaip kintantis energijos suvartojimas, kuris bus priklausomas nuo to, kiek kartų paketas bus kartojamas buvo atlikti skaičiavimai su įvairių paketų kiekiu. Skaičiuojama buvo 10 minučių darbo ciklui.



19 pav. Srovės suvartojimo mAs priklausomybė nuo paketų kiekio

Nustatyta, kad vienas paketo išsiuntimas suvartos 9mAs. Tai galima suskaičiuoti pasinaudojant 14 formule, arba grafiškai. Išnagrinėjus Skaičiavimuose naudojamos tos pačios konstantos, kaip buvo įvestos 3.1 skyriuje, išskyrus paketų kartojimo kiekį. Tarkime, kad skaičiuojame 1 ir 2 paketų suvartojimo pokytį. Gausime, kad 600 sekundžių darbo taktu dirbantis įrenginys, kuris siunčia 2 paketus suvartos 662,9 mAs, o įrenginys kuris siunčia 1 paketą suvartos 653,8. Skirtumas suapvalinus gaunasi 9.09mAs. Tuos pačius skaičiavimus

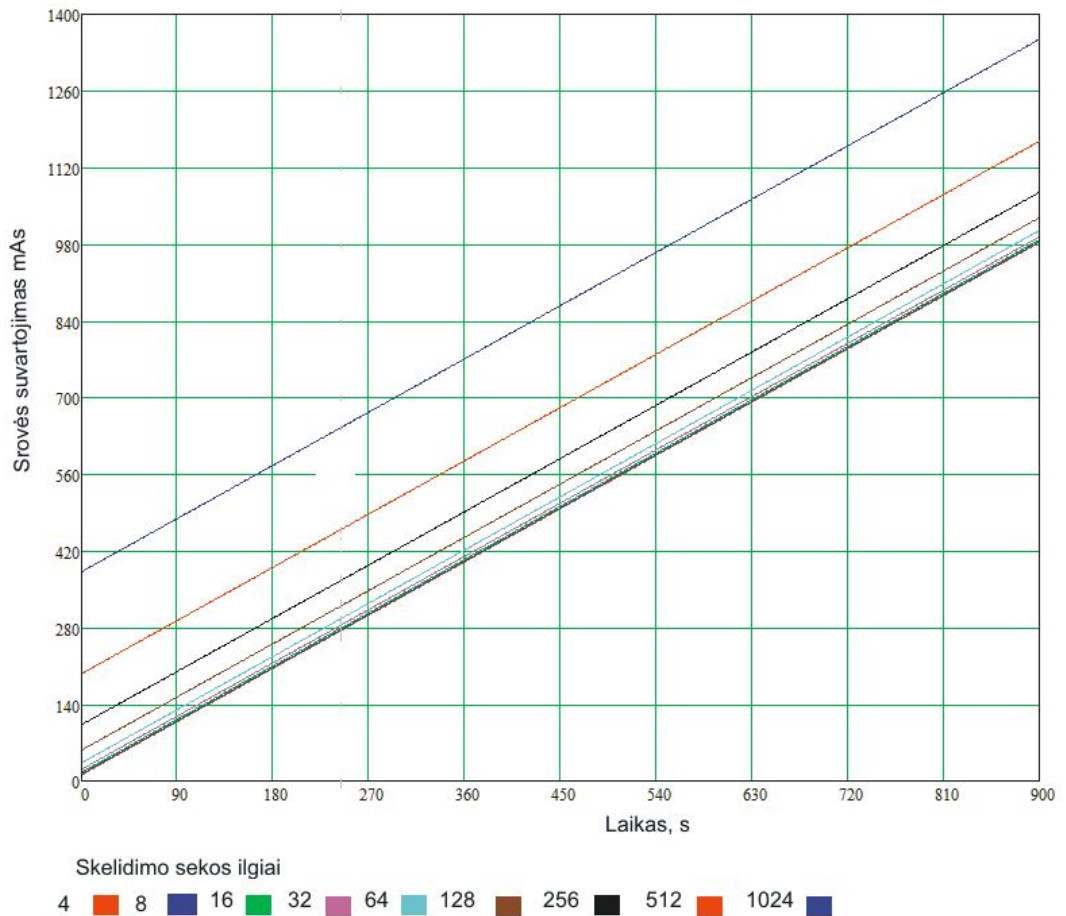
atliekame ir tarp 1 ir 20 paketų siunčiamų įrenginių, kai jų darbo taktas taip pat 600s.. Įrenginio vieno paketo srovės suvartojimą jau žinome, suskaičiavus 20 gauname 653,82. Apskaičiavę vienam paketui išsiųsti reikiama srovę gauname 9.09mAs. Atlikus skaičiavimus skirtingais laiko momentais galima teigti, kad vienam paketui išsiųsti reikės 9,09mAs. Kuo darbo taktas ilgesnis, tuo ši energijos dalis sudarys mažesnę dalį bendrame energijos suvartojime.



20 pav. Srovės dalies suvartojimas 4 paketų siuntimui

Išanalizavus 20 pav. Srovės dalies suvartojimas 4 paketų siuntimui pav. galima teigti, kad teiginys, jog didinant laiką, kurį sistema miega ir nedidinant matavimų dažnio, srovės suvartojimo dalis, kuri tenka paketų siuntimui sudaro vis mažesnę dedamąją.

Sekų ilgiai kuriais išskleidžiami bitai labai svarbūs. Šis ilgis labai įtakoja santykį tarp priimtų ir gautų duomenų. Taip pat didina atsparumą triukšmams.



21 pav. Srovės vartojimo priklausomybė nuo sekų ilgių

Kaip pavaizduota 21 pav. energijos suvartojimas yra tiesiškai priklausomas. Taip pat galima suskaičiuoti, kad jis tiesiškai didėja, didėjant skleidimo sekos ilgiui. Grafike matosi didesni tarpai tarp sekų suvartojamos srovės, dėl tos priežasties, kad sekos ilgis yra 2 kartotinis, todėl jų ilgiai auga ne tiesiškai proporcingai.

Siunčiamų paketų kiekis ir skleidimo seka labai stipriai įtakoja duomenų išsiuntimo ir gavimo santykį. Didinant išsiustų paketų kiekį daug didesnė tikimybė gauti duomenis, šiam santykiui gerinti reiktų kuo daugiau paketų išsiųsti, tačiau taip didėja energijos suvartojimas. Atliekant tyrimus buvo matuota koks duomenų procentas bus priimtas, keičiant paketų kartoavimo kiekį, gauti tokie rezultatai pateikti

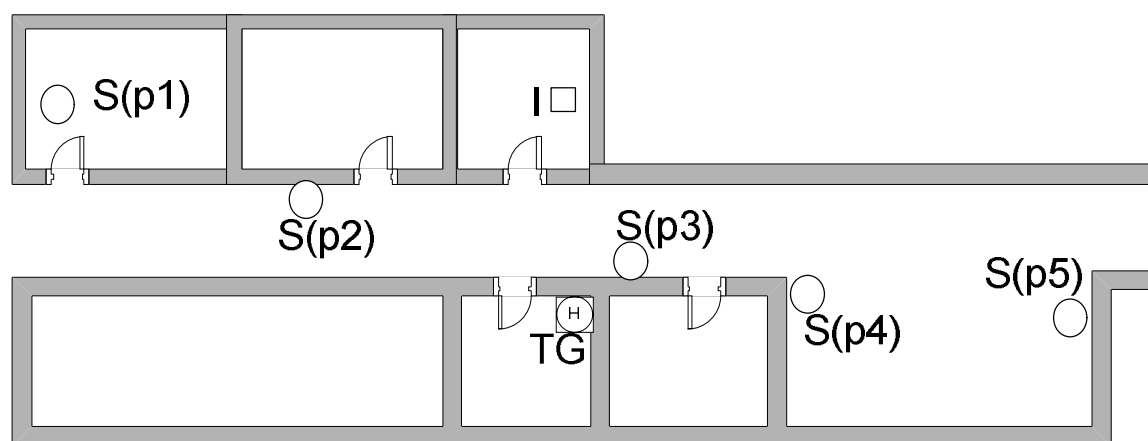
4 lentelė Duomenų perdavimo patikimumas

Sekos ilgis	Perteklinių paketų skaičius			
	5	10	5	10
	Laukimo periodai			
	7		15	
32	23,5	29,5	35	37,5
64	54	47	61,5	64,5
128	97	81,5	95,5	92

Kaip matome iš lentelės didinant sekas ženkliai didėja priimtų duomenų kiekis lyginant su išsiustų. Eksperimente taip pat buvo modeliuojama ir situacija, kai paketų siuntimo laikas yra atsitiktinis. tai realiau atspindi realią aplinką. Atliekant energijos suvartojimą šiuo atžvilgiu buvo įvesta konstanta. Eksperimento metu laukimo periodas nurodo, kiek maksimaliai gali mikro valdiklis laukti kito duomenų siuntimo. Šis laiko intervalas yra atsitiktinis.

Apibendrintai galima teigti, kad jei siųstuvas duomenis siųs retai, geriausiai naudoti ilgas sekas (bent jau 64 bitų) su pralaukimu, kurio maksimalus ilgis būtų iki 5 paketų siuntimo trukmės. Šitaip bus užtikrinta, kad sistema nepateks į tokią situaciją, kada ilgą laiką nebus turima faktinės temperatūros. Taip pat šiuo atveju, energijos suvartojimas siuntimui, lyginant su visos sistemos suvartojama energija, sudarys nedidelę dalį energijos. Jei sistema duomenis siūs dažnai, taupant energiją galima trumpinti sekas, tai yra naudoti 64 bitų ilgio su nedideliu pralaukimo laiku. Tokiu būdu bus sutaupoma energija, o aplinkos stebėjimo sistema nepateks į situaciją, kai ilgą laiką nežinoma faktinė temperatūra.

3.3 Duomenų perdavimo atstumo priklausomybė nuo sekų ilgio



22 pav. Siųstuvo bandymo planas

S - siųstuvas; TG - triukšmų generatorius; px - siųstuvo pozicija, kur x siųstuvo padėtis

Testuojant siųstuvą jis buvo nešiojamas po įvairias KTU kompiuterių katedros vietas. Buvo stebima, kaip keičiasi duomenų išsiuntimo ir gavimo santykis.

S(p1) - Atstumas nuo siųstuvo (S) iki imtuvo (I) buvo 20m. Signalui reikėjo kirsti 2 gelžbetonines sienas.

S(p2) - šioje pozicijoje nuo siųstuvo buvo nutolęs per 8m, Signalas kirto 2 siena.

S(p3) - Siųstuvo nutolis buvo 6 metrai.

S(p4) ir S(p5) - atstumas iki imtuvo atitinkamai 12 ir 15m. Šiose vietoje duomenų priėmimas buvo minimalus arba visai jo nebuvo su, bet kokio ilgio sekomis. Įtakos duomenų perdavimo kokybei sutrikimui turėjo tai, kad šalimais buvo triukšmų generatorius (TG). šiame kabinete ne visada korektiškai veikia įvairūs nuotolinio valdymo pulteliai.

5 lentelė. Duomenų priėmimo kokybės priklausomybė nuo sekos ilgio

Siųstuvo pozicija	Atstumas	Priėmimo santykis	
		64 bitų skleidimo sekos ilgis	128 bitų skleidimo sekos ilgis
p1	20	59,2	92,6
p2	8	60,8	95,1
p3	10	40,8	51,1
p4	15	0	0
p5	20	0	0

Išanalizavus 5 lent. galima teigti, kad patalpų, tokių kaip gyvenamasis namas ar nedidelis biuras temperatūros stebėjimui, naudojant 128 ilgio sekas pakanka tiesioginio ryšio tarp siųstuvo ir imtuvo. Naudojant didesnių patalpų temperatūros stebėjimui reikalingas įrenginys, kuris duomenis persiųstu iš siųstuvo imtuvui, jo projektavimas numatomas ateityje.

Išvados

- Atlikus temperatūros prietaisų analizę nustatyta, kad sistemai labiausiai tinka NTC tipo termistoriai. Jų privalumai: nedidelė kaina, nesudėtingas jungimas, didelė savitoji varža. Didelės savitosios varžos privalumas - varža mažai priklauso nuo jungiančių laidų storio. Termistoriaus trūkumas - varžos priklausomybė nuo varžos nėra tiesinė.
- Kuriant paprastą ir pigią sistemą, kuri naudotų minimalų kiekį energijos, yra atsisakoma dvikrypčio ryšio. Sistemai taip pat netinka siųstuvai, kurie siunčia signalus skirtingais dažniais, kadangi jų kaina pakankamai didelė. Nuspręsta naudoti vienkryptį ryšį. Vienu metu, naudojant kelis sensorinius procesorius, duomenys radijo kanale susilieja. Jiems išskirti, šie yra koduojami „Gold sekomis“. Išskiriant duomenis iš bendro srauto skaičiuojamos jų koreliacijos.
- NTC netiesinės temperatūros skaičiavimo supaprastinimui matuojamos temperatūros intervalas sudalomas į atskirus intervalus. Intervalų temperatūros priklausomybę nuo varžos galima suskaičiuoti pagal tiesės lygtis. Tokiu būdu nebereikia skaičiuoti logaritminės funkcijos. Energijos taupymas, išsiunčiant atliekamas išjungiant ir įjungiant siųstuvą tik prieš pat siuntimą. Išsiųstų ir gautų duomenų santykiui pagerinti siunčiami keli paketai, atsitiktiniais laiko tarpais.
- Pagal sudarytus matematinius algoritmus, kurie reikalingi duomenų užkodavimui ir temperatūros skaičiavimui, buvo sudaryta aparatūrinė įranga iš: PIC12F1822 mikro valdiklio, NTC tipo termistoriaus, siųstuvo TX433, papildomų elementų. Sistemos maitinama - 9 V baterijos.
- Eksperimentiniais tyrimais nustatyta, kad valdymo algoritmų pagalba atjungiant siųstuvą sutaupoma apie 6mAs, o procesorių pervedant į miego būseną sutaupoma 0,8mAs. Sekų ilgai energijos suvartojimui didelę įtaką daro tuo atveju, kai matavimai vyksta dažnai, tada 128 bitų skleidimo sekos siuntimas sudaro pusę suvartojamos energijos. Mažinant matavimų dažnį, energijos suvartojimas sekų išsiuntimui ženkliai mažėja ir siekia iki 1/10 visos sistemos suvartojimo energijos. Matuojant atstumą, kurį duomenys persiunčiami buvo nustatyta, kad su 128 skleidimo seka ir 5 paketų kartojimu, galima pasiekti 95,1% rezultatų patikimumą. Šis rezultatas rodo, kad sukurta sistema pilnai tenkina namo ar nedidelio ofiso patalpų temperatūros stebėjimo poreikius.

Rekomendacijos

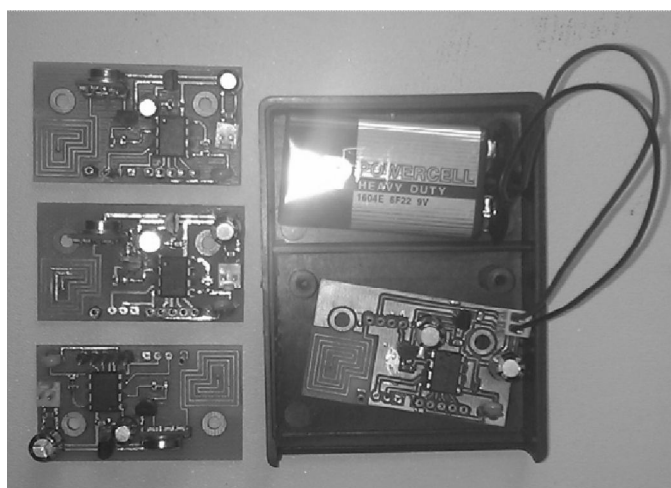
Ateityje būtų galim tyrinėti, sumažinti įtampos stabilizatoriaus suvartojamą energijos kiekį. Atliekant tyrimus buvo nustatyta, kad daugiausiai energijos sistemoje suvartoja įtampos stabilizatorius, šis reiškinys ypač ryškus, kai sistema retai siunčia duomenis. Schemoje naudojama stabilizatorių 78L05 reikėtų keisti kito tipo stabilizatoriumi, kurį būtų galima atjungti, kai sistema yra miego būsenoje, arba šiam stabilizatoriui naudoti tranzistorių kuris jį išjungtu. Atjungus stabilizatorių iškyla mikro valdiklio maitinimo problema. Ją spręsti galima naudojant didelio talpumo kondensatorius, nes mikro valdiklis miego metu vartoja 300 nA, kai įtampa 1,8V.

Literatūros sąrašas

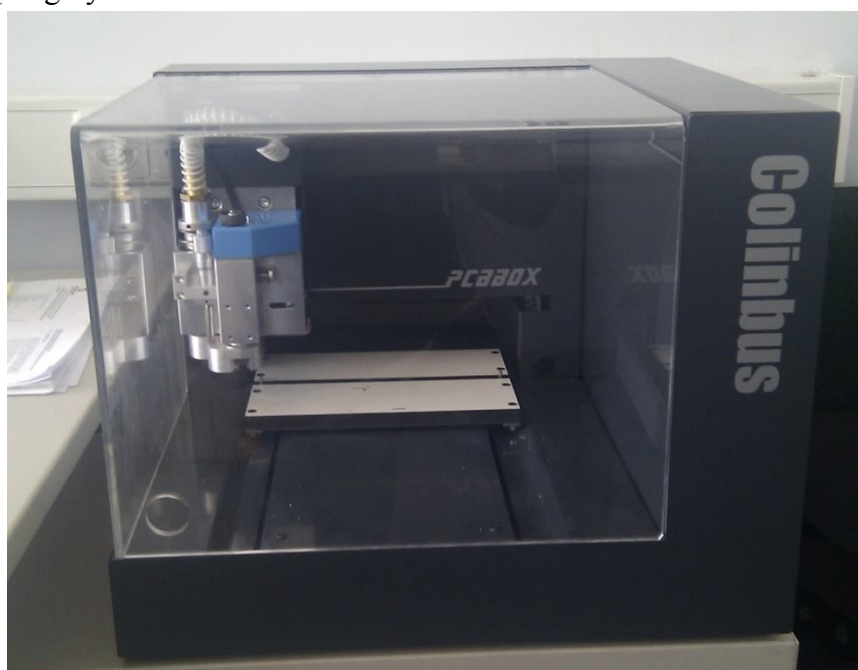
- [1] G. Bill, „RS-232 Serial Protocol“ 2002.
- [2] I. Plauska, „Realaus laiko informacijos surinkimo aparatinės bei programinės įrangos sudarymas ir tyrimas“. Kaunas, 2012.
- [3] T. Vejola, „Large signal simulation model for PTC thermist“. Helsinki
- [4] S. Pleskas, „Mechatronikos pagrindai“. Vilnius, 2008.
- [5] V. Deksnys, V. Jastramskas. „Analitinis K ir J tipo termoporų perdavimo charakteristikų tiesinimas“. Kaunas, 2006.
- [6] TDK [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: http://www.tdk.co.jp/tefe02/eb221_ntcg.pdf.
- [7] Spectrum sensors & controls, inc. [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: http://www.specsensors.com/pdfs/ntc_engineering_notes.pdf.
- [8] NTC Thermistors. [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: [http://www.epcos.com/web/generator/Web/Sections/ProductCatalog/Sensors/Temperature Measurement/PDF/PDF__General__technical__information,property=Data__en.pdf;/PDF__General__technical__information.pdf](http://www.epcos.com/web/generator/Web/Sections/ProductCatalog/Sensors/Temperature%20Measurement/PDF/PDF__General__technical__information,property=Data__en.pdf;/PDF__General__technical__information.pdf).
- [9] NTC Thermistor theory. [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: <http://www.beta.dk/betathermkatalog/teoridel.pdf>.
- [10] V. Jonkus, „Mikrovaldikliai elektrinėse grandinėse“. Vilnius, 2006-2008.
- [11] Mikrovaldikliai elektrinėse grandinėse [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: http://rfk.ff.vu.lt/doc/mikrovaldikliai_ppt.pdf.
- [12] D. Sasidaran, „Microcontroller Architecture“ [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: <http://lgjohn.ecen.ceat.okstate.edu/4213/lectures/microarch.pdf>.
- [13] K. L. Eng. „Microcontroller to Intel Architecture Architecture“. [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: <http://download.intel.com/design/intarch/papers/323213.pdf>,
- [14] Lietuvos respublikos ryšių reguliavimo tarnybos direktoriaus įsakymas „Dėl Nacionalinės radijo dažnių paskirstymo lentelės patvirtinimo“, Vilnius, 2011.
- [15] PURELINK. [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: <http://www.purelink.ca/en/technologies/real-time-location-system.php>.
- [16] Analog Dialogue. [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/42-10/wireless_systems.html.
- [17] United States Patent [žiūrėta: 2012 m. 05 16 d.] Prieiga per internetą: <http://www.google.lt/patents?hl=lt&lr=&vid=USPAT4584684&id=HoYuAAAEBAJ&oi=fnd&dq=Data+transmission+method&printsec=abstract#v=onepage&q=Data%20transmission%20method&f=false>.

[18] C.-H. Liu, H. H. Asada „A source coding and modulation method for power saving and interference reduction in DS-CDMA sensor network systems“. 2012

Priedai



Suprojektuotas temperatūros matavimo ir siuntimo modulis buvo pagamintas KTU „Realaus laiko kompiuterių sistemų centre“. Gamybai naudota belgų firmos „Colinbus įrenginys“.



Šis įrenginys sugeba gaminti dvipuses PCB plokštes. Gamyba vyksta naudojant frezas ir grąžtus.