



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Југославија
Деканат: 021 350-413; 021 450-810; Централа: 021 350-122
Рачуноводство: 021 58-220; Студентска служба: 021 350-763
Телефакс: 021 58-133; e-mail: ftndean@uns.ns.ac.yu



Сертификован
систем
квалитета



PROJEKAT

iz predmeta primena elektronike u industriji

TEMA PROJEKTA:

Stanica za merenje temperature i slanje podataka korisniku putem SMS poruke

TEKST ZADATKA:

Uređaj za merenje temperature i slanje podataka korisniku putem SMS poruke je realizovan uz pomoć mikrokontrolera, modema i senzora. Opisane su komponente sistema koje se koriste u ovom projektu i način izvršavanja firmvera po kojem se program izvršava.

Studenti:

Stefan Švenderman E1 17/2019
Jovan Slavujević EE 239/2015

Mentor:

dr Vladimir Rajs

U Novom Sadu, 20.3.2020.

Sadržaj

Spisak skraćenica	- 2 -
1. Uvod	- 3 -
2. Opis hardverskih komponenti uređaja	- 4 -
2.1 Mikrokontroler PIC24FJ256GA106	- 4 -
2.2 Modem Telit GE864-GPS	- 5 -
2.3 Senzor temperature DS18B20	- 6 -
3. Realizacija firmvera uređaja	- 7 -
3.1 Komunikacija sa senzorom temperature DS18B20	- 9 -
3.2 Komunikacija sa modemom Telit GE864-GPS	- 11 -
4. Glavni program firmvera	- 14 -
5. Rezultati merenja temperature	- 15 -
6. Zaključak	- 16 -
7. Reference	- 17 -

Spisak skraćenica

GSM (*eng. Global System for Mobile telecommunications*) – globalni sistem za mobilnu komunikaciju

UART (*eng. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) – univerzalna serijska komunikacija

GPS (*eng. Global Positioning System*) – globalni sistem za pozicioniranje

GPRS (*eng. Global Packet Radio Service*) – paketno orijentisan mobilni servis za prenos podataka

CPU (*eng. Central Processing Unit*) – centralna procesorska jedinica

SMS (*eng. Short Message Service*) – skraćene poruke

SIM (*eng. Subscriber Identity Module*) – pretplatnik identifikacionog modula

SMD (*eng. Surface-Mount device*) – uređaji za površinsku montažu

RAM (*eng. Random-Access Memory*) – radna memorija

SPI (*eng. Serial Peripheral Interface*) – komunikacioni protokol

I2C (*eng. Inter-Integrated circuit*) – komunikacioni protokol

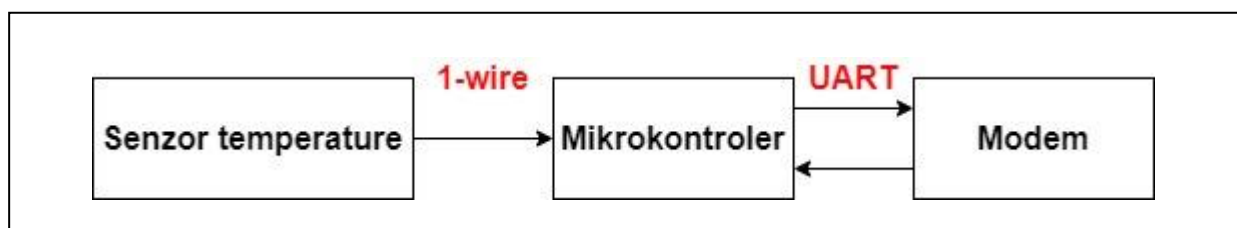
ADC (*eng. Analog-Digital Conversion*) – analogno-digitalna konverzija

1. Uvod

Tema projekta je projektovanje stanice za merenje temperature koja podatke o temperaturi prosleđuje korisniku na mobilni telefon putem SMS poruke. Osnovna ideja je da stanica bude na udaljenom mestu, odnosno da se komunikacija korisnika i sistema odvija bežičnim putem. Za potrebe ovog sistema na udaljenim lokacijama potrebno je obezbediti dve stvari, a to su: dostupnost mobilne mreže na lokaciji na kojoj se sistem nalazi i vrstu baterijskog napajanja koje je nezavisno od gradske mreže.

Kako bi ovaj bio funkcionalan potrebno je prvo adekvatno prikupiti podatke putem senzora o vrednosti temperature iz okruženja u kom se senzor nalazi, a potom ih adekvatno obraditi. Komunikaciju sa senzorom i modemom obavlja mikrokontroler koji je u ovom projektu CPU. Adekvatno obrađeni podaci mogu se proslediti korisniku na uvid. Prenos podataka o temperaturi od mikrokontrolera do korisnika obavlja modem putem SMS poruke. Korisniku je takođe omogućena komanda kojom upravlja sistemom u kom vremenskom trenutku želi informaciju o temperaturi lokacije na kojoj se sistem nalazi.

Osnovu projekta čini pločica koja je nastala kao posledica realizacije nekog drugog projekta. Pomenuta pločica na sebi sadrži mikrokontroler, modem, regulatore napona i neophodne kontakte. Za prikupljanje podataka o vrednosti temperature upotrebljen je temperaturni senzor DS18B20 sa vodootpornim kućištem. U daljem tekstu pružen je detaljan opis hardverskih komponenti i algoritam izvršavanja firmvera i način realizacija komunikacija između navedenih modula. Na slici 1. je prikazana blok šema realizovanog uređaja.



Slika 1. Blok šema uređaja

2. Opis hardverskih komponenti uređaja

Osnovu čini pločica koja svojim izgledom najpre podseća na mali razvojni sistem. Pločica je izrađena u SMD tehnologiji. Glavna komponenta na pločici je mikrokontroler PIC24FJ256GA106, proizvođača Microchip. Na pločici je integrisan modem GE864-GPS, marke Telit. Na pločici se nalaze još i stabilizatori napona koji snižavaju ulazni napon i stabilišu ga na 3.3 V, 5 V i 5.5 V za potrebe napajanja modema, mikrokontrolera i senzora. Maksimalni ulazni napon koji je moguće priključiti na pločicu iznosi 42 V. Za potrebe ovog projekta korišćen je ulazni napon od 12V. Pored posebnog ležišta za SIM karticu na ploči su pristuni ulazno-izlazni portovi i pinovi, kao i priključci za GSM i GPS antene. Za programiranje mikrokontrolera korišćen je programtor PICKIT 3 koji se povezuje sa mikrokontrolerom na tačno definisane pinove. Na slici 2. je prikazan izgled pločice koja je korišćena za potrebe ovog projekta.



Slika 2. Izgled pločice

2.1 Mikrokontroler PIC24FJ256GA106

Pomenuti mikrokontroler pripada familiji 16-bitnih mikrokontrolera, kompanije Microchip. Upotrebljen je za upravljanje celog uređaja. Ovaj mikrokontroler poseduje jednu veliku prednost, a to je da određene ulazno-izlazne pinove moguće podesiti tako da odgovaraju različitim perifernim jedinicama koje se nalaze unutar mikrokontrolera. Pomenuta opcija omogućava lakše projektovanje namenskih pločica i lakši razvoj firmvera za određene projekte. Mikrokontroler poseduje 64 pina, programsku memoriju od 256 KB i RAM memoriju veličine 16 KB. Takođe, ima pet 16-bitnih tajmera, četiri UART, tri SPI i tri I2C modula, kao i 10-bitni AD konvertor. Na slici 3. je prikazan izgled mikrokontrolera PIC24FJ256GA106.[1]

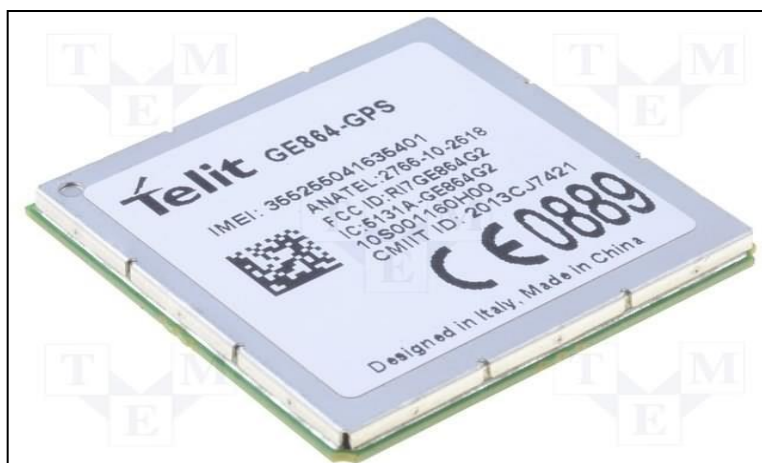


Slika 3. Izgled mikrokontrolera

2.2 Modem Telit GE864-GPS

Modem GE864-GPS oldikuje veoma mala potrošnja struje od 1,5 mA u neaktivnom režimu što predstavlja veoma velik značaj za uređaje sa baterijskim napajanjem. Komunikacija između modema i mikrokontrolera odvija se preko UART modula. Modem poseduje opciju da sam prepozna i prilagodi brzinu komunikacije (*eng. Autobauding*) do 115200 bps. Razmena informacija i komandi između modema i mikrokontrolera odvija se putem AT komandi. AT komande predstavljaju skup instrukcija koje modem može da razume. Neke od najčešće korišćenih AT komandi jesu komande sa podešavanje formata poruke i slanje SMS poruke.[2]

Da bi modem uopšte mogao da obavlja razmenu SMS poruka između korisnika i uređaja neophodno je postaviti SIM karticu u ležište na tačno predviđeno mesto koje je povezano sa modemom. Kako bi modem obavljao bilo kakvu komunikaciju potrebno je priključiti antenu na tačno definisan konektor kako bi se omogućilo prepoznavanje telefonske mreže preko koje se vrši prijem i slanje SMS poruka. Pored mnogih opcija koje pruža modem u ovom projektu korišćene su samo opcije sa slanje i prijem poruka. Na slici 4. je prikazan fizički izgled modema GE864-GPS.



Slika 4. Fizički izgled modema GE864-GPS

2.3 Senzor temperature DS18B20

DS18B20 je digitalni senzor koji omogućava veoma precizna merenja temperature ambijenta u kom se nalazi. Format podataka koje senzor prosleđuje mikrokontroleru namenjen je skali u stepenima celzijusa, podatak je skladišten u 9-bitnom binarnom zapisu. Senzor poseduje 64-bitni serijski kod koji mikrokontroler proziva kada želi da komunicira sa njim. Temperatura koju senzor može da meri nalazi se opsegu od -55 do 125°C , sa tačnošću od $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ u opsegu od -10 do 85°C .

Senzor sa mikrokontrolerom komunicira putem 1-wire komunikacionog protokola. U ovom protokolu koristi se jedan komunikacioni link (žica) za komunikaciju. Pin mikrokontrolera na kom se nalazi pomenuti link mora biti open-drain tipa, a komunikacioni link mora sadržati pull-up otpornik koji je jednim krajem povezan na komunikacioni link, a drugim na napon napajanja senzora, koji u ovom projektu iznosi 3.3V . Pull-up otpornik omogućava na komunikacionom linku vrednost logičke jedinice. Vrednost pull-up otpornika je $4.7\text{k}\Omega$. Dodatno, senzor ima više režima rada, od kojih je jedan parazitni odnosno, napajanje se vrši preko komunikacionog linka. Ovim režimom rada su ograničene mogućnosti senzora i zato nije razmatrana u ovom projektu. Na slici 5. je prikazan izgled senzora DS18B20 sa metalnim kućištem koji je upotrebljen u ovom projektu.[3]



Slika 5. Izgled senzora temperature

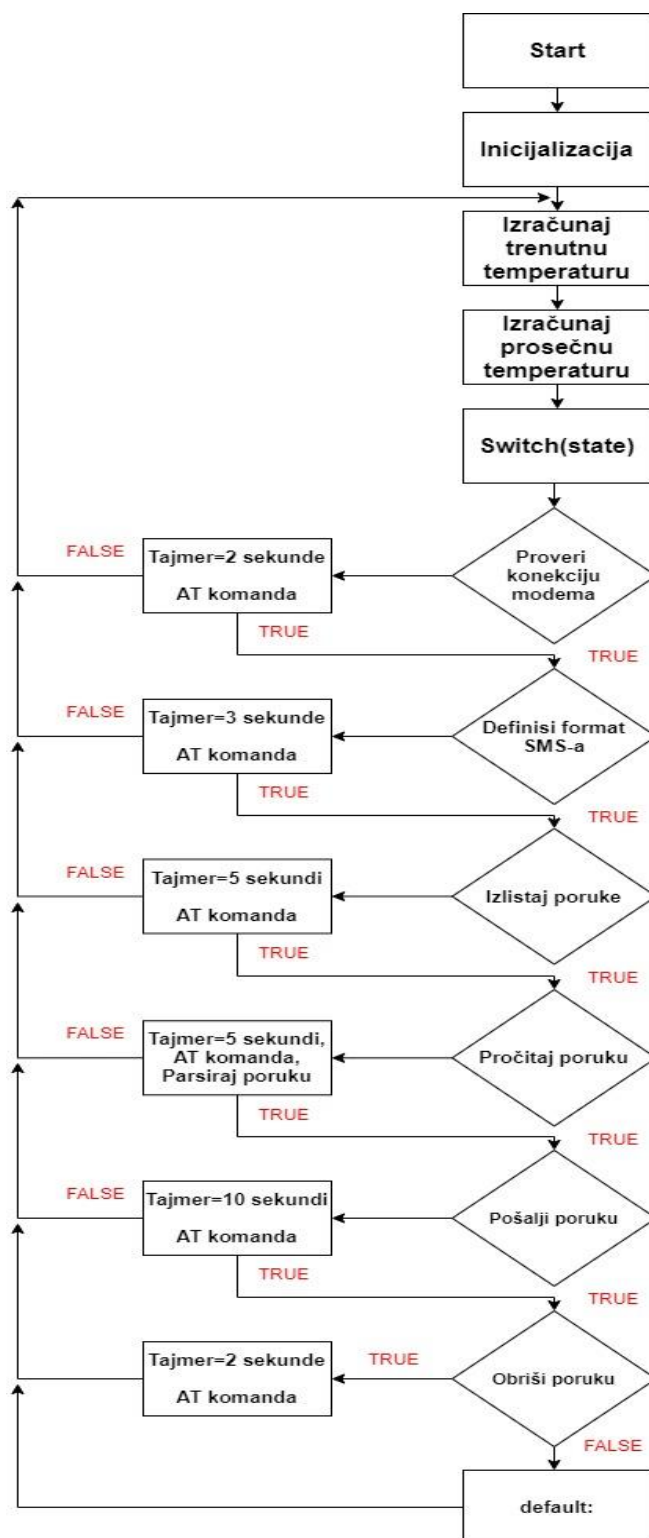
3. Realizacija firmvera uređaja

Nakon proučavanja električnih šema, komponentata i njihovog povezivanja na ispravan način stvara se mogućnost da se započne sa programiranjem mikrokontrolera kako bi na najoptimalniji način upravljao periferijama i omogućio korisniku korišćenje uređaja na jednostavan način.

Razvoj firmvera izvršen je u razvojnom okruženju MPLAB X, a za prevođenje izvornog koda u mašinski upotrebljen je kompajler XC16. Razvojno okruženje i kompajler napravljeni su tako da potpuno podržavaju Microchip-ove mikrokontrolere. Ovo dodatno olakšava razvoj firmvera za PIC mikrokontrolere i korišćenje čini veoma jednostavnim. Za programiranje mikrokontrolera korišćen je programator PICKit 3. Odlikuje ga veoma velika brzina rada, jednostavnost za upotrebu i vrlo lako se povezuje sa pločicom, odnosno mikrokontrolerom.

Dobijanje podataka od značaja realizovano je kroz povratnu SMS poruku. Da bi korisnik dobio informaciju o temperaturi potrebno je da na broj SIM kartice koja se nalazi u pločici pošalje poruku sa sadržajem Info. Ako je poruka uspešno primljena i obrađena mikrokontroler izdaje niz AT instrukcija modemu za formiranje SMS poruke čiji sadržaj predstavlja parametri o vrednosti temperature (trenutna i prosečna temperatura). Ukoliko modem prepozna i uspešno izvrši sve instrukcije, SMS sa sadržajem biće prosleđen na broj telefona korisnika koji je poslao zahtev za preuzimanje podataka. Za uspešno izvršavanje ovih instrukcija potrebno je konačno vreme, odnosno SMS poruka korisniku će biti prosleđena nakon 10 sekundi od prijema poruke sa odgovarajućim sadržajem.

Celokupan firmver za uređaj pisan je C programskim jezikom. Program odlikuje jednostavnost i veoma velika preglednost u cilju lakšeg i bržeg otklanjanja grešaka. Na slici 6. nalazi se algoritam rada firmvera uređaja.



Slika 6. Algoritam rada programa

3.1 Komunikacija sa senzorom temperature DS18B20

Senzor za merenje temperature je povezan sa mikrokontrolerom putem 1-wire komunikacionog protokola. Komunikacija se odvija u oba smera putem jednog komunikacionog linka. U jednom vremenskom trenutku moguće je samo vršiti jednu funkciju čitanje ili upis u senzor, ali nikad istovremeno. Komunikacija se odvija u master-slave konfiguraciji.

Funkcije koje omogućavaju inicijalizaciju, čitanje i upis podataka u senzor pisane se takozvanom *bit-banging* metodom kod koje je funkcija zadužena za direktno postavljanje vrednosti komunikacionog pina. Upotrebom niskog i visokog logičkih nivoa u određenim vremenskim intervalima koji su definisani protokolom omogućava se čitanje ili upis u senzor. Za potrebe dobijanja vrednosti temperature napisane su četiri funkcije, a to su:

- 1) `uint8_t sensor_init(void);`
- 2) `void write(uint8_t data);`
- 3) `uint8_t read(void);`
- 4) `float calculate_temp(void);`

Funkcija za inicijalizaciju ima ulogu da prozove senzor putem 1-wire protokola. Pre samog čitanja ili upisa u senzor, potrebno je proveriti da li je senzor uopšte ispravan i da li ima napajanje. Ukoliko je sve u redu sa prozivkom rezultat funkcije je 0, a u suprotnom 1.

Funkcija za upis podataka kao argument sadrži 8-bitni podatak koji se prosleđuje u memoriju senzora. Slanje bajta vrši se sukcesivnim slanjem jednog po jednog bita. Slanje bajta vrši se od bita najmanje važnosti do bita najveće važnosti. Funkcija prolazi kroz bitove i određuje da li je odgovarajući bit nula ili jedinica i potom ga šalje na odgovarajući način.

Funkcija za čitanje ima ulogu da pročita 8-bitni podatak sa senzora. Funkcija ima osam iteracija za svaki bit po jednu i proverava logičko stanje pina na kom se nalazi 1-wire komunikacioni link.

Funkcija za izračunavanje temperature obavlja prozivku senzora, čitanje dvobajtnog podatka sa senzora i vrši konverziju podataka u korisniku čitljiv format. Podatak o temperaturi je skladišten u devetobitnom obliku. Konvertovana temperatura je automatski izražena u stepenima celzijusa. Nakon provere inicijalizacije, potrebno je upisati u senzor 0xCC vrednost koja označava da se *master* uređaj obraća svim *slave* uređajima. Naredna komanda predstavlja slanje vrednosti 0x44 koja omogućava početak merenja i uspešnu konverziju temperature u električni signal u senzoru. Ukoliko su prethodna dva koraka uspešno obavljena moguće je pročitati otisak odnosno digitalni binarni zapis podatka o temperaturi iz senzora. Potrebno je pročitati dva bajta i konvertovati ih u format čitljiv korisniku. Na slici 7. nalazi se prikaz funkcije za računanje vrednosti temperature.

```
float calculate_temp(void)
{
    uint8_t temp_l,temp_h;
    uint16_t temp;
    float temperature;

    if(!sensor_init())
    {
        write(0xcc);      //skip ROM
        write(0x44);      //convert temp

        __delay_ms(800);

        sensor_init();
        write(0xcc);
        write(0xbe);      //read scratchpad

        temp_l = read();
        temp_h = read();

        temp=(temp_h << 8)|temp_l;
        temperature=(float)temp/16;
    }
    return temperature;
}
```

Slika 7. Funkcija za izračunavanje temperature nakon očitavanja senzora

3.2 Komunikacija sa modemom Telit GE864-GPS

Mikrokontroler i modem komuniciraju preko asinhronne serijske komunikacije - UART-a. UART modul se nalazi u sklopu mikrokontrolera, a i modema. Služi za primopredaju podataka u serijskom obliku. Ova komunikacija obavlja se putem dva komunikaciona linka. UART predstavlja komunikaciju u oba smera, istovremeno se može vršiti prijem i predaja. U ovom projektu korišćen je UART1 modul na pinovima mikrokontrolera RD9 (Rx) i RD10 (Tx).

Funkcija za inicijalizaciju UART1 modula naziva se *void UART1_Init(void)* i njen sadržaj se može opisati u tri koraka.

Prvi korak inicijalizacije predstavlja podešavanje bita U1MODE i U1STA registara. Dodatno, potrebno je omogućiti da se prijem podataka na mikrokontroleru sa modema vrši u prekidnoj rutini. Poželjno je i odrediti prioritet prekidne rutine.

Drugi korak predstavlja mapiranje programabilnih pinova. Potrebno je pinovima RD9 i RD10 dodeliti UART1 modul i naznačiti im smer komunikacije. Samo pinovi koji imaju oznaku RPx mogu se mapirati. Mapiranje se vrši tako što je potrebno otključati registar za mapiranje, dodeliti vrednost pinovima i potom zaključati registar. Mapiranje se može vršiti samo na jednom mestu u programu.

Treći i poslednji korak jeste podešavanje U1BRG registra. Pomenuti registar sadrži informaciju o broju bita koji se prosleđuju u sekundi između modema i mikrokontrolera. Brzina prenosa podataka podešena je na 9600 bita u jednoj sekundi. Formula po kojoj se dodeljuje vrednost U1BRG registru je:

$$U1BRG = (FCY / ((double) 16 * BaudRateU1)) - 1$$

Za potrebe projekta korišćen je interni oscillator u vrednosti od 8 MHz. Instrukcioni takt mikrokontrolera i takt periferija se množi četiri puta i deli sa dva. Ova vrednost instrukcionog takta iznosi 16 MHz i predstavlja FCY simbol u pomenutoj formuli. BaudRateU1 predstavlja vrednost definisanu preko makroa i iznosi 9600.

Komunikacija mikrokontrolera i modema realizovana je preko pet funkcija. Svaka funkcija predstavlja jedno stanje i sadrži tačno određene AT instrukcije. Unutar svakog stanja uključuje se tajmer koji definiše tačno koliko sme jedno stanje da se izvršava. Ovo je implementirano u cilju da ukoliko modem ne prepozna poruku ili vrati komandu koju mikrokontroler ne očekuje bude omogućeno vraćanje programa u početno stanje. Svakom stanju je bitno dodeliti dovoljno vremena za njegovo izvršavanje. Vreme koje je potrebno određenom stanju da se izvrši zavisi od vrste AT komandi. Preporuka koliko je vremena potrebno za pravilno izvršavanje određene AT komande može se potražiti u katalogu modema (*eng. Datasheet*).

Funkcije koje definišu stanja u kojem se program može nalaziti i koje sadrže niz neophodnih komandi su:

- 1) void MODEM_CHECK_CONNECTION(void);
- 2) void MODEM_SMS_FORMAT_DEFINE(void);
- 3) void MODEM_SMS_LIST(void);
- 4) void MODEM_SMS_READ(void);
- 5) void MODEM_SMS_SEND(void);
- 6) void MODEM_SMS_DELETE(void);

Struktura svih navedenih funkcija je relativno slična. Razlikuju se samo po sadržaju AT komandi i po vremenu koje se dodeljuje tajmeru za svako stanje u kom se nalaze. Svaka navedena funkcija u sebi sadrži funkciju *BACK_TO_CHECK_CONNECTION_STATE()* koja proverava da li je tajmer istekao što uzrokuje da program vrati u početno stanje usled nepravilnog ili neočekivanog odgovora modema. Početno stanje i prozivku modema predstavlja funkcija *void MODEM_CHECK_CONNECTION(void)*. Realizacija funkcije za čitanje poruke je prikazana na slici 8.

```
void MODEM_SMS_READ(void)
{
    Send_String_UART1("AT+CMGR=");
    Send_One_Char(message_index);
    Send_One_Char('\r');

    TimerTemp=5000;
    TimerTimeout=0;
    temp=0;

    while((ParseBuffer(nizRXbuffer1,"Info")==0) && (TimerTimeout==0));

    temp=ParseBuffer(nizRXbuffer1,"Info");

    if(temp!=0)
    {
        temp_phone=ParseBuffer(nizRXbuffer1,"\\ "+);
        state = SMS_SEND;
    }

    for(number=0; number < 16; number++)
    {
        phone_number[number]=0;
    }

    for(number=0; nizRXbuffer1[temp_phone+number] != ','; number++)
    {
        phone_number[number] = nizRXbuffer1[temp_phone+number];
    }

    BACK_TO_CHECK_CONNECTION_STATE();
}
```

Slika 8. Realizacija funkcije za čitanje sadržaja poruke

AT komande koje su upotrebljene u komunikaciji sa modemom, njihovo značenje, odgovor modema na poslatu poruku kao i funkcija u kojoj se nalaze opisane su tabeli 1.

Komanda:	Odgovor modema:	Lokacija:	Značenje:
AT	OK	MODEM_CHECK_CONNECTION	Prozivka modema
AT+CMGF	OK	MODEM_SMS_FORMAT	Tekst format poruke
AT+CMGL	OK	MODEM_SMS_LIST	Izlistava poruke
AT+CMGR	OK	MODEM_SMS_READ	Čita sadržaj poruke
AT+CNMI	OK	MODEM_SMS_SEND	Način prijema poruke
AT+CMGS	>	MODEM_SMS_SEND	Unos sadržaja poruke
AT+CMGD	OK	MODEM_SMS_DELETE	Brisanje poruke

Tabela 1. Spisak upotrebljenih AT komandi

4. Glavni program firmvera

Sadržaj glavnog programa je veoma jednostavan. Glavni program sadrži neophodne funkcije za inicijalizaciju, poziv potrebnih funkcija za računanje trenutne i prosečne temperature na svakih 5 sekundi. Na slici 9. je prikazan izgled glavnog programa po kom se izvršava firmver.

```
int main(void)
{
    PIN_Init();
    MCUGlockInit();
    UART1_Init();
    TMRL_init();
    ClearBuffer();

    state=CONNECTION_CHECK;

    while(1)
    {
        if(get_values)
        {
            get_values=0;

            temp_avg=(temp_avg+temp_float)/2;
            ftoa(temp_avg,temp_string_avg,1);
        }

        if(!temp_avg)
        {
            temp_avg=calculate_temp();
        }

        temp_float=calculate_temp();
        ftoa(temp_float,temp_string,1);

        switch(state)
        {
            case CONNECTION_CHECK:
                MODEM_CHECK_CONNECTION();

                break;

            case SMS_FORMAT_DEFINE:
                MODEM_SMS_FORMAT_DEFINE();

                break;

            case SMS_LIST:
                MODEM_SMS_LIST();

                break;

            case SMS_READ:
                MODEM_SMS_READ();

                break;

            case SMS_SEND:
                MODEM_SMS_SEND();

                break;

            case SMS_DELETE:
                MODEM_SMS_DELETE();

                break;

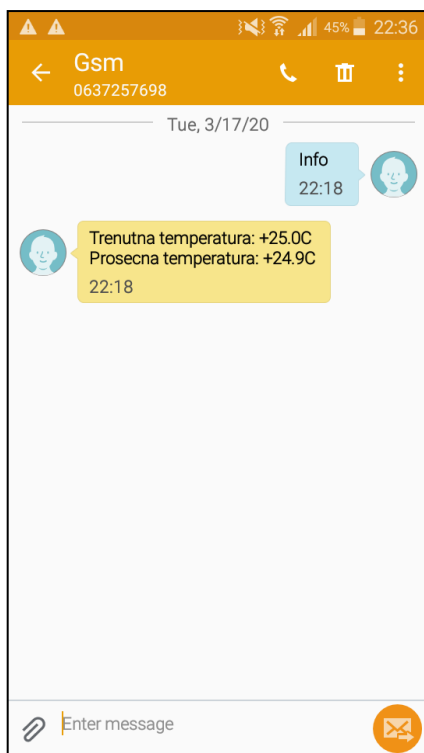
            default:
                state=CONNECTION_CHECK;
        }
    }

    return 0;
}
```

Slika 9. Izgled glavnog programa

5. Rezultati merenja temperature

Za dobijanje vrednosti trenutne i prosečne temperature, potrebno je da korisnik prosledi SMS poruku sa sadržajem u kojem se nalazi ključna reč "Info". Ukoliko korisnik pošalje još neki sadržaj pored ključne reči, poruka će i takva biti validna. Ukoliko je ključna reč napisana pogrešno na bilo kakav drugi način od prethodno pomenutog, poruka neće biti obrađena, a korisnik neće dobiti povratnu informaciju o vrednosti temperature. Primer pravilnog slanja i prijema poruke sa podacima je prikazan na slici 10.



Slika 10. Prikaz poruke

6. Zaključak

Na osnovu rezultata merenja temperature može se zaključiti da ovaj uređaj ispunjava sve uslove zadatim zadatkom ovog projekta. Izvršena su veoma precizna merenja temperature u opsegu od 0°C do 125°C. U ovom projektu autori su se prvi put susreli sa komponentama poput modema, antena i komunikacionim protokolom 1-wire. Rad sa namenskom pločicom čini pravi izazov i zahteva detaljno proučavanje hardverskih električnih šema kako bi se stekao potpun uvid u način rada celokupnog sistema.

Ovakav uređaj je moguće nadograditi dodatnim senzorima koji bi pored temperature pružali podatke o pritisku vazduha gde se uređaj nalazi, vlažnosti zemljišta itd. Dodatno, veoma interesantnu implementaciju predstavljalo bi poznavanje lokacije uređaja ukoliko se uređaj nalazi u pokretu.

7. Reference

- [1] www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC24FJ256GA106 pristupljeno: 19.3.2020.
- [2] www.semiconductorstore.com/GE864-Quad-Band-GSMGPRS-Cellular-Modules/F/55/ pristupljeno: 19.3.2020
- [3] Stanica ekstremno niske potrošnje za merenje parametra životne sredine i njihovo slanje korisniku putem SMS poruke, autor: Stevan Srećkov