

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

Daljinsko praćenje i zadavanje temperature pomoću GSM mreže

Projekat iz predmeta 32-bitni mikrokontroleri i
primena

Profesor:
Dr Dragan Vasiljević

Student:
Predrag Marić 2012/3376
predrag.maric@sbb.rs

Beograd, februar 2013.

Sadržaj

1. Uvod	3
2. Zahtevi projekta	3
3. Hardver objekta upravljanja	4
3.1. Mikrokontroler	4
3.2. Senzor temperature i vlažnosti.....	5
3.3. Zig Bee modul	6
4. Hardver upravljačkog modula	7
4.1. Mikrokontroler	7
4.2. Zig Bee modul	8
4.3. TFT displej.....	8
4.4. Touch-screen kontroler	8
4.5. GSM Modul.....	9
5. Softver objekta upravljanja.....	10
5.1. Koncept	10
5.2. Komunikacija sa upravljačkim modulom	10
6. Softver upravljačkog modula.....	11
6.1. Komunikacija sa TFT displejem	12
6.2. Komunikacija sa touch-screen kontrolerom	13
6.3. Komunikacija sa XBee modulom (objektom upravljanja).....	13
6.4. Komunikacija sa GSM modulom	14
6.5. Format komandnih SMS poruka	14
7. Rezultati testiranja	15
8. Zaključak	17
9. Literatura	17

1. Uvod

Ovaj rad predstavlja izveštaj o urađenom projektu iz predmeta 32-bitni mikrokontroleri i primena, na Elektrotehničkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. U okviru izveštaja dato je kompletno rešenje za realizaciju sistema za daljinsko praćenje i zadavanje temperature pomoću GSM mreže. Detaljno će biti opisan hardver i softver sistema, princip rada, korišćene periferije mikrokontrolera, načini komunikacije među modulima i komunikacija sa korisnikom.

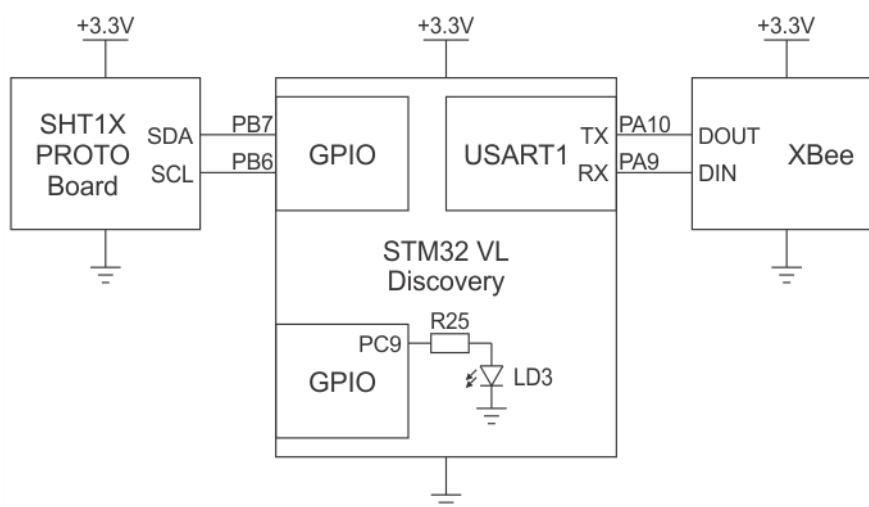
Projekat je realizovan koišćenjem 32-bitnog mikrokontrolera STM32F100RB, kompanije STMicroelectronic, čija je osnova ARM Cortex M3 jezgro.

2. Zahtevi projekta

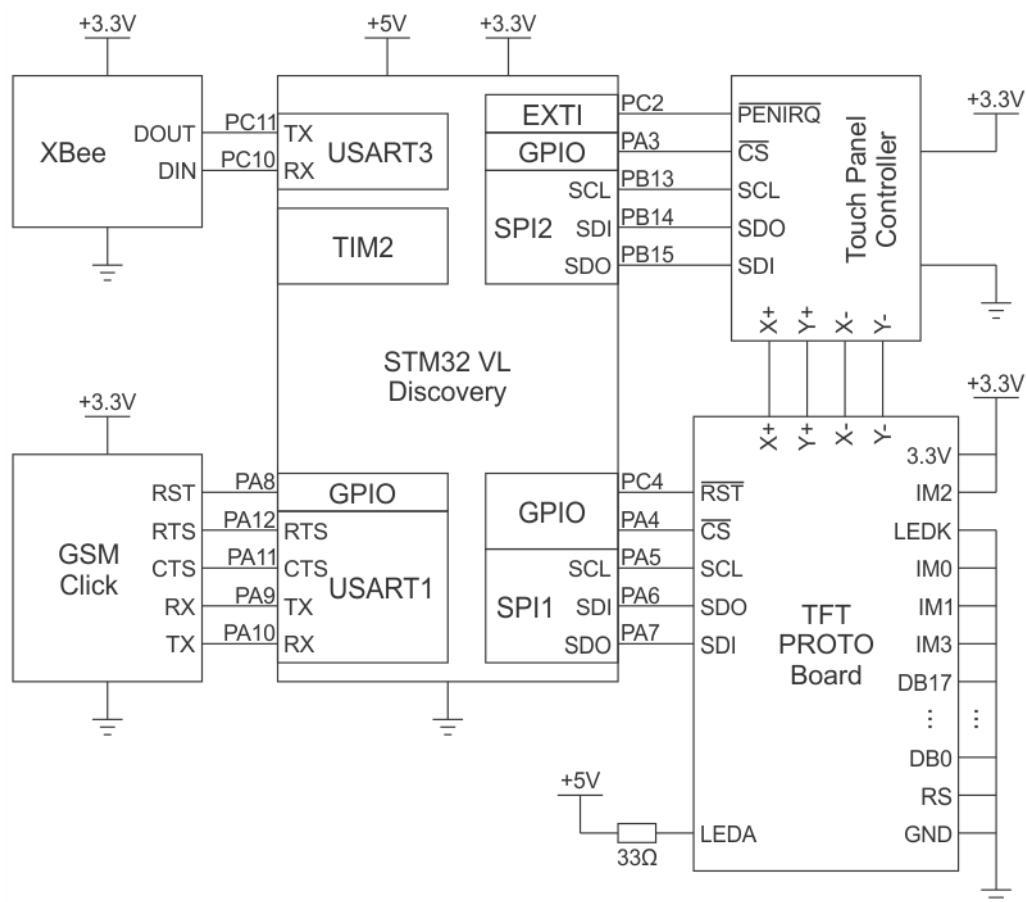
Potrebno je realizovati sistem za daljinsko praćenje i zadavanje temperature pomoću GSM mreže. Sistem se sastoji od upravljačkog modula i objekta upravljanja. Objekat upravljanja se nalazi na poziciji na kojoj se prati i reguliše temperatura periodično meri temperaturu i vlažnost vazduha i izmerene vrednosti šalje upravljačkom modulu. Od upravljačkog modula prima podatak o zadatoj temperaturi i po potrebi uključuje ili isključuje grejanje. Komunikacija između objekta upravljanja i upravljačkog modula se odvija preko ZigBee mreže.

Upravljački modul prima podatke o izmerenoj temperaturi i vlažnosti vazduha i ispisuje ih na TFT displeju, zatim prati aktivnost ekrana osetljivog na dodir i na osnovu toga zadaje novu temperaturu objektu upravljanja. Osim toga vrši proveru prispeća SMS poruke i po njenom prispeću, reaguje shodno komandi koja je zadata porukom, nakon čega šalje statusnu SMS poruku koja sadrži podatke o temperaturi, vlažnosti i statusu grejača.

Blok šeme objekta upravljanja i upravljačkog modula date su na slikama 1 i 2.



Slika 1. Blok šema objekta upravljanja



Slika 2. Blok šema upravljačkog modula

3. Hardver objekta upravljanja

3.1. Mikrokontroler

Mikrokontroler koji se koristi i u objektu upravljanja i u upravljačkom modulu je STM32F100RB. On sadrži Cortex M3 jezgro, koje radi na maksimalnoj učestanosti od 24MHz. Mikrokontroler ima 128KB Flash i 8KB SRAM memorije, dva interna i podršku za dva eksterna oscilatora, više tajmera, komunikacionih interfejsa (I2C, SPI, USART), DA i AD konvertore, 7-kanalni DMA kontroler i 51 opštenamenski ulazno-izlazni pin.

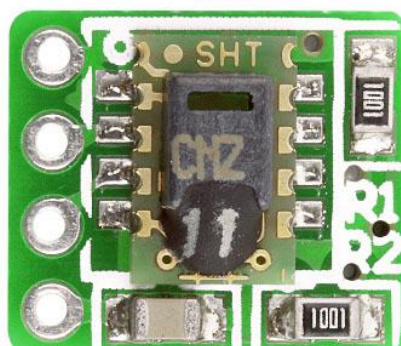
Radi lakšeg razvoja koristi se razvojna pločica STM32 VL DISCOVERY, na kojoj se nalazi mikrokontroler, programator/debager, dva tastera i dva LED-a. Svi pinovi mikrokontrolera su izvedeni preko nožica, što omogućava jednostavno povezivanje mikrokontrolera sa ostalim hardverom. Komunikacija sa računarem se obavlja pomoću USB interfejsa sa koga mikrokontroler dobija i napajanje. Pločica ima izvedene pinove sa napajanjem od 5V i 3,3V kroz koje može ili napajati ostatak hardvera ili primiti napajanje. Izgled razvojne pločice dat je na slici 3.



Slika 3. STM32 VL DISCOVERY

3.2. Senzor temperature i vlažnosti

Upotrebljen je senzor temperature i vlažnosti SHT11 proizvođača Sensirion. Senzor ima nisku potrošnju, digitalni ulaz i izlaz, dolazi fabrički kalibrisan, ima ugrađen 14-bitni AD konvertor, pa temperaturu šalje kao 12 ili 14-bitni podatak, a vlažnost kao 8 ili 12-bitni. Merenje temperature je ostvarno pomoću band-gap senzora, a vlažnost se meri pomoću kapacitivnog senzora. Pošto senzor dolazi u SMD pakovanju, upotrebljena je pločica SHT1X PROTO Board, koja omogućava jednostavno povezivanje sa mikrokontrolerom. Senzor je prikazan na slici 4.



Slika 4. SHT11 senzor

Komunikacija sa senzorom je ostvarena preko magistrale koja se može povezati na I2C magistralu, pri čemu ne smeta drugim uređajima na toj magistrali, ali se ne može ostvariti komunikacija korišćenjem I2C protokola, već je potreban poseban protokol.

3.3. Zig Bee modul

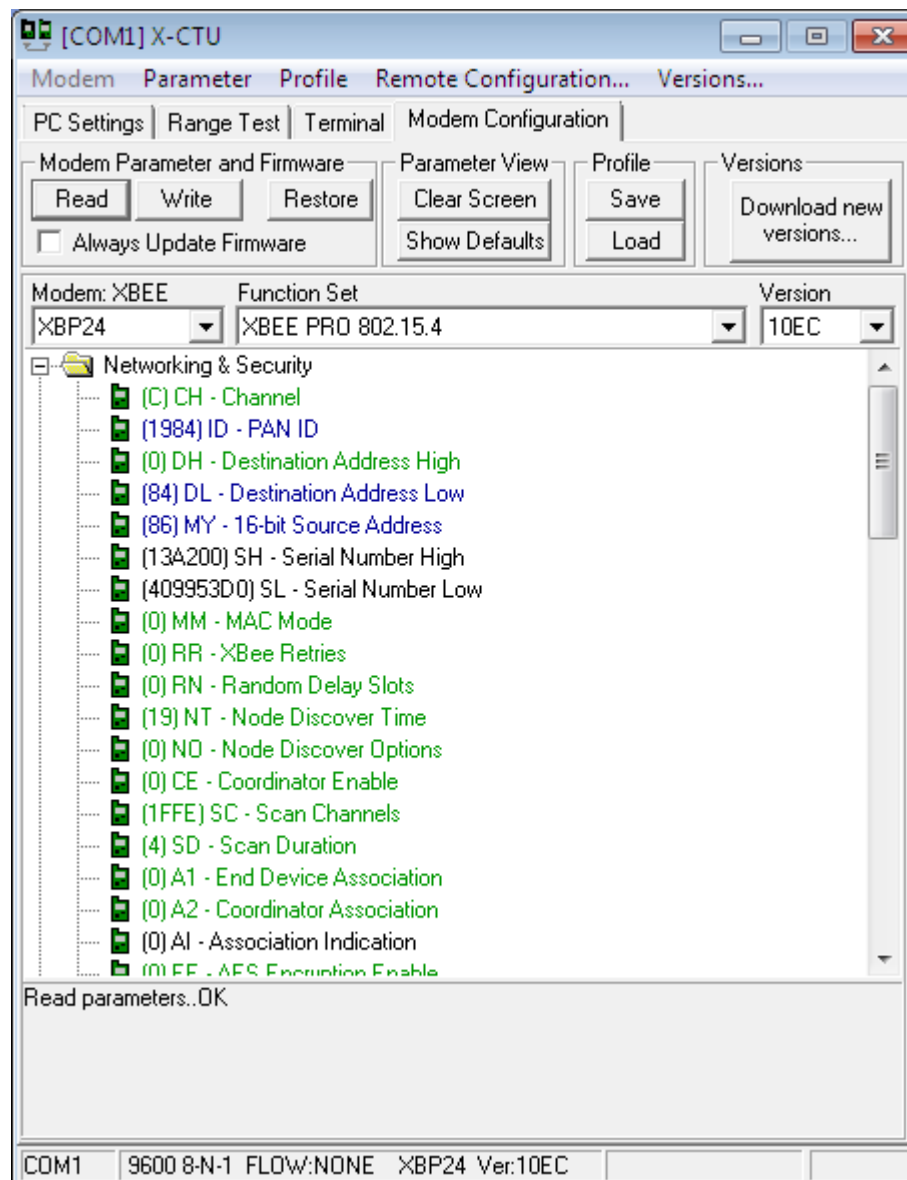
Za komunikaciju između objekta upravljanja i upravljačkog modula koriste se moduli Xbee PRO S1, proizvođača Digi International, prikazan na slici 5. Ovi moduli imaju u sebi implementiran stek pa je njihova implementacija u sistem vrlo jednostavna. Domet im je 60m u zatvorenom prostoru i 750m na otvorenom, što im daje širok spektar primena. Brzina prenosa koja se može postići je 250000bps a signal prenose na učestanosti od 2,4GHz. Omogućavaju Point-to-Point i Point-to-Multipoint komunikaciju, što je pogodno za ovaj projekat jer omogućava jednostavno dodavanje više objekata upravljanja. Fabrički podešen modul je spreman za rad u Point-to-Point modu, međutim, da ne bi došlo do neželjene interakcije sa drugim modulima korisno je promeniti podešavanja, tako da moduli budu upareni i da komuniciraju samo jedan sa drugim. Ovo se može izvesti korišćenjem AT komandi ili, mnogo jednostavnije korišćenjem programa X-CTU, čiji izgled je dat na slici 6.



Slika 5. Xbee PRO S1 modul

Da bi se moduli uparili potrebno je da imaju PAN (Personal Area Network) broj. Svakom modulu se dodeli jedinstvena adresa u mreži, a zatim se kao odredišna adresa svakom modulu dodeli adresa drugog modula u mreži. Na ovaj način je onemogućeno da se slučajno neki drugi modul umeša u njihovu komunikaciju.

Modul sa mikrokontrolerom komunicira pomoću UART-a. Da bi se omogućilo podešavanje modula pomoću računara potrebno je povezati ga na serijski port računara pomoću integrisanog kola MAX323 ili u slučaju povezivanja na USB pomoću integrisanog kola FT232, koje emulira standardni serijski port računara.



Slika 6. Izgled programa X-CTU

4. Hardver upravljačkog modula

4.1. Mikrokontroler

U upravljačkom modulu je korišćen identičan mikrokontroler kao i u objektu upravljanja. Pogledati poglavlje 3.1.

4.2. Zig Bee modul

U upravljačkom modulu je korišćen identičan Zig Bee modul kao i u objektu upravljanja. Pogledati poglavlje 3.3.

4.3. TFT displej

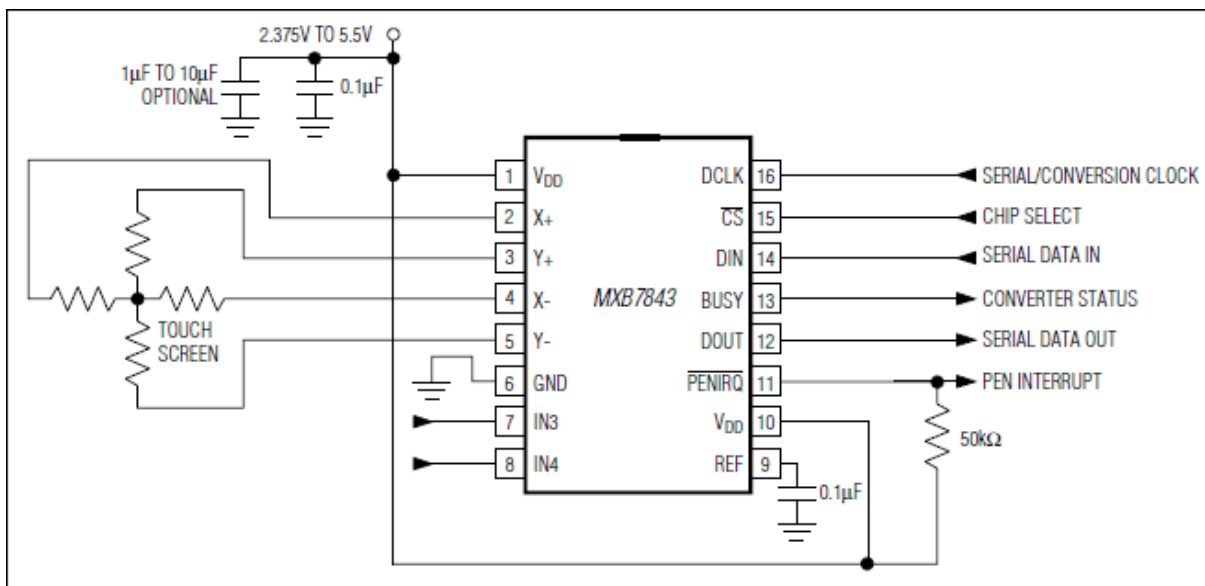
Upotrebljen je TFT displej rezolucije 240x320 piksela, kojim upravlja HX8347D kontroler. Ovaj kontroler omogućava više paralelnih metoda komunikacije i serijsku vezu sa mikrokontrolerom pomoću SPI magistrale. Podržava brzine do 50MHz. U ovom projektu se koristi u modu u kom ima 16-bitnu R(5)G(6)B(5) paletu boja. Na displeju se nalazi i panel osetljiv na dodir, rezistivnog tipa, koji se očitava korišćenjem 4 linije. Displej je prikazan na slici 7.



Slika 7. TFT displej

4.4. Touch-screen kontroler

Da bi se olakšalo očitavanje pozicije pritiska na displej upotrebljen je MAXIM-ov kontroler MXB7843 koji automatizuje postupak očitavanja. Korišćenje ovakvog kontrolera nije neophodno jer je očitavanje moguće izvesti direktno pomoću mikrokontrolera upotrebom AD konvertora, međutim kontroler veliki deo posla preuzima na sebe, pa mikrokontroler ne mora periodično da očitava panel i detektuje pritisak. Veza između mikrokontrolera i integrisanog kola MXB7843 se ostvaruje pomoću SPI magistrale i jedne prekidne linije. Kada se desi pritisak na panel, kontroler to detektuje i šalje spoljašnji zahtev za prekid (EXTI) mikrokontroleru koji nakon toga inicira čitanje podataka. Na slici 8 je prikazana šema povezivanja kontrolera sa touch-screen panelom i mikrokontrolerom.



Slika 8. Šema povezivanja touch-screen kontrolera MXB7843

4.5. GSM Modul

Za realizaciju projekta upotrebljen je Telit-ov GSM modul GL865 QUAD GSM/GPRS modul. Modul se nalazi na GSM Click pločici proizvođača Mikroelektronika, na kojoj se osim modula nalazi i dodatni hardver neophodan za funkcionisanje modula i njegovo jednostavno povezivanje sa mikrokontrolerom. Komunikacija sa mikrokontrolerom se ostvaruje pomoću UART-a, pri čemu je omogućena hardverska kontrola toka signalima CTS i RTS. Upravljanje modulom se vrši pomoću AT komandi. Izgled modula je dat na slici 9.

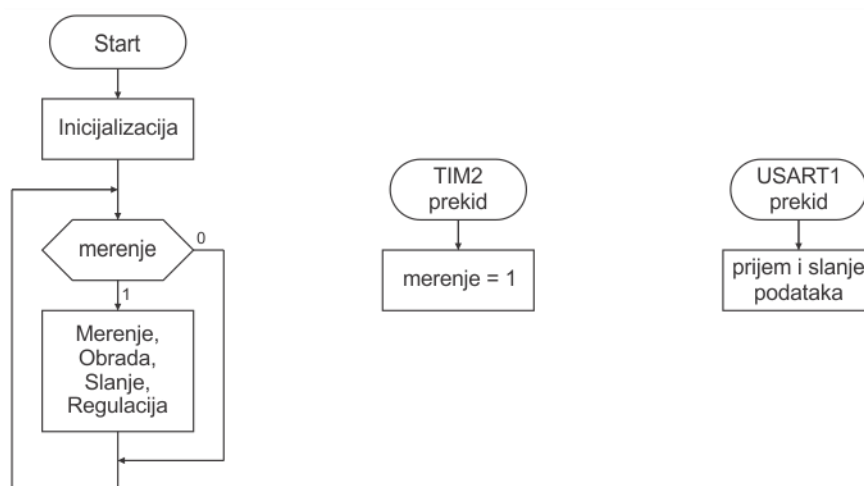


Slika 9. GSM modul

5. Softver objekta upravljanja

5.1. Koncept

Izvršavanjem programa objekta upravljanja rukovodi tajmer TIM2 pomoću generisanja periodičnog prekida. TIM2 radi u Up modu, podešen je tako da generiše zahtev za prekid sa periodom od 1s. U prekidnoj rutini se zadaje merenje temperature i vlažnosti setovanjem promenljive “merenje”. U glavnoj programskoj petlji se ispituje da li je potrebno izvršiti merenje i ukoliko jeste ono se i vrši. Ovakav pristup omogućava jednostavno dodavanje novih programskih poslova mikrokontrolera. Dijagram izvršavanja programa je prikazan na slici 10.



Slika 10. Dijagram izvršavanja programa objekta upravljanja

Komunikacija sa senzorom se vrši pomoću opštenamenskih ulazno/izlaznih linija. Po dobijanju podataka od senzora, vrši se njihova obrada da bi se ispravila nelinearna karakteristika senzora. Nakon toga se inicira slanje izmerenih vrednosti objektu upravljanja, a zatim se vrši regulacija rada grejanja u zavisnosti od izmerene temperature i temperature koju je potrebno postići. Da bi se izbeglo oscilovanje izlaza koji upravlja grejanjem kada je temperatura na granici tražene vrednosti ubačen je histerezis od 0,5°C. Razmena podataka sa upravljačkim modulom se vrši u prekidnoj rutini periferije USART1.

5.2. Komunikacija sa upravljačkim modulom

Da bi objekat upravljanja i upravljački modul mogli uspešno komunicirati definisani su protokoli razmene podataka i formati podataka.

Objekat upravljanja šalje podatke o svom trenutnom statusu u formatu:

$$T t_1 t_0 H h_1 h_0 S s_1 s_0 E,$$

gde su T, H, S i E kontrolni simboli, t_1 i t_0 viši i niži bajt vrednosti temperature, h_1 i h_0 viši i niži bajt izmerene vlažnosti, s_1 daje informaciju o statusu regulacije temperature (da li je regulacija uključena ili isključena), a s_0 je temperatura koju objekat upravljanja održava.

Izmerena temperatura se predstavlja i šalje kao označena celobrojna vrednost izražena u stotim delovima stepeni Celzijusa. Izmerena vlažnost se takođe šalje kao označena celobrojna vrednost izražena u stotim delovima procenta. Status ima vrednost 0x55 ako je regulacija uključena, a 0xAA ako je isključena. Tražena temperatura se šalje u stepenima Celzijusa.

Format podataka koje objekat upravljanja prima od upravljačkog modula je:

$$S \times T$$

gde su S i T kontrolni simboli, a x predstavlja novu vrednost temperature koju treba održavati, izraženu u stepenima Celzijusa i:

$$S \times C$$

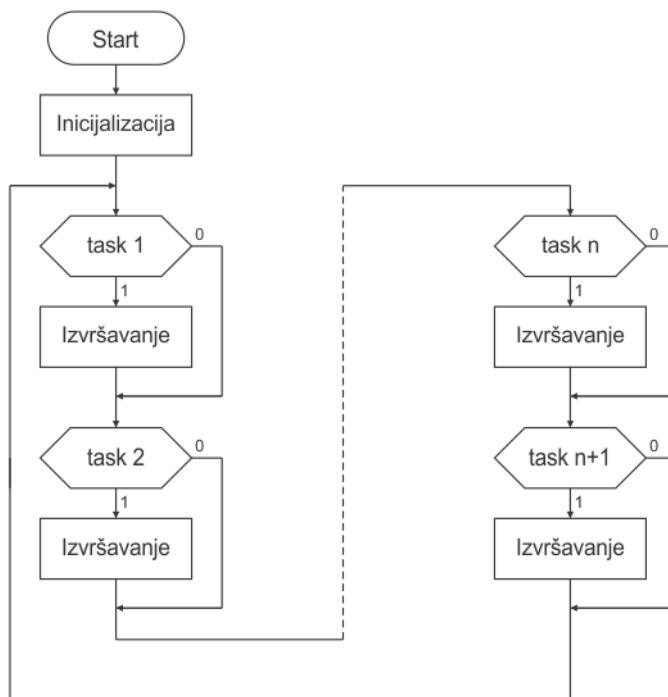
gde su S i C kontrolni simboli, a x predstavlja novi status regulacije.

Dekodovanje ovih naredbi vrši jednostavna mašina stanja koja se izvršava u prekidnoj rutini USART1.

6. Softver upravljačkog modula

Softver upravljačkog modula je realizovan po principu više taskova, koji se po potrebi izvršavaju. Poslovi za koje su ti taskovi zaduženi su: zadavanje merenja na touch-screen panelu, obrada izmerenih rezultata sa panela i preduzimanje odgovarajuće akcije, slanje nove vrednosti tražene temperature objektu upravljanja, slanje nove vrednosti statusa regulacije temperature objektu upravljanja, osvežavanje ispisa tražene temperature na displeju, osvežavanje ispisa izmerene temperature, osvežavanje ispisa izmerene vlažnosti, osvežavanje ispisa statusa regulacije temperature, čitanje pristiglih SMS poruka, adekvatno reagovanje na njih i generisanje i slanje odgovora. Svaki od ovih taskova se izvršava samo ukoliko postoji potreba za tim, čime se štedi procesorsko vreme. Iako je poslova mnogo, izvršavanje programa je uređeno tako da je vrlo jednostavno dodati nove poslove, što se može videti sa dijagrama toka izvršavanja programa upravljačkog modula, prikazanog na slici 11.

Poslovi gde je potrebno preneti veću količinu podataka su povereni DMA kontroleru, da bi se rasteretio procesor. Komunikacija sa objektom upravljanja i GSM modulom se vrši u odgovarajućim prekidnim rutinama.



Slika 11. Dijagram izvršavanja programa upravljačkog modula

6.1. Komunikacija sa TFT displejem

Za komunikaciju sa displejem se koristi SPI1 periferija. Tokom inicijalizacije displeja, pre pokretanja glavne programske petlje komunikacija se, radi jednostavnosti, odvija poliranjem SPI1 tokena, koji daje informaciju o zauzetosti magistrale.

U glavnoj programskoj petlji, komunikacija se odvija isključivo pomoću DMA prenosa. Koristi se DMA kanal 3 koji je zadužen za slanje podataka na SPI1 magistralu. DMA prenos se inicijalizuje u nekom od taskova zaduženim za osvežavanje ispisa na displeju, nakon čega program nastavlja sa izvršavanjem drugih taskova, a na kraju prenosa DMA kontroler prekidom obaveštava da je prenos završen i da je magistrala slobodna. Pošto je u ovom projektu komunikacija sa displejem jednosmerna, koristi se samo jedan kanal DMA kontrolera.

DMA kanal 3 je podešen tako da vrši prenos iz memorije ka periferiji, uz inkrementiranje memorijske adrese, a veličina podatka koji se prenosi je 1 bajt. Broj podataka koji se prenose zavisi od upotrebljenog fonta.

6.2. Komunikacija sa touch-screen kontrolerom

Mikrokontroler koristi SPI2 magistralu za komunikaciju sa touch-screen kontrolerom. Prenos se vrši pomoću DMA kontrolera, kanala 4 za prijem podataka i kanala 5 za slanje podataka. Da bi određivanje pozicije pritiska na ekran bilo uspešno koriste se još TIM2 i EXTI periferije.

EXTI periferija je podešena da reaguje na silaznu ivicu signala dovedenog na port PC2 mikrokontrolera. Silazna ivica signalizira da je touch-screen kontroler detektovao pritisak na ekran i u prekidnoj rutini EXTI2 prekida se startuje tajmer TIM2, koji je podešen da radi u one-pulse modu. Kada istekne predefinisano vreme TIM2 generiše prekid u kom se setovanjem flega omogućava aktiviranje taska koji konfiguriše DMA kanal 5 da na SPI2 magistralu pošalje komandu za merenje pozicije pritiska na ekran. Na ovu komandu touch-screen kontroler odgovara izmerenim vrednostima koje kanal 4 DMA kontrolera prenosi sa SPI2 magistrale u predviđene memorijske lokacije.

Kanal 4 DMA kontrolera je podešen da prenosi bajt po bajt iz SPI2 periferije u memoriju, pri čemu se vrši inkrementiranje adrese memorijske lokacije. Kanal 5 je podešen da vrši prenos u obrnutom smeru.

6.3. Komunikacija sa XBee modulom (objektom upravljanja)

Komunikacija sa XBee modulom se odvija preko USART3 periferije, koja je konfigurisana da radi kao asinhrona, brzine prenosa 9600 bps, dužinom podatka od 8 bita, sa jednim stop bitom, bez bita parnosti i bez hardverske kontrole toka.

Slanje i prijem podataka se vrše u prekidu. U prekidnoj rutini se nalazi i mašina stanja koja analizira prispele podatke i određuje da li je pristigla validna poruka od objekta upravljanja, u skladu sa uspostavljenim formatom podataka opisanim u poglavlju 5.2. Kada je potrebno poslati podatak objektu upravljanja omogućava se prekid koji se generiše kada je predajni bafer USART3 periferije prazan. Po prenosu utvrđene količine podataka ukida se dozvola za generisanje prekida za slanje podataka.

Različiti taskovi kontrolu nad USART3 periferijom ostvaruju uzimanjem odgovarajućeg tokena, čime stiču ekskluzivan pristup periferiji. Po završetku prenosa, token se vraća i drugi task ga može uzeti i zauzeti periferiju za sebe.

6.4. Komunikacija sa GSM modulom

Komunikacija sa GSM modulom je preko asinhronne serijske magistrale, korišćenjem USART1 periferije. Slično kao kod XBee modula i u ovom slučaju se prijem i slanje podataka odvijaju pomoću prekida. U prekidnoj rutini se nalazi više mašina stanja koje su zadužene za tumačenje poruka pristiglih od GSM modula.

U ovom slučaju ne postoji token za pristup periferiji jer periferijom upravlja samo jedan task, koji joj može pristupiti uvek. Taj task je realizovan u vidu mašine stanja koja periodično proverava da li je pristigao novi SMS, i ukoliko jeste vrši čitanje istog iz GSM modula, nakog čega se GSM modulu zadaje komanda za brisanje svih memorisanih poruka. Mašina stanja u prekidnoj rutini iz SMS-a izvlači broj telefona sa kog je poruka stigla i sadržaj poruke. Na osnovu sadržaja se preduzima odgovarajuća akcija (postavljanje nove tražene temperature i uključivanje regulacije ili isključivanje regulacije) posle čega se na broj sa kog je stigla poruka šalje povratna poruka u kojoj su dati izmerena temperatura i vlažnost, status i tražena temperatura.

6.5. Format komandnih SMS poruka

Da bi bila moguća puna kontrola nad sistemom postoje tri različite SMS poruke koje korisnik može poslati sistemu. Na sve tri vrste komandnih poruka sistem odgovara sa porukom u kojoj se nalaze svi potrebni podaci o statusu sistema.

Prva poruka ne zadaje komande sistemu već samo služi za uvid u trenutno stanje sistema. Poruka treba da ima oblik:

STATUS?

Po slanju ove poruke, korisniku stiže statusna poruka sa informacijama o izmerenoj temperaturi i vlažnosti, o statusu regulacije grejanja (uključena/isključena) i o trenutno zadatoj temperaturi.

Da bi uključio regulaciju temperature i postavio zadatu temperaturu na određenu vrednost korisnik treba da pošalje poruku sledećeg oblika:

SET xy

gde je xy temperatura u stepenima celzijusa, vrednosti između 10 °C i 32°C. Kao odgovor na ovo korisnik dobija statusnu poruku.

Na kraju, da bi isključio grejanje korisnik treba da pošalje SMS poruku sledećeg oblika:

SET OFF

Kao i u prethodna dva slučaja, odgovor na ovu poruku stiže u vidu statusne poruke.

Na ovaj način je obezbeđena puna kontrola nad sistemom kako korišćenjem ekrana osetljivog na dodir, tako i upotrebom mobilnog telefona.

7. Rezultati testiranja

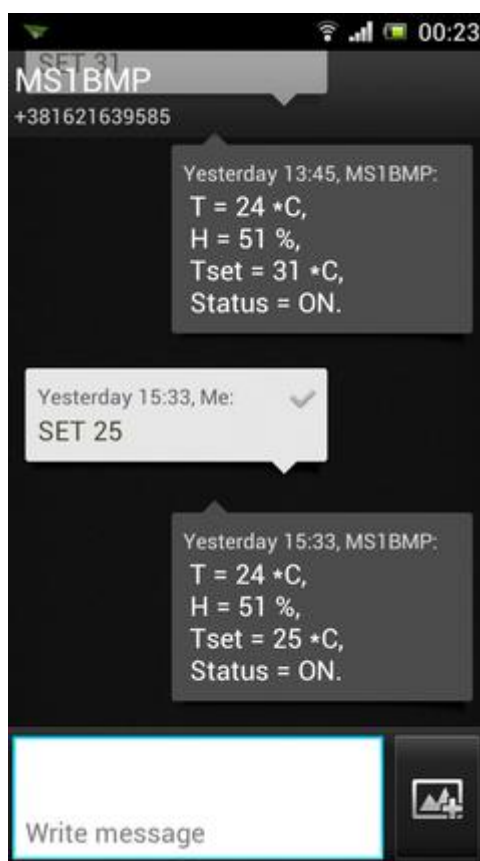
Testiranje delova sistema je rađeno još u toku razvoja, sa ciljem da se dobiju funkcionalni delovi softvera koje je posle potrebno spojiti u jednu celinu.

Po određivanju formata podataka i protokola komunikacije između objekta upravljanja i upravljačkog modula, napisan je softver za objekat upravljanja. Testiranje je vršeno slanjem komandi sa računara, koristeći USB-UART modul povezan na XBee. Po utvrđivanju ispravnosti prešlo se na razvoj softvera za upravljački modul, što je bio daleko složeniji poduhvat. Nakon debugovanja i upravljački modul je postigao punu funkcionalnost.

Na slici 12 prikazan je izgled displeja sistema u radu, a na slici 13 je prikazan primer slanja komandne SMS poruke.



Slika 12. Izgled displeja sistema u radu



Slika 13. Primer slanja komandne SMS poruke

U tabeli 1. prikazano je zauzeće Flash i RAM memorije programa objekta upravljanja i upravljačkog modula.

Objekat upravljanja	5 080 bytes of readonly code memory 332 bytes of readonly data memory 1 380 bytes of readwrite data memory
Upravljački modul	14 712 bytes of readonly code memory 1 383 bytes of readonly data memory 7 580 bytes of readwrite data memory

Tabela 1. Zauzeće Flash i RAM memorije

8. Zaključak

U ovom radu prikazana je realizacija sistema za daljinsko praćenje i zadavanje temperature pomoću GSM mreže. Osnova sistema je STM32F100RB mikrokontroler zasnovan na Cortex M3 jezgru, koji se pokazao kao odličan izbor za ovaj sistem. Veliki broj različitih periferija omogućava jednostavnu realizaciju zahtevnih zadataka.

Sistem može lako naći različite primene kao što su kontrola temperature u skladištima osetljive robe, server salama i sl. Takođe, sistem bi se odlično uklopio projekat pametne kuće, gde bi doprineo energetskej efikasnosti kao i komforu.

9. Literatura

1. AT Commands Reference Guide, Telit, 2012.
2. GL865 Hardware User Guide, Telit, 2012.
3. HX8347D Datasheet, Himax, 2009.
4. MXB7843 Datasheet, MAXIM, 2005.
5. SHT1X Datasheet, Sensirion, 2011.
6. STM32F100RB Datasheet, STMicroelectronics, 2010.
7. STM32F100XX Reference Manual, STMicroelectronics, 2010.
8. STM32VL DISCOVERY User Manual, STMicroelectronics, 2010.
9. XBee / XBee-PRO RF Modules, Digi International, 2012.