



Št. naloge: 01601/2009

Datum: 15.10.2009

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **MARK APAT**

Naslov: **BREŽIČEN ZAJEM SENZORSKIH PODATKOV NA ODDALJENIH
LOKACIJAH**

WIRELESS SENSOR DATA ACQUISITION ON REMOTE LOCATIONS

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Analizirajte možne rešitve za izgradnjo sistema, ki je sposoben brezžično zajemati podatke z oddaljenih senzorjev in jih prikazovati na zaslonu. Sistem naj vsebuje tudi senzorski del, ki naj bo zasnovan tako, da lahko dalj časa deluje z baterijskim napajanjem. Razvijte in izdelajte strojno in programsko opremo vseh delov sistema. Za izvedbo brezžične komunikacije uporabite čip XBee, ki deluje po standardu ZigBee. Vodenje oddajnega in sprejemnega dela sistema izvedite z mikrokrmilnikom ATTiny oziroma ATmega. Sistem preizkusite in preverite pravilnost njegovega delovanja.

Mentor:

prof. dr. Dušan Kodek



Dekan:

prof. dr. Franc Solina

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFOMATIKO

Mark Apat

Brezžičen zajem senzorskih podatkov na oddaljenih lokacijah

DIPLOMSKO DELO NA UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Mentor: prof. dr. Dušan Kodek

Ljubljana, 2010

IZJAVA O AVTORSTVU

diplomskega dela

Spodaj podpisani Mark Apat,

z vpisno številko 63990023,

sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Brezžičen zajem senzorskih podatkov na oddaljenih lokacijah

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Dušana Kodeka;
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela;
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki »Dela FRI«.

V Ljubljani, dne 10. 3. 2010

Podpis avtorja: _____

Zahvala

Zahvalil bi se staršema, ki sta mi omogočila študij in me podpirala vedno in povsod. Mentorju prof. dr. Dušanu Kodeku se zahvaljujem za pomoč pri izdelavi tega dela, asistentu dr. Andreju Štrancarju za tehnično podporo, nasvete in pomoč pri rešitvi zapletov med delom ter celotnemu laboratoriju LAPS za pomoč pri izdelavi vezja ter razpolago instrumentov.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	2
1 Uvod	3
2 Zgradba sistema	5
2.1 Oddajni modul	6
2.1.1 Mikrokrmilni del – AVR ATTiny 2313	7
2.1.2 Del za brezžično komunikacijo – ZigBee XBee	8
2.1.3 Senzorski del	9
2.2 Sprejemni modul	10
2.2.1 Mikrokrmilni del – AVR ATmega32L	11
2.2.2 Uporabniški vmesnik – zaslon LCD DOGM132W-5	12
2.2.3 Del za brezžično komunikacijo – ZigBee XBee	13
3 Programska oprema	14
3.1 Zajem podatkov	15
3.2 Brezžična povezava	18
3.2.1 Protokol	19
3.3 Prikaz informacij in uporabniški vmesnik	20
3.4 Druge naloge	21
3.4.1 Sprejem in pretvorba podatkov	21
4 Uporaba	24
4.1 Oddajni modul	24
4.2 Sprejemni modul	25
5 Sklepne ugotovitve	27
Dodatek A Električne sheme modulov	29
Dodatek B Fotografije sistema	31
Literatura	32

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

A/D – Analog-to-Digital

ADC – Analog-to-Digital Converter

CRC – Cyclic redundancy check

DDRB – Data Direction Register B

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

FWI – Four wire interface

I2C – Inter-Integrated Circuit

ID – Identification

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

JTAG – IEEE 1149.1 Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture

LCD – Liquid Crystal Display

PAN – Personal Area Network

PDIP – Plastic Dual-In-line Package

PINB – Port Input Pins B

PORTB – Data Register B

RISC – Reduced Instruction Set Computer

SMD – Surface Mount Device

SPI – Serial Peripheral Interface Bus

TWI – Two wire interface

USART – Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter

USB – Universal Serial Bus

WPAN – Wireless Personal Area Network

XBee – ZigBee modul XBee ZNet 2.5

Povzetek

Sistemi za brezžičen zajem senzorskih podatkov so pomembno področje tehnike, ki združuje znanja iz računalništva in elektronike. Za razvoj takih sistemov so pomembni brezžični standardi kot je na primer ZigBee, s katerimi je ta razvoj mogoče izboljšati in poenostaviti. V tem diplomskem delu sta predstavljena načrtovanje in razvoj na ZigBee standardu zasnovanega sistema ter izdelava aplikacije za nadzor in krmiljenje oddaljenih senzorjev.

Sistem je sposoben zajemati različne podatke o okolju, jih brezžično prenesti na drugo lokacijo ter jih predstaviti na zaslonu. Fizično je razdeljen na dve vezji oziroma na dva modula, ki opravljata posamezne funkcije v sistemu. To sta oddajni in sprejemni modul, vsak izmed njiju pa vsebuje lasten mikrokrmilnik serije AVR.

V naslednjih poglavjih je predstavljena za ta sistem razvita programska oprema. Oddajni in sprejemni modul vsebujeta ločena programa, ki skrbita za delovanje sistemov na modulih. Programa skrbita za zajemanje meritev temperature, relativne vlage, osvetljenosti prostora, informacije o času, nadzor in odpravljanje napak tako v meritvah dejavnikov okolja kot tudi pri dvosmerni medsebojni komunikaciji med moduloma.

Na koncu je opisano kako se sistem obnaša in odziva med delovanjem. Celotno delovanje je prikazano v primeru uporabe. V zaključku je sistem še ovrednoten glede na podane začetne zahteve, poleg tega pa je predstavljenih nekaj izboljšav ter več možnosti za nadgradnjo sistema.

Namen diplomskega dela je bil sestaviti napravo za zajemanje enostavnih meritev iz okolja z nizko porabo električne energije in dostavo podatkov preko brezžične povezave na zaslon LCD. Diplomsko delo zajema integracijo različnih vrst senzorjev na vezje, prenos podatkov po brezžični povezavi, majhno porabo električne energije in fleksibilen spekter uporabe sistema z nizko nabavno ceno in enostavno izdelavo.

Ključne besede:

zajem podatkov, brezžična komunikacija, oddaljeni senzorji, AVR, standard ZigBee, energetska učinkovitost, nizka poraba, indirektno sporočilo

Abstract

Systems for remote wireless acquisition of sensor data are an important field of technology which combines knowledge from computer science and electronics. Development of such systems is facilitated by wireless standards like ZigBee which improve and simplify such a development. This diploma thesis describes the design and realization of a ZigBee standard based system and the corresponding application for data acquisition and control of remote sensors.

The system is capable of acquiring various data about environment, wirelessly transferring them to a different location and displaying them on a screen. It is physically divided into two electrical circuits or modules, which perform individual system operations. They are the transmitting and the receiving module, each of them containing an AVR series microcontroller.

The next chapters contain the description of the software that was developed for this system. Transmitting and receiving modules use separate programs that control the circuits of the modules. These programs are responsible for measuring the temperature, relative humidity, light intensity, acquisition of time and date, and also for management of errors in data acquisition and in the bidirectional communication between the modules.

The thesis ends with a description of the system's practical operation. Its application is presented on an example case. In the conclusion the system is assessed against the starting requirements and several possible improvements and possibilities for system upgrades are given.

The purpose of the thesis was to design an energy efficient system for simple data acquisition and their presentation over a wireless link to a remote LCD screen. The thesis contains an integration of a flexible, low cost, energy efficient system with a wireless transfer of various sensor data which is simple to produce.

Key words:

data acquisition, wireless communication, remote sensors, AVR, ZigBee standard, energy efficient, low power consumption, indirect messaging

1. Uvod

V današnjem svetu si vse več želimo nadzirati dejavnike v okolju in upravljati sisteme na lokalnih in oddaljenih lokacijah. S pomočjo brezžične komunikacije in z uporabo energijsko učinkovitih elementov je to vedno lažje. Sistemi lahko spremljajo okolje pametnih hiš, namakalnih sistemov, vremenskih postaj in različnih drugih namenskih objektov. Za uporabo so zanimivi zaradi lahke integracije v prostor in sposobnosti za široko pokritost področja nadziranja in upravljanja. Prednost nizke porabe električne energije v kombinaciji z uporabo baterij še dodatno poveča fleksibilnost postavitve sistema v prostoru. Raznolikost v praktičnih primerih sega od avtomatizacije elementov v domačem okolju, preko zaznavanja premikanja v povezavi z vklopom luči (ekonomična poraba električne energije), nadziranja temperature v rastlinjaku v povezavi z avtomatiziranimi okni (prezračevalni sistem objektov), do primerov uporabe v prometnem sistemu (opozarjanje o poledici na cesti, svetlobno označevanje in opozarjanje na nevarnost na cestnih odsekih), zajem dejavnikov in nadzor elementov v športno-rekreacijskih centrih in na smučiščih (snežni topovi v povezavi z višino snega na pobočju, vlago temperaturo ozračja in lego sonca), manipulacija elementov v zabaviščnih parkih (luči, vrata, stikala, efekti), avtomatizirana razsvetljava in nadzor hladilnih sistemov v objektu (restavracije, šole, vrtci, industrija...). Zaradi modularne zasnove sistema je število kombinacij primerov uporabe praktično neskončno.

Sistemi te vrste so praviloma narejeni iz dela, ki po brezžični povezavi sprejema podatke in iz enega ali več delov, ki pošiljajo senzorske podatke. Zaradi širokega spektra uporabe takšnih sistemov so praktične izvedbe lahko zelo različne. Sistemi se razlikujejo po natančnosti meritev, zmogljivosti in hitrosti zajema informacije ter prenosa podatkov, načina delovanja in varnosti prenosa. Lahko imajo vgrajeno tudi možnost manipulacije senzorskih elementov na daljavo.

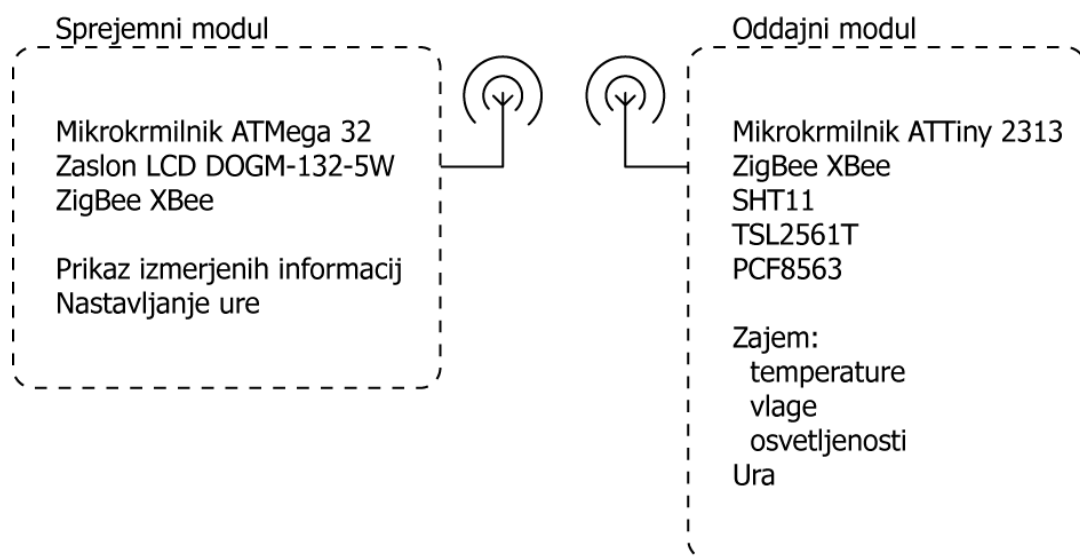
V tem delu je opisano načrtovanje in izdelava sistema za zajem informacije na oddaljenih lokacijah. Iz okolja na oddaljeni lokaciji pridobimo informacijo o temperaturi, relativni vlagi in osvetljenosti prostora, dodamo čas meritve in te po brezžični povezavi posredujemo sprejemniku. Sprejemnik jih predstavi na vgrajenem zaslonu. Z vgrajenimi funkcijami na sprejemniku lahko nastavljamo določene parametre sistema (robni pogoji senzorjev, nastavljanje časa, alarm ure, timer). Oddajnik je načrtovan z zahtevo lahke in enostavne integracije v sistem in se napaja z baterijami, zato mora biti energijsko učinkovit. Doseg sistema oz. območje delovanja

je bilo načrtovano za uporabo v domačem okolju, ki obsega pokritost več stanovanjskih hiš ali vsaj nekaj 100 metrov na prostem. Zaradi uporabe sistema v domačem okolju je bila pomembna enostavnost izdelave, nizka poraba električne energije in cenovna dostopnost.

2. Zgradba sistema

Sistem kot celota je relativno kompleksen, zato je bila pri načrtovanju izbrana modularna zasnova. Sistem delimo na oddajnik in sprejemnik, katera sta zaradi brezžične komunikacije fizično ločena in jih tudi zato obravnavamo kot ločena modula. Oddajnik lahko razdelimo na mikrokrmilni del, senzorski del in del za brezžično komunikacijo. Podobno razmišljanje je bilo uporabljeno pri zasnovi sprejemnega modula. Sprejemnik lahko razdelimo na mikrokrmilni del, del za brezžično komunikacijo in uporabniški vmesnik.

Fizično ločeni moduli pripomorejo k hitrejši in enostavnejši izvedbi celotnega sistema, prav tako pa tudi omogočajo ločeno izdelavo prototipov in preverjanje delovanja posameznega modula. Slika 2.1 prikazuje shemo celotnega sistema.



Slika 2.1: Zgradba celotnega sistema.

V tem poglavju sta opisana zasnova in načrtovanje posameznih modulov tako, kot sta si kronološko sledila. Predstavljene so uporabljene komponente in sheme posameznih vezij. Opis se začne z oddajnim modulom, nadaljuje pa s sprejemnim modulom.

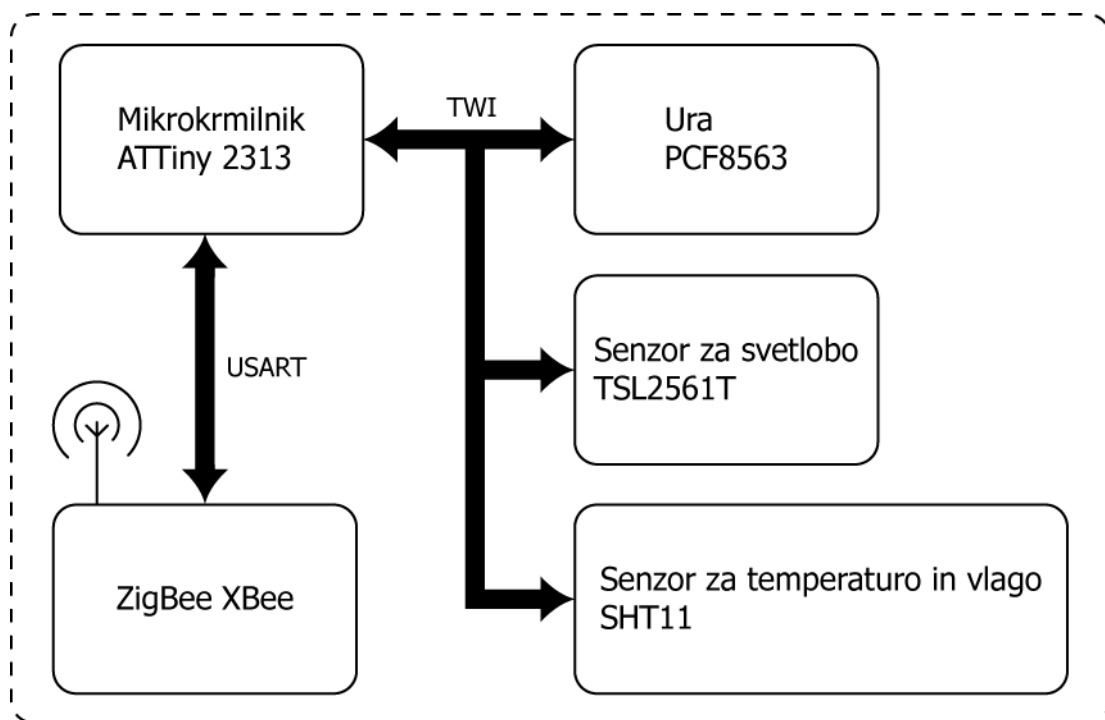
2.1 Oddajni modul

Glavna zahteva pri zasnovi oddajnega modula je bila energetska učinkovitost, saj se modul napaja preko baterije. Zahteva je v prvi vrsti izpolnjena tako, da modul uporablja napetosti regulator, ki ojača napetost na željenih in zadostnih 3,3 V, kot je opisano v dokumentaciji čipa TPS61097-33 [3].

Oddajni modul krmili mikrokrmilnik ATTiny 2313, ki skrbi za usklajeno delovanje senzorskega dela in dela za brezžično komunikacijo na modulu. Oddajni modul sestavljajo še čip za merjenje časa povezan s oscilatorjem in pa dva senzorja. Prvi senzor skrbi za zajemanje vlage in temperature v prostoru, s pomočjo drugega pa lahko izmerimo osvetljenost prostora.

Oddajni modul uporablja komunikacijski čip XBee, ki deluje po standardu ZigBee in je energetsko učinkovit [1, str. 5-6]. Čip XBee porabi do 40 mA v delovanju in do 15 mA, kadar ima vklopljen samo sprejemni del. Poraba se zmanjša na manj kot 1 μ A, kadar je čip izklopljen. Komunikacijski čip XBee skrbi za posredovanje izmerjene informacije pridobljene iz senzorjev preko mikrokrmilnika naprej sprejemnemu modulu, ki te informacije zapiše na zaslon LCD v uporabniku prijazni obliki.

Električna shema vezja je predstavljena na sliki A.1, fotografija izdelanega vezja pa na sliki B.1.



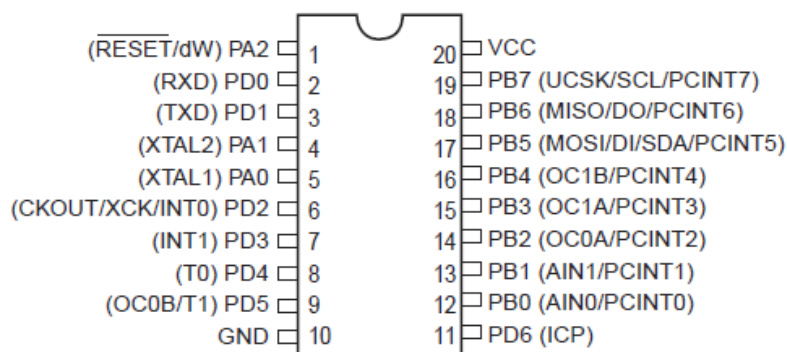
Slika 2.2: Shema oddajnega modula, razdeljenega na enote.

2.1.1 Mikrokrmilni del – AVR ATtiny 2313

Mikrokrmilni del oddajnega modula je zasnovan na 8-bitnem mikrokrmilniku AVR ATtiny 2313 [1] podjetja Atmel. Premore 2KB notranjega programabilnega pomnilnika Flash, kar je še ravno zadoščalo za moje potrebe. Hitrost ure mikrokrmilnika sem sprogramiral na 1MHz. Napaja se preko dveh baterij, ki lahko skupaj dajeta od 2,4 V do 3 V napetosti. Stabilna vhodna napetost mikrokrmilnika je bila zagotovljena preko napetostnega regulatorja čipa TPS61097-33 [3] in je znašala 3,3 V. Mikrokrmilnik vsebuje univerzalni serijski vmesnik USART, ki sem ga uporabil za komunikacijo s čipom XBee [4]. Za enostavno programiranje sem mikrokrmilnik povezal na 10-pinski priključek.

Mikrokrmilnik vsebuje tri dvosmerna vhodno/izhodna vrata. Za komunikacijo s senzorjema in uro sem uporabil I2C protokol kot osnovo za način komunikacije. Čip SHT11 [8] ima začetni del komunikacije drugačen kot ostale I2C združljive naprave in je specifičen zanj. Zaradi enostavne izvedbe sem tako za komunikacijo s senzorjem za temperaturo in vlago uporabil druge nožice kot za komunikacijo s senzorjem za svetlobo in uro. Vse periferne naprave razen čipa XBee so priključene na vrata B.

Za vsako nožico vrat A, B in D posebej lahko ločeno in neodvisno od drugih določamo smer in logično vrednost vhoda/izhoda. To upravljamo s spreminjanjem enega od treh vhodno/izhodnih pomnilniških lokacij. Za vrata B so to DDRB (Data Direction Register B), PORTB (Data Register B) in PINB (Port Input Pins B). Smer prenosa podatkov preko nožice se krmili s spreminjanjem vsebine pomnilniške lokacije DDRB za vrata B. Logična 1 pomeni, da je nožica orientirana kot izhod, logična 0 pa kot vhod. S pomnilniško lokacijo PORTB, nastavljen kot izhod, sem uporabil pri krmiljenju senzorjev in ure. Logična 1 je pomenila visok nivo na izhodu nožice, logična 0 pa nizek nivo na izhodu. Za branje vsebine podatkovnega vodila je bilo potrebno prebrati vrednost nožice preko pomnilniške lokacije PINB, visok nivo je pomenilo logično 1, nizek nivo pa logično 0.



Slika 2.3: Mikrokrmilnik AVR ATtiny 2313 v ohišju PDIP

Mikrokrmilnik skrbi za delovanje sistema. S programom, napisanim v programskem jeziku C in prevedenim v strojni jezik, izvaja ukaze za meritve, prejema podatke o meritvah in le-te preko posebnega protokola posreduje čipu XBee za nadaljno brezžično komunikacijo do sprejemnega modula.

2.1.2 Del za brezžično komunikacijo – ZigBee XBee

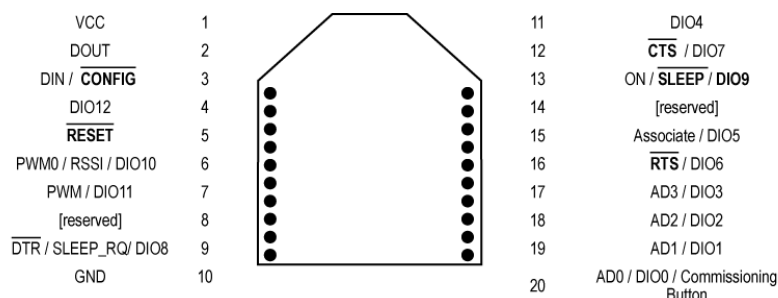
Del za brezžično komunikacijo je sestavljen iz podnožja DROIDS kamor namestimo čip XBee. Ta opravlja brezžično komunikacijo med oddajnim in sprejemnim modulom.

Standard ZigBee ima definirane tri tipe naprav – koordinator (angl. coordinator), usmerjevalnik (angl. router) in končna naprava (angl. end device). Koordinator določi kanal, po katerem teče komunikacija in oznaka omrežja PAN ID (Personal Area Network). Za tem koordinator ustvari novo omrežje PAN, v katerega se priključijo ostale ZigBee naprave preostalih dveh tipov. Koordinator lahko oddaja in sprejema podatke po brezžični povezavi in pomaga pri usmerjevanju le-teh po omrežju. V omrežju PAN je tipa koordinator lahko samo ena naprava. Drugi tip naprave, usmerjevalnik, se mora za delovanje najprej pridružiti ustvarjenemu omrežju PAN. Usmerjevalnik lahko oddaja in sprejema podatke in jih preusmerja skozi omrežje. Ta tip naprave omogoča dodajanje končnih naprav in preusmerjanje podatkov v omrežju in zanj ni primerno napajanje preko akumulatorskih baterij. Tretji tip naprave, končna naprava, se mora za delovanje pridružiti ustvarjenemu omrežju, podobno kot usmerjevalnik. Končna naprava lahko samo sprejema in oddaja podatke in na noben način ne prisostvuje k dodajanju ostalih naprav v omrežje, niti ne more preusmerjati podatkov skozi omrežje.

Čip XBee na oddajnem modulu je tipa končna naprava. Napaja se preko napetostnega regulatorja TPS61097-33 [3]. Nizka poraba je bila ključnega pomena pri izbiri komponent za brezžično komunikacijo. Pri čipu XBee znaša poraba 40 mA v stanju delovanja in do 15 mA v stanju brezdelja. Ob popolnoma izklopljenem čipu XBee pa je poraba manjša kot 1 μ A. Tako je dosežena nižja poraba in večja doba delovanja naprave.

Komunikacija med mikrokrmilnikom in čipom XBee poteka preko vmesnika USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter). Mikrokrmilnik ima vmesnik USART že vgrajen in tako poskrbi za prenos podatkovnega bajta čipu XBee. Vse kar je potrebno storiti čipu XBee je poslati podatke z ZigBee [7] določenim protokolom na sprejemni modul oz. koordinatorju. Tako je čip XBee z mikrokrmilnikom ATTINY 2313 povezan preko dveh linij, DIN in DOUT na strani čipa XBee in TxD in RxD na strani mikrokrmilnika.

Spodaj lahko vidimo zgradbo čipa ZigBee XBee.



Slika 2.4: ZigBee XBee

Stanje spanja lahko uporabimo za učinkovito zmanjšanje porabe energije in s tem podaljšamo življenjsko dobo baterije. Indirektno sporočanje je en način, kako lahko družina čipov XBee prihrani energijo skozi periodično spanje in ciklično zbujanje. Med temi zaporedji spanja lahko glavna naprava oz. koordinator hrani sporočilo za

oddaljene naprave. Ko se oddaljena naprava zbudi iz spanja, pošlje poizvedbo glavni napravi po morebitnih novih podatkih, ki bi lahko bili namenjeni njej.

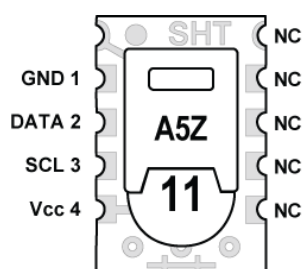
Koordinator bo shranil sporočilo v začasni pomnilnik, dokler se oddaljena naprava ne prebudi in pošlje poizvedbe. Temu tipu hranjenja sporočila pravimo indirektno sporočilo. Koordinator lahko naenkrat hrani le eno sporočilo za samo eno oddaljeno napravo. Sporočilo bo ohranil največ 2,5-krat čas periode spanje oddaljenega čipa, potem vsebino zavrže. Oddaljen čip se bo zbujal na koncu vsake periode spanja. Pri nastavljanju delovanja XBee modulov je perioda, ki jo določa parameter SP (Cyclic Sleep Period) na koordinatorju, mora biti vedno večja ali enaka dolžini periode spanja na oddaljenem čipu.

2.1.3 Senzorski del

Senzorski del oddajnega modula sestavljata dva senzorja in čip za merjenje časa. Prvi senzor meri osvetljenost prostora in po izračunu na sprejemnem modulu dobimo končni rezultat v enoti lux. Drug senzor pa zajema temperaturo v prostoru in relativno vlago ozračja. Obe vrednosti se na sprejemnem modulu po preračunu meritev izpišeta na zaslonu LCD. Temperaturo izpisujemo v stopinjah celzija, relativna vlaga pa v odstotkih. Čip za merjenje časa nam vrača čas ure, minute in sekunde ter datum dneva meseca in leta.

Oddajnemu modulu je dodan senzor za merjenje temperature in relativne zračne vlage, z oznako SHT11. Senzor SHT11 je v ohišju SMD, kar je pripomoglo k zmanjšanju porabe prostora na oddajnem modulu. To je digitalni senzor, ki izmerjene podatke pošilja gostitelju prek serijskega vodila, podobnega I2C. Temperaturo meri v razponu od $-39,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+123,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ s točnostjo $\pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativno vlažnost zraka pa v območju od 0 % do 100 % s točnostjo $\pm 3,0\text{ }%$. Ločljivost izmerjenih količin je 14 bitov za temperaturo in 12 bitov za relativno vlago.

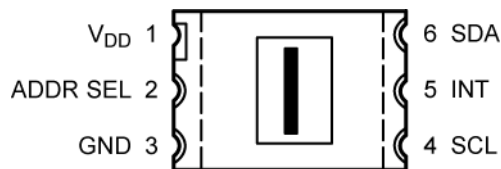
Mikrokrmilnik je tako povezan s čipom SHT11 preko podatkovne linije DATA in linije SCL, ki skrbi za signal ure.



Slika 2.5: Senzor SHT11

Za zajemanje osvetljenosti prostora skrbi senzor TSL2561T v ohišju SMD. Čip vsebuje dva analogno-digitalna pretvornika (ADC), ki prejemata tokove iz dveh fotodiod. Dve fotodiode se uporabljata zaradi kompenzacije infrardeče komponente svetlobe. Prva meri svetlobo v celotnem spektru, druga pa samo infrardečo komponento svetlobe. Tako lahko izločimo svetlobe vire ki oddajajo veliko mero infrardeče svetlobe, kot so npr. žarilne nitke ... Na tak način je zaznavanje osvetljenosti v našem sistemu zelo podobno zaznavanju svetlobe s človeškim očesom.

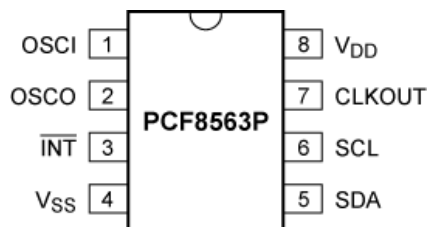
Mikrokrmilnik komunicira s čipom TSL2561T preko protokola I2C preko podatkovne linije SDA in linije SCL, ki skrbi za signal ure.



Slika 2.6: Senzor TSL2561T

Komunikacija mikrokrmilnika in senzorja se izvaja s sestavljanjem paketov protokola I2C. S tako poslanimi ukazi mikrokrmilnik izvaja pisalno-bralne dostope do sklopa registrov v senzorju TSL2561T.

Čip PCF8563 v ohišju PDIP služi za pridobivanje informacije o času in datumu. V čip je integrirana programabilna ura z izhodom, čip omogoča prekinitvev in vsebuje prepoznavanje nizke napetosti. Vsi naslovi in podatki se prenašajo po serijskem dvosmernem vodilu tipa I2C. Največja hitrost vodila je 400 kbit/s.

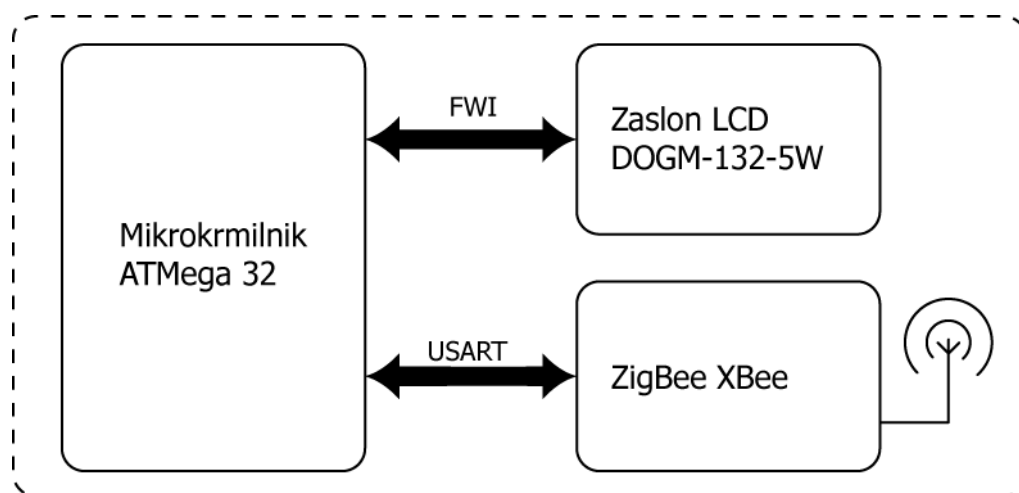


Slika 2.7: Ura PCF8563

Čip PCF8563 ima vgrajenih 168-bitnih registrov, v katerih so shranjeni parametri o času (ura, minuta, sekunda), datumu (dan, mesec, leto), alarmi za vsakega od naštetih parametrov posebej in parameter za odštevanje časa (angl. timer). Poleg naštetih parametrov so v registrih shranjene še kontrolno-statusne informacije. Integracija alarmov in odštevanja časa ni bila implementirana v sistem zaradi pomanjkanja prostora v programskem pomnilniku.

2.2 Sprejemni modul

Sprejemni modul je sestavljen iz treh delov. Mikrokrmilni del, sestavljen iz mikrokrmilnika ATmega32, skrbi za nadzor komunikacije med brezžično stranjo in zaslonom LCD, ter izvaja ostale funkcije potrebne za pravilno delovanje sistema. Uporabniški vmesnik sestavljajo tipke za upravljanje uporabniškega vmesnika in nastavljanje parametrov sistema ter 4-vrstični zaslon za prikaz informacij. Tretji del je sestavljen iz čipa ZigBee XBee, ki skrbi za brezžično komunikacijo in podnožja DROIDS 990.001, kateri vsebuje regulator napetosti in skrbi za konstanten nivo napetosti 3,3 V [5]. Podrobnejši opis sledi v posameznih podpoglavjih. Na sliki 2.8 je prikazana shema sprejemnega modula, razdeljenega na dele. Električna shema vezja je predstavljena na sliki A.2, fotografija izdelanega vezja pa na sliki B.2.



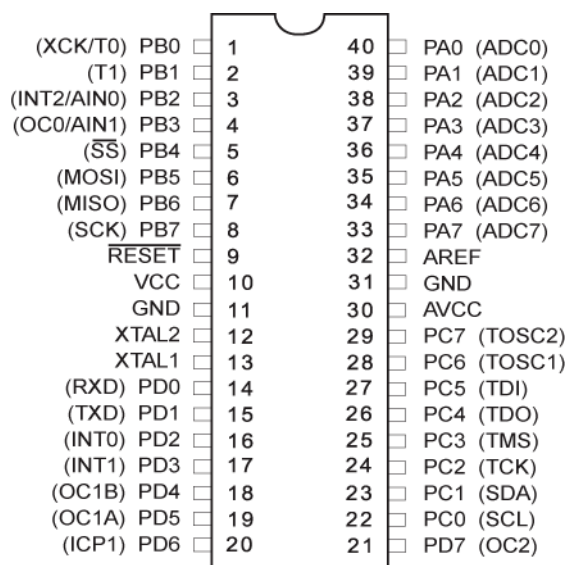
Slika 2.8: Shema sprejemnega modula, razdeljenega na enote.

2.2.1 Mikrokrmilni del – AVR ATMega32L

Mikrokrmilni del sprejemnega modula je osnovan na 8-bitnem RISC mikrokrmilniku AVR ATMega32L [2] podjetja ATMEL. Eden od glavnih razlogov za izbiro tega mikrokrmilnika je zadostna količina pomnilnika Flash, ki znaša 32KB. To zahtevo je moral izpolnjevati zaradi zahtevane potrebe zaslona LCD DOGM132x32 [11]. Mikrokrmilnik vsebuje univerzalni serijski vmesnik USART, ki sem ga uporabil za komunikacijo s čipom XBee. Za potrebe komunikacije z zaslonom LCD mi je služil v mikrokrmilnik vgrajen strojni modul za serijsko komunikacijo SPI (Serial Peripheral Interface Bus), saj je ta vrsta komunikacije poenostavila izdelavo celotnega sistema in sem z njo optimiziral število povezovalnih poti med zaslonom LCD in mikrokrmilnikom. Mikrokrmilnik vsebuje tudi strojni vmesnik JTAG. Ta mi je bil v veliko pomoč pri preverjanju pravilnosti delovanja programa in naprave, saj mi je omogočil izvajanje programa po korakih. Za enostavnejši način programiranja mikrokrmilnika sem uporabil 10-pinsko podnožje, na katerega je bilo možno preko vmesnega člena in priključka USB priključiti osebni računalnik.

Prednost tega mikrokrmilnika je tudi v njegovi dostopnosti v različnih oblikah ohišij. Izbrani čip je v ohišju tipa PDIP (Plastic Dual-In-line Package), to pa je pripomoglo k lažjemu razvoju programske opreme in omogočilo hitro uporabo na prototipski plošči.

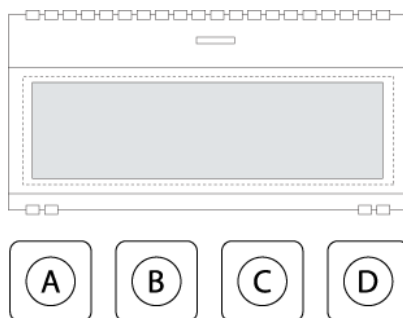
Stabilna vhodna napetost mikrokrmilnika je bila zagotovljena preko DROIDS vmesnega čipa in je znašala 3,3 V. Prednost tega mikrokrmilnika oznake L je tudi energetska nizka poraba in večji razpon napetosti delovanja, vendar na ta način trpi hitrost delovanja mikrokrmilnika. Ura mikrokrmilnika je bila sprogramirana na 8 MHz, kar je bilo dovolj za potrebe delovanja celotnega sistema.



Slika 2.9: Mikrokrmilnik AVR ATmega32 v ohišju PDIP

2.2.2 Uporabniški vmesnik - zaslon LCD DOGM132W-5 in tipke

Za prikaz podatkov je na sprejemni modul priključen zaslon LCD podjetja Electronic Assembly. Uporabljen je bil grafični zaslon s 132 x 32 točkami, konkretnije model EA DOGM132W-5 [11]. Pri uporabi na sprejemnem modulu je to zadostovalo za prikaz 4 vrstic in več kot 22 znakov majhne velikosti pisave v eni vrstici. Znaki so bili različnih dolžin zaradi estetike prikaza na zaslonu, kar pa ni dodatno otežilo realizacije programa.



Slika 2.10: Zaslon LCD DOGM132W-5 in tipke za navigacijo

Za komunikacijo preko vmesnika SPI se uporabljajo 4 linije: SDA, ki predstavlja podatkovno linijo, SCL, ki predstavlja urin signal, CS, ki predstavlja izbiro čipa in A0 linija, s katero določimo, ali je na liniji DATA naslov ali podatek.

Zaslon si lahko predstavljamo kot matriko pik in vsako od teh lahko prižigamo ali ugašamo ne glede na ostale (slika 2.11). Sam izpis je realiziran tako, da zaslonu LCD oz. njegovemu krmilniku pošljemo naslov in podatek. Naslov je sestavljen iz dveh delov. Prvi del vsebuje eno od štirih vrstic, drugi del pa enega od 132 stolpcev. Podatki vsebujejo informacijo o vsebini, ki jo želimo izpisati na zaslon. Tako prižigamo in ugašamo pike na zaslonu. Potrebna je bila izgradnja seznama, ki vsebuje vse na zaslonu prikazane oz. uporabljene znake. Vsako polje znaka v seznamu ima

značilno zaporedje prižganih in ugasnjenih pik. Ta seznam je zasedal kar nekaj pomnilniškega prostora v mikrokrmilniku.

[illegible]

Slika 2.11: Matrika pik zaslona LCD DOGM132W-5

Uporabniški vmesnik sestavljajo še štiri tipke. Tipke imajo različne funkcije glede na stanje, v katerem se nahaja sistem. Z njimi lahko zahtevamo osveževanje podatkov, se pomikamo po meniju za nastavljanje parametrov ure in spreminjamo parametre ure.

2.2.3 Del za brezžično komunikacijo – ZigBee XBee

Del za brezžično komunikacijo je še sestavljen iz podnožja DROIDS, kamor namestimo čip XBee. Ta opravlja brezžično komunikacijo med oddajnim in sprejemnim modulom. Čip XBee na sprejemnem modulu deluje v omrežju kot koordinator (angl. coordinator). Napaja se direktno iz omrežja oz. preko baterijskih akumulatorjev.

Komunikacija med mikrokrmilnikom in čipom XBee poteka preko vmesnika USART. Mikrokrmilnik ima vmesnik USART že vgrajen in tako poskrbi za prenos podatkovnega bajta čipu XBee. Vse, kar je potrebno storiti čipu XBee, je poslati podatke z ZigBee [7] določenim protokolom na sprejemni modul. Tako je čip XBee z mikrokrmilnikom ATmega32L povezan preko dveh linij, DIN in DOUT na strani čipa XBee in TxD in RxD na strani mikrokrmilnika.

Vse ostale podrobnosti so na sprejemnem modulu enake kot na oddajnem in so opisane v podpoglavju 2.1.2.

3. Programska oprema

V mikrokrmilnika sem s pomočjo opreme in laboratorija LAPS vnesel prevedena programa, napisana v programskem jeziku C. Za ta jezik sem se odločil, ker mi je lažji za razumevanje v primerjavi z zbirnim jezikom in ga poznam že iz predhodne uporabe.

Oba modula imata lasten mikrokrmilnik, na vsakem pa teče lasten program. V tem poglavju sta opisana zajem podatkov in zgradba programske opreme.

Program na oddajnem modulu skrbi za:

- inicializacijo celotnega modula,
- komunikacijo s senzorjema,
- zajemanje meritve o temperaturi,
- zajemanje meritve o vlagi,
- zajemanje meritve o osvetljenosti,
- zajemanje in spreminjanje parametrov ure,
- upravljanje XBee modula za potrebe pošiljanja informacije po brezžični povezavi na sprejemni modul,
- servisiranje prekinitve ob zahtevi za osveževanje meritev.

Program na sprejemnem modulu skrbi za:

- inicializacijo celotnega modula,
- sprejem in pošiljanje paketov podatkov preko XBee modula,
- izračun vrednosti za prikaz iz pridobljenih meritev,
- delovanje zaslona LCD,
- posredovanje zahteve za osveževanje podatkov,
- uporabniški vmesnik za nastavljanje ure in datuma.

3.1 Zajem podatkov

Zajem podatkov se začne s poizvedbo informacije o času iz čipa PCF. Nadaljuje se z merjenjem svetlobe na čipu TSL in zaključi z meritvijo temperature in relativne vlage z uporabo senzorja SHT11. Podatki, ki so poslani preko XBee čipa sprejemnemu modulu, se pošiljajo sproti po vsaki meritvi oz. poizvedbi. V nadaljevanju je podrobneje zapisan potek zajemanja podatkov ter so razložene določene pomembnosti. Podrobnejši opis zaporedja ukazov, izbire le-teh ter ostale stvari, ki so povezane s komunikacijo med senzorji oz. uro in mikrokrmilnikom, so zavedene v literaturi (8, 9, 10, 12).

Program na oddajnem modulu je napisan tako, da ob preteklem časovnem intervalu opravi vse meritve in jih pošlje na sprejemni modul za prikaz na zaslonu LCD. Z uro nadziramo intervale merjenja senzorjev.

Komunikacija s čipom PCF8563 oz. uro ter z obema senzorjema se izvaja s pomočjo protokola I2C. Čip PCF8563 ima parametre, kot so za čas ura, minuta in sekunda, za datum dan, mesec in leto shranjene v registrih, iz katerih preberemo vrednost s pomočjo bralnih paketov protokola I2C. Z njim najprej naslovimo čip, in sporočimo iz katerega registra želimo brati oz. vanj pisati. Za tem zajamemo vrednost časovnega parametra. Takšen bralni dostop je potrebno opraviti šestkrat in tako iz čipa preberemo vrednosti v naslednjem zaporedju: ura, minuta, dan, mesec, leto in sekunda. Prejete vrednosti v treh paketih, po dva skupaj, posredujemo preko čipa XBee in nadaljujemo z naslednjo meritvijo

Za meritev osvetljenosti prostora uporabljamo senzor TSL2561T. Za komunikacijo se uporabljata 2 liniji: SDA, ki predstavlja podatkovno linijo, in SCL, ki predstavlja urin signal. Senzor se v tem protokolu obnaša kot suženj (angl. slave), mikrokrmilnik pa kot gospodar (angl. master). Komunikacijo med senzorjem in mikrokrmilnikom vedno začneja gospodar.

Mikrokrmilnik začne osnovni paket protokola I2C z zaporedjem START, nadaljuje z naslovnim bajtom, počaka na potrditev senzorja, nadaljuje s podatkovnim bajtom in prenos se zaključi z zaporedjem STOP. Na sliki 3.1 in 3.2 sta prikazani zaporedji START in STOP.



Slika 3.1: Potek začetnega zaporedja ukaza START protokola I2C



Slika 3.2: Potek začetnega zaporedja ukaza STOP protokola I2C

Komunikacija s senzorjem je v osnovi sestavljena iz pisalnih paketov in bralnih paketov, slika 3.3. Bralni paket protokola I2C je krajši in je sestavljen iz zaporedja START, naslova senzorja, podatkovnega bajta in STOP zaporedja. V naslovu senzorja ima najmanj pomemben bit vrednost 1, ker gre za bralni dostop. Tukaj je potrditev zahtevana samo po prejemu naslovnem bajtu. Pisalni paket je sestavljen iz zaporedja

START, naslova senzorja, ukaznega bajta, podatkovnega bajta in STOP zaporedja. V naslovu senzorja ima najmanj pomemben bit vrednost 0, ker gre za pisalni dostop. Senzor mora vsak uspešno prenesen bajt potrditi mikrokrmilniku.



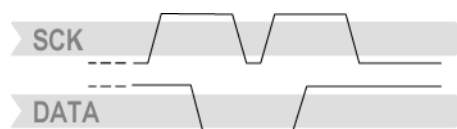
- A** Potrditev (ta bit je postavljen na 0 za ACK ali 1 za NACK)
- P** STOP
- Rd** Branje (bit ima vrednost 1)
- S** START
- Wr** Pisanje (bit ima vrednost 0)
- ☐ Gospodar pošilja podatke sužnju
- ☒ Suženj pošilja podatke gospodarju

Slika 3.3: Bralni paket protokola I2C (zgoraj) in pisalni paket protokola I2C (spodaj)

Za merjenje osvetljenosti je potrebno čip TSL2561T najprej prebuditi. To storimo z pisanjem vrednosti »00000011« vrednosti v kontrolni register. Za tem se meritev izvede avtomatično. Nato lahko izstavimo ukaze za zajem podatkov o izmerjeni osvetljenosti. Izmerjeni podatki se nahajajo v štirih podatkovnih registrih senzorja TSL2561T. Do vsakega od registrov dostopamo posamično. Iz registra preberemo štiri bajte informacije in jo pripravimo za pošiljanje na sprejemni modul. Po vsem tem senzor zaspi in s tem varčuje z energijo sistema.

Senzor SHT11 uporablja serijski protokol, ki je zelo podoben protokolu I2C. Od protokola I2C se razlikuje v obliki zaporedja ukaza START (slika 3.4) in uporablja potrjevanje z zaporedjem ukaza ACK (slika 3.5). Za komunikacijo se podobno kot pri TSL2561T uporabljata 2 liniji: linija DATA, ki predstavlja podatkovno linijo, in linija SCK, ki predstavlja urin signal. Senzor se v protokolu obnaša kot suženj (angl. slave), mikrokrmilnik pa kot gospodar (angl. master). To pomeni, da gospodar upravlja z uro in tako krmili vodilo. Pri protokolu I2C in v mojem primeru njemu podobnemu protokolu vsakršno komunikacijo med senzorjem in mikrokrmilnikom vedno začneja gospodar. To se zgodi tako, da najprej izvrši zaporedje ukaza START, nato pa pošlje naslovno-ukazni bajt.

Naslovno-ukazni bajt senzorja SHT11 je sestavljen iz dveh delov. Zgornji trije biti naslovno-ukaznega bajta so tri logične ničle, spodnjih pet bitov pa predstavljajo dejanski naslov ukaza, ki naj se izvede na senzorju. Sledi še ACK bit, katerega pošlje senzor mikrokrmilniku in z njim potrdi prejem naslovno-ukaznega bajta.



Slika 3.4: Potek zaporedja ukaza START senzorja SHT11



Slika 3.5: Potek potrditvenega zaporedja ukaza ACK senzorja SHT11

Senzor po prejemu naslovno-ukaznem bajtu »00000011« začne z meritvijo temperature, po prejemu naslovno-ukaznem bajtu »00000101« pa izmeri relativno vlažnost prostora. Po opravljeni meritvi senzor pošlje bit ACK. Čas meritve, ki je potreben za izmero temperature, je odvisen od natančnosti meritve in pri uporabljenih 14-bitni natančnosti traja največ 320 ms. Čas meritve, potreben za izmero relativne vlažnosti pri uporabljeni 12-bitni natančnosti traja največ 120 ms. Med preverjanjem delovanja sem pri temperaturi prostora 25,3 °C izmeril, da so ti časi bistveno krajši, in sicer čas za 14-bitno meritev traja približno 115 ms, za 12-bitno 62 ms, za 8-bitno pa 15 ms. Ti časi so odvisni tudi od toplote prostora, v katerem se senzor nahaja.

Mikrokontroler mora po potrditvenem bitu ACK, ki sledi naslovno-ukaznem bajtu, počakati najmanj ta čas, da lahko začne zahtevo za sprejemanje izmerjenih podatkov iz senzorja.

Sprejemanje podatkov poteka tako, da gospodar upravlja s signalom SCK, suženj pa s signalom DATA. Ob vsakem visokem nivoju urine periode gospodar prebere stanje signala DATA in tako sestavlja podatkovni bajt od najpomembnejšega bita naprej. Gospodar mora vsak uspešno sprejeti bajt zaključiti s potrditvijo ACK. V primerih, ko je vrednost izmerjene meritve zapisana z več kot osmimi biti, mora senzor poslati dva bajta, meritev v le-teh pa je desno poravnana. Če gospodar prejetje zadnjega podatkovnega bajta potrdi z ACK, senzor pošlje še bajt checksum (sl. kontrolna vsota), s katerim se preveri pravilnost prenesenih podatkov. Zajemanje bajta checksum lahko izpustimo tako, da gospodar prejetje zadnjega podatkovnega bajta potrdi z zaporedjem NACK (prikazan na sliki 3.6).



Slika 3.6: Potek potrditvenega zaporedja ukaza NACK senzorja SHT11

Na koncu izmerjene informacije pripravimo za pošiljanje na sprejemni modul. Dolžina meritev na oddajnem modulu je tako sestavljena iz zajema informacije o času, merjenja svetlobe v prostoru, merjenja vlage, merjenja temperature in pošiljanja podatkov preko brezžične povezave na sprejemni modul. Čas, potreben za zajemanje, je bilo možno optimizirati, ker lahko senzorji meritve opravljajo neodvisno od delovanja brezžičnega dela oddajnega modula. Meritev temperature traja najdlje časa in je zato postavljena na konec, saj lahko v tem času že pošljemo večino podatkov na sprejemni modul. Zajem informacije o času traja 2–3 ms, sledi mu zajem podatkov o

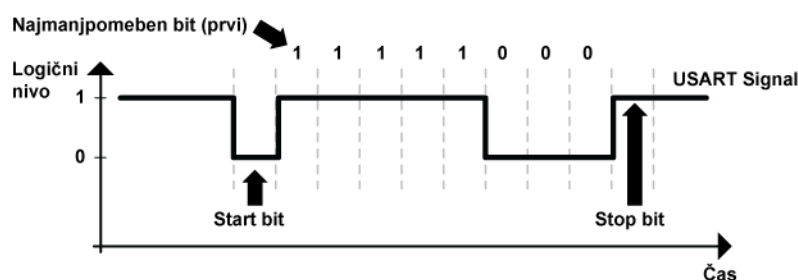
osvetljenosti, ki traja 3 ms, meritev vlage pri 12-bitni ločljivosti traja 62 ms, meritev temperature pa pri 14-bitni 115 ms. Skupaj je to manj kot 200 ms.

3.2 Brezžična povezava

ZigBee [7] je tehnični standard za uporabo visokega nivoja komunikacijskih protokolov pri uporabi fizično majhnih modulov z nizko porabo električne energije. Osnovan je na standardu IEEE 802.15.4. Uporablja se za brezžično komunikacijo preko kratkih radijskih valov v omrežjih WPAN. Namen tehnologije ZigBee je biti preprostejša in cenejša od ostalih WPAN protokolov, kot je recimo Bluetooth. Ciljna skupina so aplikacije, ki uporabljajo radijske valove in potrebujejo nizko hitrost prenosa, nizko porabo električne energije in varno omrežje.

Čip XBee je najprej potrebno nastaviti na določen način delovanja, oz. mu določimo tip naprave. Za uspešno komunikacijo med XBee čipi je bilo potrebno nastaviti sprejemno in oddajno stran. Celoten postopek nastavljanja je zelo enostaven, saj je za pravilno delovanje potrebno spremeniti le nekaj od privzetih parametrov posameznega čipa XBee v nastavitvenem programu. Čip na sprejemnem modulu je v tem primeru koordinator, čip na oddajnem modulu, oz. na strani, kjer merimo vremenske dejavnike, pa je končna naprava. Pri postavitvi omrežja se končna naprava poveže v omrežje ustvarjeno s strani koordinatorja. Za čas nastavljanja sem čip XBee namestil na ploščo ZigBee – USB [6], ki je z osebnim računalnikom povezana preko USB priključka. Za programiranje sem uporabil program X-CTU, v katerem sem izbral prednastavljen nabor funkcij za dotični modul in določil parametre, specifične za moje omrežje. V tem programu je bilo potrebno nastaviti še kanal, po katerem sta čipa komunicirala. Prav tako sem nastavil še ime posameznega čipa XBee, ki pa ni ključnega pomena za samo komunikacijo in služi samo kot razpoznavanje oz. identifikacijo brezžične naprave. Za hitrost prenosa podatkov med moduli sem izbral hitrost 9600 baudov, dolžina podatkovne besede je 8 bitov, paritetnega bita nisem uporabljal in pa 1 start bit ter 1 stop bit.

Vsako po brezžični povezavi poslano podatkovno zaporedje je sestavljeno iz enega START bita (nizek nivo), 8 podatkovnih bitov, kjer se najprej pošilja najmanj pomemben bit, in pa STOP bita (visok nivo). Primer zaporedja je prikazan na sliki 3.7.



Slika 3.7: Primer podatkovnega paketa »00011111«, ki je poslan preko čipa XBee

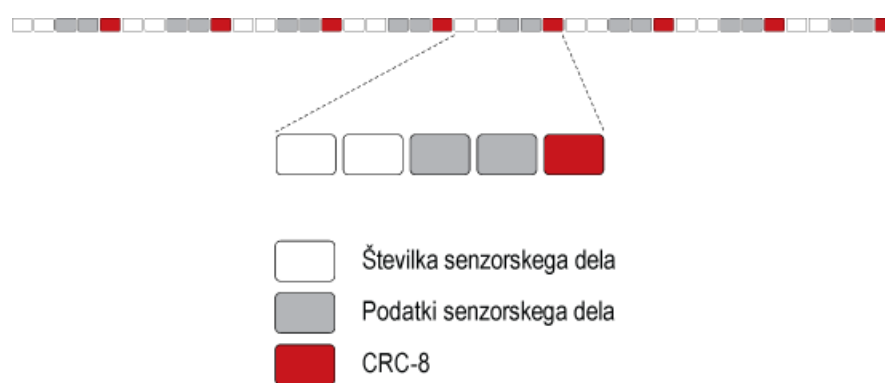
Za preverjanje delovanja komunikacije med ZigBee moduloma sem uporabil terminalsko okno programa X-CTU. Z vpisom določenih ukazov sem lahko preveril pravilnost nastavitve posameznega modula, prisotnost v omrežju ... Prav tako je bilo

možno simulirati enega od modulov in se tako prepričati, da so poslani paketi pravilni in v pravem vrstnem redu.

3.2.1 Protokol

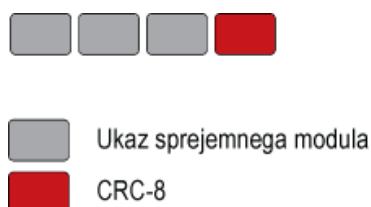
Za zagotavljanje točnosti delovanja celotnega sistema je bilo potrebno poskrbeti za morebitne napake, ki lahko nastanejo pri delovanju. Napake na brezžični komunikaciji lahko vodijo v nepopoln ali napačen končni rezultat. Rešitev tega problema je v uporabi protokola in njemu ustreznega sistema za odkrivanje napak.

Protokol je predvsem namenjen strukturiranju podatkov v celoto, ki se imenuje paket. Ta paket sem sestavil iz zaporedja bajtov in je prikazan na sliki 3.8. Prva dva bajta pomenita začetek prenosa in vsebujeta vrednost, specifično za določen del senzorskega modula. Druga dva bajta vsebujeta podatke o meritvi. Tretji del paketa pa je dolg en bajt in vsebuje CRC zadnjih štirih bajtov celotnega zaporedja.



Slika 3.8: Zgradba podatkovnega paketa v protokolu brezžične komunikacije

Poleg podatkovnega paketa je v protokolu definiran tudi 4-bajtni ukazni paket. Ukazni paket uporabljamo za rešitev problema, ki nastane ob napakah prenosa. Napake so lahko napačen sprejem v podatkovnem paketu ali pa napaka v vrednosti posameznega bajta v podatkovnem paketu. Rešitev za obe vrsti napak je ponovno pošiljanje podatkov. Ukazni paket (slika 3.9) je sestavljen iz štirih bajtov, prvi trije bajti imajo vrednost, ki pove oddajnemu modulu, da gre za ukazni paket, zadnji bajt pa je 1 bajt dolg CRC. Z njim signaliziramo oddajnemu modulu, da naj opravi novo zajemanje podatkov in naj jih posreduje sprejemnemu modulu. Identičen paket se uporablja tudi pri osveževanju podatkov na zahtevo, katero izda uporabnik sistema s pritiskom na tipko za osveževanje. Za takšen način implementacije sem se odločil, ker je bil pomnilnik na oddajnem modulu premajhen za drugačno realizacijo.



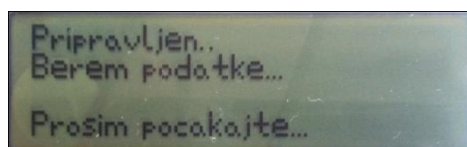
Slika 3.9: Zgradba ukaznega paketa

Vsak brezžični prenos med oddajnim in sprejemnim modulom ima CRC. Pravilnost prenesenih podatkov je zato zagotovljena z računanjem CRC-8 prenesenih podatkov. Izračunan CRC se primerja s podatkom CRC-8, ki ga prejmemo in ob neenakosti se zahteva ponoven prenos.

Tako lahko zagotovimo pravilno strukturo s protokolom in točnost podatkov s CRC.

3.3 Prikaz informacij in uporabniški vmesnik

Ob zagonu sprejemnega modula se na zaslonu LCD izpiše stanje modula in za tem tekst, kamor se kasneje še dodajo izmerjene vrednosti.



Slika 3.10: Začetno stanje zaslona LCD

Dogodka, ki spreminjata stanje, v katerem se modul nahaja, sta pritisk na eno izmed tipk in sprejem novih podatkov od oddajnega modula.

Uporabnik lahko nastavlja vrednosti časa in datuma. Vrednosti lahko vsako posebej spreminja z vstopom v meni za določanje časa in datuma. To stori s pritiskom na tipko A.

Sprejemni modul ima vgrajeno funkcijo osveževanja podatkov na zahtevo. Tako ob pritisku na tipko D sporočimo oddajnem modulu, da naj izvede nove meritve in jih posreduje nazaj sprejemnemu modulu. S tem dosežemo, da program začne celoten proces meritev od začetka do konca in ob končanih meritvah izmerjene podatke posredujemo preko brezžične povezave do sprejemnega modula, kjer se prikažejo na zaslonu LCD. Sicer se meritve ponovno opravijo po preteku časovnega intervala, ki je zaradi omejenosti s programskim prostorom nastavljen statično na eno minuto.



Slika 3.11: Meni za nastavljanje časovnih parametrov

Čas in datum imata pet parametrov, ki jih lahko uporabnik nastavlja. Tipke tako dobijo v meniju za določanje časa in datuma funkcijsko drug pomen in s simboli sem označil kaj predstavljajo. Tipka A potrdi akcijo spreminjanja specifičnega časovnega parametra in nas prestavi v podmeni tega parametra, kjer spreminjamo vrednosti. Iz

menija za določanje časa se lahko vrne s pritiskom na tipko B. Tipka C in D skrbita za izbiro parametra, kateremu vrednost želimo spremeniti. V podmeniju nastavljanja specifičnega parametra pa tipki C in D skrbita za povečevanje oz. zmanjševanje vrednosti parametra časa ali datuma. Ob spremembi parametra lahko le-tega shranimo ali zavržemo. Novi podatki pa se pošljejo na oddajni modul za osvežitev le in samo ob spremembi katerekoli od vrednosti parametrov.



Slika 3.12: Meni za nastavljanje vrednosti časovnega parametra

3.4 Druge naloge

Poleg večjih, zgoraj opisanih nalog, sprejemni modul opravlja še številne druge, ki so predstavljene v tem podpoglavju. Gre za pretvarjanje podatkov, računanje kontrolne vsote in prikaz informacij na zaslonu LCD.

3.4.1 Sprejem in pretvorba podatkov

Temperatura, relativna vlaga, osvetljenost, čas in datum so podatki, ki jih sprejemni modul dobi v osnovni, neobdelani obliki. Tem podatkom je najprej potrebno preveriti pravilnost in jih kasneje pretvoriti v uporabniku prijazno obliko.

Pretvorbe na prvi pogled sicer niso videti težavne, a se izkaže, da je za izračun temperature in relativne vlage treba uporabiti števila v plavajoči vejici ter operacijo množenja. To je 8-bitnem mikrokrmilniku na oddajnem modulu predvsem zaradi omejitve s pomnilnikom predstavljalo težavo. Velika večina pomnilnika je uporabljena že za samo programsko kodo, potrebno za zajemanje meritev in komunikacijo s senzorjema, uro in čipom XBee. Zato ostane premalo prostega prostora, ki bi ga prevajalnik želel rezervirati ob uporabi števil, zapisanih v plavajoči vejici. Zaradi tega se vse pretvorbe, ki bi se lahko opravile na oddajnem modulu, opravijo na sprejemnem modulu, kjer je za to dovolj praznega pomnilniškega prostora.

Pretvorba temperature po formuli 3.1 poteka na sprejemnem modulu, rezultat pa se uporabi za prikaz na zaslonu LCD.

$$Temperatura = d_1 + d_2 * SO_T \quad (3.1)$$

d_1 in d_2 sta konstanti, katerih vrednosti so določene v dokumentaciji čipa, SO_T pa je sestavljena združena vrednost obeh bajtov, ki ju vrne senzor. Prva konstanta je odvisna od napajalne napetosti in znaša -39,6 pri 3 V. Druga konstanta je odvisna od ločljivosti meritve in ima pri 14-bitni ločljivosti vrednost 0,01.

Relativno vlažnost lahko izračunamo na dva načina. Formula 3.2 je manj natančna in enostavnejša in se uporablja le za prikaz pomoč pri izračunu prave vrednosti temperature.

$$RH_{linearna} = c_1 + c_2 * SO_{RH} + c_3 * SO_{RH}^2 \quad (3.2)$$

Natančnejši način (3.3) upošteva temperaturno kompenzacijo, zato je bolj zapleten. Ker je mikrokrmilnik dovolj zmogljiv, se za izpis na zaslon LCD uporablja natančnejši način.

$$RH_{prava} = (T_{\circ C} - 25) * (t_1 + t_2 * SO_{RH}) + RH_{linearna} \quad (3.3)$$

Podobno kot prej so c_1 , c_2 in c_3 konstante pridobljene iz dokumentacije čipa in imajo v našem primeru vrednosti -4, 0,0405 in $-2,8 \cdot 10^{-6}$, konstanti t_1 in t_2 pa vrednosti 0,01 in 0,00008. SO_{RH} je surova vrednost, ki jo pošlje senzor, $T_{\circ C}$ je izračunana temperatura v stopinjah Celzija, $RH_{linearna}$ pa izračunana relativna vlažnost po prvem postopku. S poznavanjem vrednosti temperature in relativne zračne vlage se lahko izračuna še rosišče, katerega implementacije nisem izvedel in se zato v te izračune in izpis ne bomo spuščali.

Na izračun osvetljenosti prostora (3.4) vplivata dve vrednosti, pridobljeni iz kanala 0 in kanala 1, s katerima določamo osvetljenost prostora, kakor ga zaznava človeško oko. Vrednosti, pridobljene iz oddajnega modula, se glede na območje, katerega določata konstanti o_1 in o_2 , v katerem se vrednosti nahajajo, pomnožijo z glede na območjem določenima konstantama b in m . Zmnožka odštejemo zaradi upoštevanja prisotnost komponent infrardeče svetlobe v prostoru.

$$Pri\ o_1 < CH1/CH0 \leq o_2 \quad Lux = b * CH0 - m * CH1 \quad (3.4)$$

Konvencionalni silicijevi detektorji se odločno odzivajo na infrardečo komponento svetlobe, katere človeško oko ne vidi. To lahko privede do znatne napake rezultata, kadar je v prostoru prisotno veliko infrardeče svetlobe, kot je npr. ob prisotnosti žarilne nitke v razsvetljavi, zaradi razlike med odzivom detektorja silicija in zaznavanja osvetljenosti s človeškim očesom.

Ta problem se odpravi v TSL2561T z uporabo dveh fotodiod. Ena od fotodiod (kanal 0) je občutljiva na vidno in infrardečo svetlobo, medtem ko je druga fotodioda (kanal 1) občutljiva predvsem na infrardečo svetlobo. Integriran pretvornik ADC pretvori meritve fotodiod v digitalni izhod. Kanal 1 je uporabljen za kompenzacijo pri učinku infrardeče komponente svetlobe kanala 0. Pretvornik ADC pridobi iz dveh kanalov z uporabo sklopa formul (3.5) najboljši približek vrednosti, ki je približno enaka odzivu človeškega očesa.

Sklop formul 3.5 za izračun osvetljenosti prostora:

$$Pri\ 0 < \frac{CH1}{CH0} \leq 0,5 \quad Lux = 0,0304 * CH0 - 0,062 * CH1 * \left(\frac{CH1}{CH0}\right)^{1,4}$$

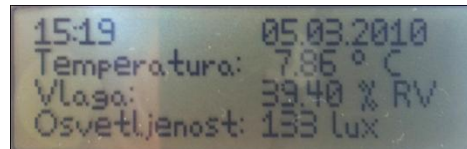
$$Pri\ 0,5 < \frac{CH1}{CH0} \leq 0,61 \quad Lux = 0,0224 * CH0 - 0,031 * CH1$$

$$Pri\ 0,61 < \frac{CH1}{CH0} \leq 0,8\ Lux = 0,0128 * CH0 - 0,0153 * CH1$$

$$Pri\ 0,8 < \frac{CH1}{CH0} \leq 1,3\ Lux = 0,00146 * CH0 - 0,00112 * CH1$$

$$Pri\ 1,3 < \frac{CH1}{CH0}\ Lux = 0$$

Končni rezultat je podan v enoti lux.



Slika 3.13: Prikaz končnih meritev na zaslonu LCD

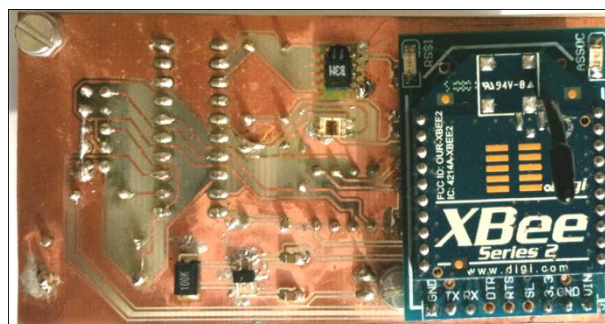
4. Uporaba

V tem poglavju sledi prikaz uporabe sistema. Predstavljeni sta obe enoti, s katerima ima uporabnik stik. Najprej je opisan oddajni modul, na koncu pa sprejemni modul z mesnikom za prikaz informacije preko zaslona LCD.

4.1 Oddajni modul

Za električno napajanje je priporočljiva uporaba do dveh akumulatorskih baterij tipa AA, z nazivno napetostjo 1,2 V. Skupna napetost zaradi pretvornika DC-DC ne sme biti višja od 3.3 V.

Ob priklopu na napajanje začne modul takoj delovati. Začne se zajem informacije iz ure, sledi mu merjenje osvetljenosti. Za tem se izvede merjenje vlage in nazadnje merjenje temperature. Vsi izmerjeni podatki se sproti pošiljajo preko čipa XBee na sprejemni modul.



Slika 4.1 : Fotografija oddajnega modula

Oddajni modul opravi celoten sklop meritev in pošiljanja v intervalu ene minute. Ta čas je lahko spremeniti, vendar je zaradi pomanjkanja prostora za programsko realizacijo v mikrokrmilniku ta parameter statičen. Drugi način, kjer se opravi celoten sklop meritev in pošiljanja, je osveževanje na zahtevo uporabnika in je opisan v poglavju sprejemnega modula.

Pri merjenju temperature in vlage je pomembna postavitev senzorja. Za čim bolj točne meritve mora biti senzor nameščen v senci ter ne neposredno pri tleh ali v bližini

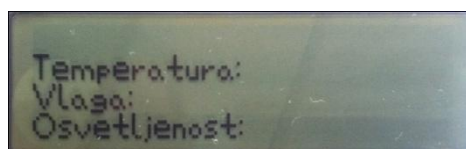
sten. Prav tako ne sme biti zaprt v neprodušnem ohišju, saj je s tem onemogočeno merjenje realne relativne vlage ozračja.

Natančnost meritev senzorja SHT11 je odvisna od v kontrolnem registru zapisanih vrednosti. Prevzeta vrednost natančnosti je 14-bitno merjenje temperature in 12-bitno merjenje vlage. Prav tako kot parameter intervala osveževanja je tudi parameter za določanje natančnosti v mojem primeru statičen. Ob realizaciji oddajnega modula z večjim pomnilnikom mikrokontrolorja bi bilo možno parameter za določanje natančnosti prosto spreminjati z nekaj ukazi iz sprejemnega modula.

4.2 Sprejemni modul

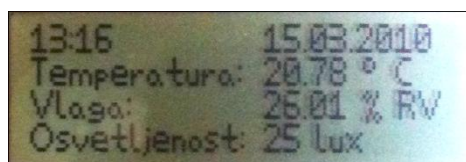
Vir napajanja je omrežni napajalnik, ki mora zagotavljati usmerjeno napetost v območji od 3,3 V do 18 V, kar je zgornja meja na čipu DROIDS, preko katerega se dejanska napetost v omrežje pretvori na 3.3 V. Za električno napajanje bi tako lahko uporabili najmanj tri akumulatorske baterije tipa AA, nazivne napetosti 1,2 V ali eno akumulatorsko baterijo tipa 9 V za daljšo dobo delovanja sistema.

Ob priklopu na napajanje začne modul takoj delovati in pošlje na oddajni modul zahtevo za osveževanje podatkov.



Slika 4.2: Začetni prikaz teksta meritev na zaslonu LCD

Ko so podatki na voljo, jih mikrokrmilnik prikaže na zaslonu LCD in gre v stanje čakanja na naslednji dogodek.



Slika 4.3: Prikaz temperature, relativne vlage, osvetljenosti prostora in časa

S pritiskom na prvo tipko iz leve se postavimo v meni za nastavljanje parametrov časa. Tu lahko izbiramo med vsemi vrednostmi za spreminjanje vseh petih parametrov časa. To opravljamo s pritiskom zadnjih dveh tipk na desni. Za izhod iz menija pritisnemo drugo tipko iz leve. Zadnja vrstica na zaslonu LCD služi za prikaz funkcije, katero prevzame specifična tipka v določenem stanju. Po končanem procesu nastavljanja parametrov časa in datuma lahko spremembe shranimo ali zavržemo. Vsako od sprememb teh parametrov se pošlje takoj, ko zapustimo meni za nastavljanje časa in datuma.

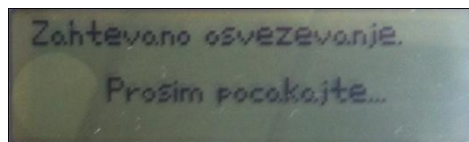


Slika 4.4: Prikaz menija za izbiro parametra nastavljanje



Slika 4.5: Prikaz menija za nastavljanje vrednosti parametra časa

Osveževanje parametrov na zaslonu LCD se opravlja periodično in je nadzorovano na oddajnem modulu. Osveževanje se lahko izvede tudi ročno, s pritiskom zadnje tipke na desni strani modula. Takrat se pošlje na oddajni modul ukaz za izvedbo novih meritev in rezultat se po prejemu podatkov osveži na zaslonu LCD.



Slika 4.6: Prikaz obvestila o poteku osveževanja

Sprejemni modul opravi vse pretvorbe neobdelanih podatkov prejetih, od oddajnega modula. Skrbi za računanje kontrolne vsote. Prav tako je zadolžen za reševanje napak prenosa na brezžični povezavi.

5. Sklepne ugotovitve

Z uporabo nizkoenergetskih komponent sem zadostil energetske učinkovitosti oddajnega modula. Oddaljenost med sprejemnim in oddajnim modulom, ko sistem še deluje v praksi pa je bila na prostem tudi več kot 500m v urbanem okolju pa je zadostovala pokritosti enostanovanjske hiše. V okvirju testiranja sem pokazal, da sistem deluje zanesljivo tako pri prenosu podatkov kot tudi samega delovanja sistema. Zaradi začetne želje po fizični izdelavi sistema sem izbral SMD komponente in izdelal tiskano vezje, katerega izdelava je bila enostavna in jo je bilo možno opraviti v laboratoriju. Poraba električne energije na oddajnem modulu je znašala v času pošiljanja 55–63 mA, v času spanja brezžičnega dela pa 5–14 mA. Poraba električne energije na sprejemnem modulu je bila 48–51 mA, brezžični del tukaj ne zaspi.

Celoten sistem je zaradi zahteve po nizki porabi energije brezžičnih komunikacijskih modulov cenovno nekoliko dražji. Cena končnega vezja znaša okrog 100 €. Nanjo vplivajo komunikacijski moduli XBee, ki znašajo 20 % vsak oz. 40 % cene celotnega vezja. Prav tako je bil eden večjih stroškov nabava zaslona LCD, ki prav tako znaša 20 % celotne cene. Senzor za merjenje temperature in vlage SHT11 je bil prav tako zelo drag in doprinese z 20 % celotne cene k višji ceni končnega sistema. Pri izbiri slednjega je bila v prednosti enostavnost delovanja in ne cena, vendar bi bilo možno z izbiro fizično večjih ohišij ali drugih čipov ceno znižati, kar pa bi dodatno zapletlo proces in podaljšalo čas izdelave celotnega sistema.

Prva od izboljšav bi bila zamenjava čipa za merjenje vlage, kar bi lahko celotno ceno zmanjšalo za približno 5–15 %. Zaradi izbire mikrokontroler AVR ATtiny 2313 je bil bralni pomnilnik na oddajnem modulu velik le 2kB. To je sprva predstavljalo nekaj problemov, a z optimizacijo programske kode in z izpustitvijo nekaj razširitev sem uspešno porabil celoten pomnilnik Flash. Primeri razširitev, ki bi jih lahko oddajni modul nudil ob večjem pomnilniku, so na primer nastavljanje robnih pogojev na senzorjih (alarm ure, timer, nastavitve natančnosti meritev (8/12/14bit)).

Ob želji do večjega dosega brezžične komunikacije bi bilo možno ZigBee modele nadomestiti z ZigBee PRO modelom. Tako bi doseg povečali za do 100 m v zaprtih prostorih in kar do 1,6 km na prostem, obenem pa bi se povišala poraba električne energije in skrajšal čas delovanja pri enaki bateriji.

Kljub enostavnosti izvedbe je sistem dokaj zmogljiva zadeva. Malo dovršenosti bi morda bilo potrebno pri komunikaciji in nastavitvah intervala osveževanja. Izbira dveh načinov delovanja (intervalno osveževanje in osveževanje po potrebi) v neki povezavi z izbiro delovanja naprave gleda na prisotnost osebe v objektu (delavnik, vikend,

praznik ...). Dodatne razširitve bi lahko vsebovale še povezavo na osebni računalnik in/ali strežnik povezan na splet ter nadzor sistema oz. objekta preko spletne aplikacije.

Pri večjem pomnilniku Flash lahko dodamo še vrsto drugih senzorjev podobnih tipov komunikacijskih protokolov ali celo podobnih razširitev. V to skupino lahko spadajo razni senzorji za zvok, stikala, senzorji IR za detekcijo premikanja ...

Senzorsko enoto na oddajnem modulu bi lahko z nekaj spretnosti v nadaljnjem načrtovanju zasnovali kot modul zase. Oddajni modul bi bil zasnovan iz oddajne enote in senzorskega modula. Senzorski modul bi bilo možno fizično odstraniti iz vodila oddajnega modula preko vnaprej določenega tipa priključka.

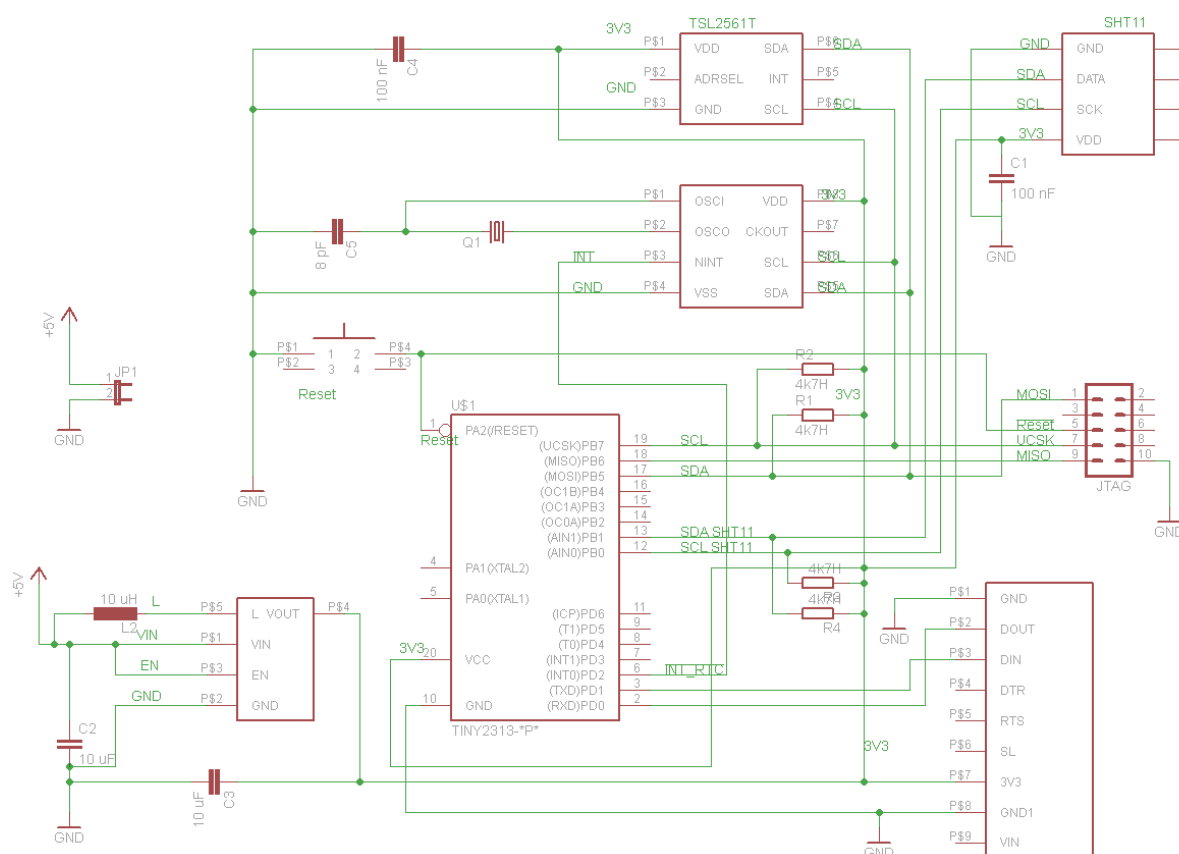
Senzorski modul bi lahko bil tako sestavljen iz povezave senzorja na vodilo in senzorja (tu bi lahko uporabili različne senzorje). S takšno zasnovo bi lahko povečali zmožnosti delovanja celotnega sistema. Dosegli bi razširljivost oddajnega modula, še večjo fleksibilnost zajemanja podatkov iz okolja, hitrejšo spreminjanje namembnosti oddajnega modula z vstavljanjem specifičnih senzorskih modulov, kot tudi zmanjšali čas servisiranja okvar celotnega oddajnega modula zaradi hitre menjave elementov v okvari.

Odprli bi si zmožnost izbire različnih senzorjev, ki pa so sicer istega tipa komuniciranja (npr. I2C standard) z dodajanjem/odstranjevanjem preko standardnega vodila. Uporaba I2C načina priklopa in komunikacije nam omogoča izkoristiti velik potencial pri priključitvi dodatnih senzorjev na mikrokrmilnik v oddajnem modulu. Tako bi sistem lahko nadgradili še z večjim spektrom različnih senzorjev in dodatno povišali merilno funkcionalnost sistema. Mikrokrmilnik ima na voljo še nekaj prostih nožic, na katere bi prav tako lahko povezali dodatne periferne naprave.

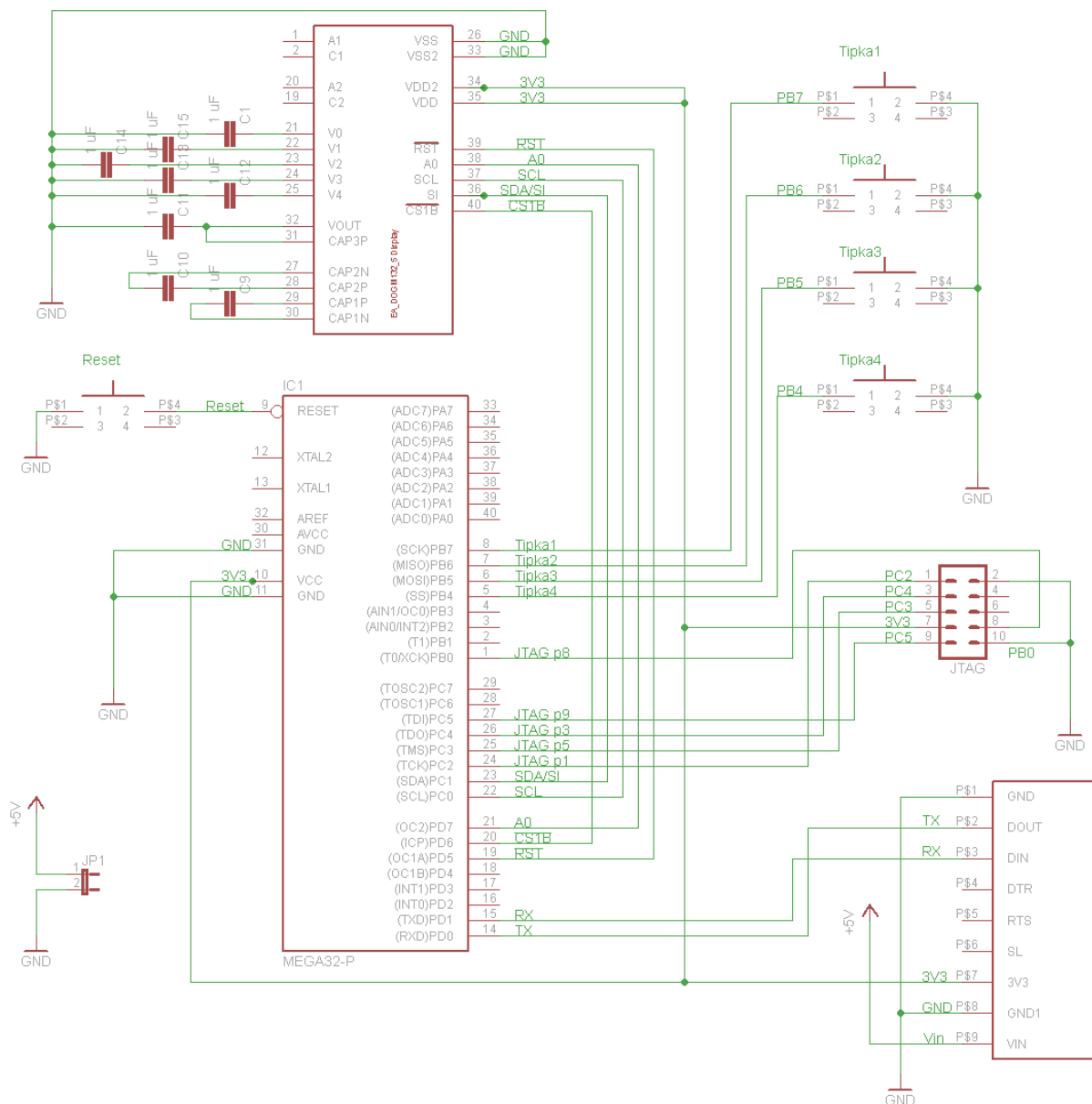
Zaradi premajhnega pomnilnika smo morali opustiti tudi preverjanje pravilnosti podatkov prenesenih iz senzorja SHT11. Računanje CRC kode je že implementirano za pravilnost prenesenih podatkov preko čipa XBee, manjkajo samo še vrstice z ukazi, ki preverijo podatke iz SHT11. Ti v bajtih zasedejo preveč pomnilnika in mi jih zato ni bilo možno uporabiti. Možna rešitev problema premajhnega pomnilnika na oddajnem modulu bi bila zapis celotne kode v zbirnem jeziku.

Dodatek A

Električne sheme modulov



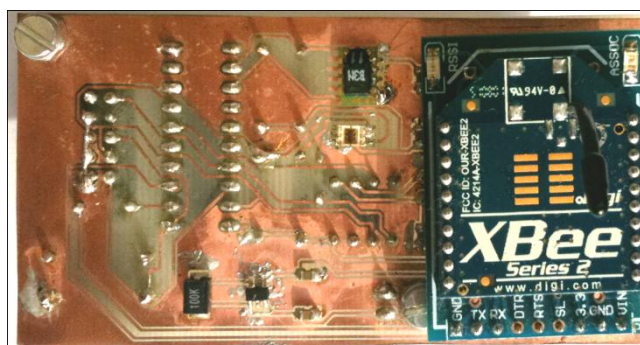
Slika A.1: Električna shema oddajnega modula z mikrokrmilnikom ATtiny 2313, komunikacijskim modulom Xbee, senzorjem SHT11, TSL2561T in uro PCF8563 ter pretvornikom TPS61097-33



Slika A.2: Električna shema sprejemnega modula z mikrokrmilnikom ATmega 32L, komunikacijskim modulom XBee ter zaslonom LCD DOGM132W-5.

Dodatek B

Fotografije sistema



Slika B.1: Oddajni modul



Slika B.2: Sprejemni modul

Literatura

- [1] Atmel AVR ATTiny 2313
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/DOC2543.pdf
- [2] Atmel AVR ATmega32L
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2503.pdf
- [3] Texas Instruments – TPS61097-33
<http://www.ti.com/lit/gpn/tps61097-33>
- [4] Digi ZigBee čip XBee
http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_D.pdf
- [5] DROIDS XBee – Simple Board 990.001
http://www.droids.it/data_sheets/990.001%20datasheet.pdf
- [6] DROIDS XBee – USB Board 990.002
http://www.droids.it/data_sheets/990.002%20datasheet.pdf
- [7] Wikipedia – ZigBee
<http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [8] Sensirion SHT11
http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf
- [9] TAOS TSL2561T
<http://www.taosinc.com/getfile.aspx?type=press&file=tsl2560-e58.pdf>
- [10] NXP PCF8563
http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8563.pdf
- [11] Electronic Assembly LCD DOGM132W-5
<http://www.lcd-module.de/eng/pdf/grafik/dogm132-5e.pdf>
- [12] Wikipedia – I2C
<http://en.wikipedia.org/wiki/I2c>
- [13] Luka Šepetavc – Sistem za brezžičen zajem podatkov z zmožnostjo nadzora preko spleta
http://eprints.fri.uni-lj.si/854/1/Šepetavc_L_UN.pdf