

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni studij

SUSTAV NADZORA KVALITETE ZRAKA U
ZATVORENIM PROSTORIMA KORISTEĆI KONCEPT
BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE

Diplomski rad

Dario Ramljak

Osijek, 2015 godina.

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. ČIMBENICI ČISTOG ZRAKA	3
2.1. Zrak i atmosfera	3
2.1.1. Atmosfera	3
2.2. Kvaliteta zraka	4
2.2.1. Onečišćivači zraka	5
2.2.1.1 Sumporni dioksid (SO ₂)	6
2.2.1.2. Dušikovi oksidi (NO i NO ₂ - NO _x)	7
2.2.1.3. Lebdeće čestice (PM – engl. Particle Matter, SPM – engl. Suspended PM)	9
2.2.1.4. Ugljični monoksid (CO)	10
2.2.1.5. Prizemni ozon (O ₃)	11
2.2.1.6. Hlapljivi organski spojevi (VOCs - Volatile Organic Compounds)	12
2.2.3. Kvaliteta zraka na otvorenom prostoru	13
2.2.3.2. Opći indeks kvalitete zraka	13
2.2.3.3. Računanje indeksa kvalitete zraka - CAQI	14
2.2.3.4. Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj	15
2.2.4. Kvaliteta zraka u zatvorenom prostoru	17
3. SUSTAV ZA MJERENJE KAKVOĆE ZRAKA	19
3.1. Bežične senzorske mreže	19
3.1.1. Platforme bežičnih senzorskih mreža	20
3.2. Definiranje sustava i izbor programske podrške	23
3.2.1. Komponente sustava za nadzor kvalitete zraka	26
3.2.1.1. Jedinice u bežičnoj senzorskoj mreži	28
3.2.1.2. Ograničenja bežične mreže	30
3.2.1.3. Senzorski čvor (SČ)	31
3.2.1.4. Repetitorski senzorski čvor (RSČ)	33
3.2.1.5. Koordinatorski čvor (KČ)	34
4. UPRAVLJAČKI UREĐAJI	35

4.1. Mikroprocesori i mikroupravljači.....	36
4.1.1. Mikroprocesor.....	36
4.1.2. Mikroupravljači.....	37
4.1.2.1. Atmel AVR.....	39
4.1.2.1.1. Arhitektura AVR mikroupravljača.....	39
4.1.2.2 Arduino platforma.....	41
4.1.2.2.1. Programiranje Arduino mikroupravljačkog uređaja.....	43
4.1.2.2.2. Korišteni Arduino moduli u radu.....	45
4.1.2.2.3. MySensors biblioteka.....	45
4.1.2.2.4. MySensors serijski protokol.....	47
5. MREŽNI UPRAVLJAČKI UREĐAJ.....	54
5.1. Specifikacija aplikacije mrežnog upravljačkog uređaja.....	54
5.2. TP-Link TL-WR703N usmjernik.....	56
5.2.1. Prilagodba usmjernika na OpenWrt GNU/Linux.....	57
5.2.1.1. Proširenje memorije uređaja za nadogradnju sustava.....	58
5.2.1.2. Proširenje radne memorije uređaja.....	59
5.2.1.3. Aplikacija mrežnog upravljačkog uređaja.....	60
6. IZVRŠNI UREĐAJI.....	62
6.1. Senzor za detekciju lebdećih čestica - Sharp GP2Y1010.....	63
6.1.1. Područje namjene.....	64
6.1.2. Osnovne elektroničke komponente senzora.....	64
6.1.2.1. Fotodioda.....	64
6.1.2.2. Fototranzistor.....	65
6.1.2.2. Infracrvena dioda.....	66
6.1.3. Spajanje uređaja.....	67
6.2. Senzor za mjerenje temperature - Maxim DS18B20.....	71
6.2.1. Karakteristike senzora.....	71
6.2.2. Opis rada senzora.....	72
6.2.3. Napajanje senzora.....	73
6.2.4. 1-Wire® sučelje.....	74

6.2.4. Memorija senzora.....	76
6.3. Senzor za mjerenje vlage i temperature - DHT	79
6.3.1. Dostupni modeli DHT senzora	79
6.3.2. Karakteristike DHT11.....	79
6.3.3. Karakteristike DHT21.....	79
6.3.4. Opis DHT11 senzora.....	80
6.3.4.1. Napajanje	81
6.3.4.2. Komunikacija.....	82
6.3.4.2.1. Komunikacijski proces	82
6.4. Senzori za mjerenje kakvoće zraka - MQ (detektori plinova u zraku).....	85
6.4.1. Konstrukcija senzora.....	85
6.4.2. Područje detekcije MQ senzora	87
6.4.2.1. Preduvjeti za pravilno iščitavanje mjerene vrijednosti.....	87
6.4.2.2. MQ2.....	88
6.4.2.3. MQ3.....	88
6.4.2.4. MQ4.....	89
6.4.2.5. MQ5.....	89
6.4.2.6. MQ6.....	89
6.4.2.7. MQ7.....	89
6.4.2.8. MQ8.....	90
6.4.2.9. MQ9.....	90
6.4.3. Umjeravanje senzora.....	90
6.4.3.1. Primjer umjeravanja senzora	92
7. BEŽIČNI KOMUNIKACIJSKI MODULI – NRF2401	94
7.1. Karakteristike uređaja.....	94
7.2. Funkcionalna stanja uređaja	96
7.3. Protokol na sloju linka podataka - Enhanced ShockBurst™.....	98
7.3.1. Paketi.....	99
7.3.2. Validacija paketa.....	100
7.4. Upravljanje modulom SPI sučeljem	100

7.5. FIFO spremnik.....	102
7.6. Registri radio modula (mapa registara)	103
7.7. Enhanced ShockBurst™ primjer slanja paketa	106
7.8. Enhanced ShockBurst™ primjer primanja paketa	107
8. KORISNIČKA APLIKACIJA	107
8.1. Internet aplikacija	107
8.1.1. Prezentacijski blok	108
8.1.1.1. Bootstrap	110
8.1.1.1.1. Implementacija Bootstrap okoline	111
8.1.1.2. D3 podrška za izradu komponenata	112
8.1.2. Aplikacijski blok	113
8.1.2.1. Node.js®	113
8.1.2.1.1. Express Node.js modul.....	113
8.1.3. Spremnčki blok	115
8.1.3.1. MongoDB	115
8.2. Aktivno osvježavanje distribuirane korisničke aplikacije	118
8.2.1. Message Query Telemetry Transport (MQTT).....	119
8.3. Izgled korisničke aplikacije	122
9. EKSPERIMENTALNO VREDNOVANJE SUSTAVA	127
9.1. Mjerenje u uvjetima direktne optičke vidljivosti.....	130
9.1.1. Mjerenje prijema paketa na otvorenom prostoru	130
9.2. Mjerenje u zatvorenom prostoru.....	132
9.2.1. Mjerenje prijema paketa u hodnika dužine 80 m.....	133
9.2.2. Mjerenje prijema paketa na stubištu	133
9.2.3. Mjerenje prijema paketa na relaciji hodnik-soba	135
9.2.4. Mjerenje prijema paketa na relaciji soba-soba.....	137
10. ZAKLJUČAK	139
LITERATURA.....	141
POPIS KRATICA	144
SAŽETAK.....	147

ABSTRACT	147
ŽIVOTOPIS	149
PRILOZI.....	150
Prilog 4.1. Primjer <i>Arduino</i> izvornog kôda za senzorski čvor.....	150
Prilog 4.2. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za koordinatorski čvor	151
Prilog 4.3. <i>Arduino</i> aplikacije – KČ, SČ, RSČ.....	151
Prilog 6.1. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za <i>Sharp GPY1010</i> detektor lebdećih čestica u zraku	152
Prilog 6.2. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za <i>Maxim DS18B20</i> senzor temperature.....	153
Prilog 6.3. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za <i>DHT11</i> senzor temperature i vlage	154
Prilog 6.4. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za <i>MQ2</i> detektor plinova	154
Prilog 8.1. Primjer jednostavnog HTML dokumenta	155
Prilog 8.2. Primjer CSS stila za HTML dokument.....	155
Prilog 8.3. Primjer Javascript skripte stila za HTML dokument.	156
Prilog 8.4. Primjer HTML oznaka za listu s tri člana.....	156
Prilog 8.5. Primjer HTML oznaka s dodanom Bootstrap funkcionalnosti padajućeg izbornika na listi od tri člana	156
Prilog 8.6. Primjer izrade jednostavnog HTTP servera pomoću nodejs platforme.....	156
Prilog 8.7. Usporedba Jade i HTML kôda.....	157
Prilog 8.8. Usporedba SQL i noSQL notacije	157
Prilog 8.9. Korisnička aplikacija - KA	158
Prilog 9.1. Skener paketa.....	158

SAŽETAK

U okviru diplomskog rada razvijen je sustav nadzora kvalitete zraka u zatvorenim prostorima. Sustav je razvijen koristeći koncept bežične senzorske mreže. Sustav prikuplja podatke s terena čiji su izvori senzorski čvorovi, a ponori distribuirane instance korisničke aplikacije.

Senzorska mreže u konačnici prikuplja podatke o:

- zadimljenosti prostorije,
- količini lebdećih čestica u zraku,
- grubu detekciju količine štetnog plina u prostoriji,
- mjerenje temperature i
- iznos relativne vlažnosti zraka.

Senzorski čvorovi raspoređeni su u promatranom objektu, a prikupljeni podaci su proslijeđeni centralnom poslužitelju. Centralni poslužitelj je realiziran Internet aplikacijom.

U okviru rada obrađene su osnove kakvoće zraka, zatim je opisan osnovni princip definiranja sustava (bežične senzorske mreže) s predloškom za izvedbu zadanog sustava. Obrađene su potrebne jedinice, među kojima su senzori za mjerenje potrebnih fizikalnih veličina, bežični komunikacijski moduli i mikroupravljački uređaji. Opisana je priprema okoline i konfiguracije, primjerice na usmjerniku za definiranu funkcionalnost prenošenja podataka iz senzorske mreže do korisničke aplikacije. Opisana je izrada korisničke aplikacije čime je dovršena izrada funkcionalnosti sustava. U konačnici izvedena su mjerenja prijema paketa kako bi se doznala ograničenja sustava, vezana uz domet i strategiju postavljanja komunikacijskih čvorova. U zaključku su predložena moguća unapređenja postojećeg rješenja ili mogućnosti prenamjene sustava.

ABSTRACT

This thesis goes through a study and a practical development of a system of indoor air quality management. Indoor air quality management system is been developed with the wireless sensor network concept in its focus. This system is capable of collecting data from a distributed network of sensor nodes. Visualization of data is made by a service of user applications which are distributed to network clients.

Sensor network collects data about:

- amount of smoke in an object,
- amount of particle matter in the air of an object,
- approximation on the amount of harmful gas or gases in the object,
- current temperature,
- and amount of relative humidity.

Sensor nodes are deployed to a selected complex, collected data is been forwarded to a central server. Server is implemented as a web application. Thesis elaborates the basic principle of defining

the system (of wireless sensor networks) with its model for the performance measurement. Study on all necessary components is been presented, including sensors, wireless modules and microcontrollers. Basic settings and preparation of the environment is been defined, e.g. for the functionality of relaying data from sensor network to the user application. Afterwards, one can find notations on a development of the user application which completes the functionality of the proposed system. Finally, measurement are been presented on the packet reception rate, which can indicate on the limitations of the system doe to the propagation of packets in indoor environment. Measurement can be used as a indication for strategies on setting up network configuration and node distribution. In the conclusion there are proposed improvements for the selected solution or possibilities of functionality conversion.