

TEHNIČKO REŠENJE - PROTOTIP M85

REALIZACIJA UDALJENE MERNE STANICE ZA PRAĆENJE PARAMETARA ŽIVOTNE SREDINE

Odgovorno lice: dr Josif Tomić
Autori rešenja: dr Josif Tomić, dr Miloš Živanov, dr Miodrag Kušljević, master Vladimir Rajs, master Živorad Mihajlović, master Vladimir Milosavljević, master Radovan Čelić.
Razvijeno u okviru projekata: APV 114-451-3266, IIR 43008 i TR 32019.
Godina: 2013.
Primena od: 1.10.2013. godine.
Ključne reči: udaljena merenja, životna sredina, LabVIEW, virtualna instrumentacija, GSM modemi, Internet.

1. Oblast tehnike na koju se realizovani prototip odnosi

Realizovani prototip predstavlja praktičnu realizaciju merne stanice za praćenje stanja životne sredine, korišćenjem savremenih mernih i informacionih tehnologija. Prikazano je rešenje koje se oslanja na postojeću tehnologiju, ali nudi nadogradnju hardvera i softvera zahvaljujući prednostima korišćenja koncepta virtualne instrumentacije. Praktično je realizovana samostalna merna stanica koja prikuplja podatke vezane za stanje životne sredine i šalje ih preko GSM modema do korisnika korišćenjem UDP protokola. Merna stanica je realizovana u LabVIEW programskom paketu.

2. Realizacija

Razvijeni prototip ovog mernog sistema je realizovan na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na Katedri za električna merenja u čijoj laboratoriji je izvršena i verifikacija ovog uređaja.

3. Korisnici usluga

Razvijeni prototip ove merne stanice je u upotrebi na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije kao i na Departmanu za inženjerstvo zaštite životne sredine i tamo se koristi za edukaciju studenata iz više predmeta vezanih za električna merenja, električna merenja neelektričnih veličina kao i zaštitu životne sredine. Pošto su merni podaci javno dostupni preko Internet stranice, potencijalni korisnici su i svi ostali zainteresovani za stanje životne sredine.

4. Stanje u svetu

Trenutno u svetu postoji veliki broj različitih mernih stanica za praćenje stanja životne sredine ali one najčešće obavljaju samo akviziciju mernih vrednosti sa senzora i njihovo skladištenje u bazu podataka. Obrada rezultata merenja kao i statistička analiza uglavnom se obavljaju na drugim mestima gde podaci pristižu preko različitih sistema za komunikaciju. Akvizicija mernih podataka se najčešće vrši *on-line* dok se obrada i statistička analiza vrše *off-line*. Za razliku od ovakvih distribuiranih sistema ovaj realizovani uređaj omogućava akviziciju signala i statističku obradu u realnom vremenu a rezultati su trenutno dostupni. Ovo omogućava objedinjavanje više funkcija na jednom mestu, što značajno smanjuje troškove i pojednostavljuje sistem.

5. Tehnički problem

Kako se efekat globalnog zagrevanja odigrava širom planete, tako se svetska populacija suočava sa verovatno jednim od najvažnijih socijalnih i naučnih fenomena. Ovaj efekat zahteva masovnu koordinaciju inženjera i naučnika na globalnom nivou, kako bi se narastajući problem uspešno razrešio. Preduzimanje bilo kakve akcije zahteva precizna i tačna merenja parametara životne sredine u više desetina hiljada tačaka, postavljenih širom sveta. Izveštaj iz 2007. godine nedvosmisleno govori o tome da postoji trend globalnog zagrevanja vazduha i vode, primarno okeana. Ovaj efekat dovodi do topljenja lednika na polovima i do porasta nivoa mora a utiče i na sav biljni i životinjski svet. Za sav živi svet neophodno je da se održi balans između energije koju primi Zemlja od Sunca i energije koju Zemlja vraća natrag. Pošto je Zemlja hladnija od Sunca ona vraća energiju čije je zračenja na znatno većoj talasnoj dužini, primarno u infracrvenom spektru. Donji slojevi atmosfere absorbuju ovo zračenje i vraćaju ga natrag na Zemlju. Ova pojava se naziva efekat staklene bašte (*greenhouse effect*). Gasovi koji dovode do ovog efekta potiču prvenstveno od ljudskih aktivnosti, kao što su: sagorevanje fosilnih ostataka, masovna seča šuma, produkti sagorevanja u industrijskim postrojenjima i poljoprivredna proizvodnja. Smeša gasova u atmosferi sastoji se od: 78% azota, 21% kiseonika, 0.9% argona, 0.03% ugljen dioksida i vodene pare.

Godine 1997. donet je Kyoto protokol koji je definisao 6 gasova koji doprinose efektu staklene bašte i čije se koncentracije u vazduhu moraju držati pod kontrolom. Ovih 6 gasova su: Ugljen dioksid (CO₂), Azot suboksid (N₂O), Fluorougljenik (PFC), Metan (CH₄), Freon (HFC) i Sumporov heksafluorid (SF₆). Održavanje ovih gasova u dozvoljenim koncentracijama zavisi pre svega od aktivnosti najrazvijenijih industrijskih zemalja sveta.

6. Prednosti tehničkog rešenja - Virtualna Instrumentacija

Koncept virtualne instrumentacije, nastao zbog sveprisutnosti PC računara, pruža mnoge beneficije inženjerima i naučnicima kojima je potrebno povećanje produktivnosti, tačnosti i performansi merno-akvizicionih uređaja. Virtualni instrument se sastoji od PC računara ili radne stanice, podržan moćnim softverom za izradu aplikacija, jeftinim ugradnim ili USB mernim karticama i drajverom softvera, što zajedno čini funkcije tradicionalnog instrumenta. Sa virtualnim instrumentima inženjeri i naučnici prave sisteme za merenje i automatizaciju koji tačno odgovaraju njihovim potrebama (*user-defined*) umesto da se ograniče tradicionalnim instrumentima sa fiksnim funkcijama (*vendor-defined*).

Danas korisnici LabVIEW programskog paketa veoma jednostavno mogu da razmenjuju podatke preko Interneta zahvaljujući već gotovim funkcijama koje se dobijaju uz ovaj paket. Front panel virtualnih instrumenata vrlo lako je distribuirati preko Web servisa na više različitih načina koji zahtevaju manje ili veće znanje Internet protokola. Takođe velika većina korisnika ima zahteve za interaktivnom komunikacijom sa udaljenim aplikacijama preko Web servisa. Glavne Internet metode koje podržava LabVIEW su: Udaljeni pregled sa ugrađenim LabVIEW Web Serverom, CGI (Common Gateway Interface) tehnologije, UDP (User Datagram Protocol) tehnologije, DataSocket tehnologije, Klijent-Server komunikacija sa ugrađenim TCP/IP protokolom i VI Server tehnologije .

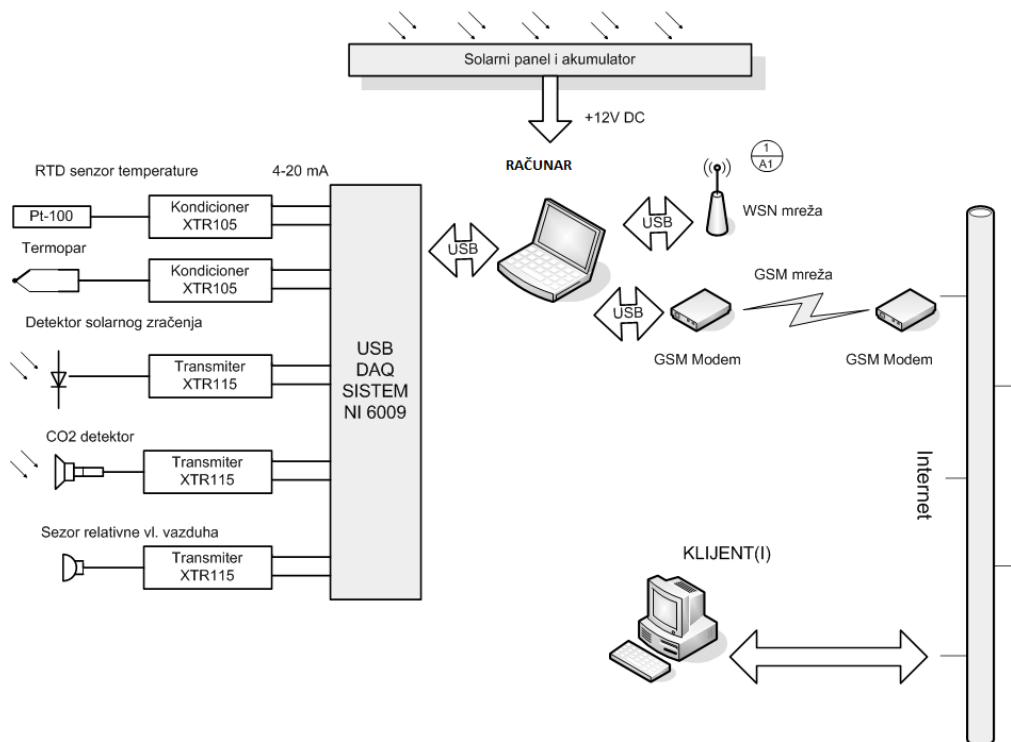
UDP protokol omogućava jednostavnu komunikaciju između kompjutera na vrlo niskom nivou. Proces se odvija tako što pošiljalac šalje datagrame na određenu adresu i port. Ovaj protokol je veoma sličan IP protokolu i deli sa njim identične probleme u vezi mogućnosti neisporučivanja i gubljenja pojedinih podataka. UDP šalje datagrame na port primaoca a ukoliko taj port nije otvoren, datagrami se uništavaju. Ovaj protokol ne poseduje pouzdanost slanja i koristi se u aplikacijama gde ona nije potrebna. To može biti u slučaju kada se informacije dovoljno brzo šalju na određenu destinaciju i gubitak pojedinih podataka nije kritičan. Jedan takav primer bi bio u slučaju meteoroloških merenja gde se podaci o temperaturi i vlažnosti vazduha uzorkuju svake minute, te stoga gubitak nekog od ovih podataka ne bi bio od prevelikog značaja. Pošto UDP nije konekcijski orijentisan protokol kao TCP, nije potrebno uspostaviti konekciju sa korisničkim portom pre nego što se započne sa slanjem podataka. Umesto toga potrebno je definisati adresu primaoca za svaki

poslati datagram. Operativni sistem nije u obavezi da prijavi grešku ukoliko datagram nije pravilno isporučen. Sa druge strane ovaj protokol je izuzetno jednostavan za realizaciju i omogućava ekstremne brzine slanja mernih podataka, te stoga u određenim slučajevima i dalje nalazi svoju primenu. Baš zbog tih razloga, ova merna stanica koristi taj protokol.

7. Praktična realizacija merne stanice

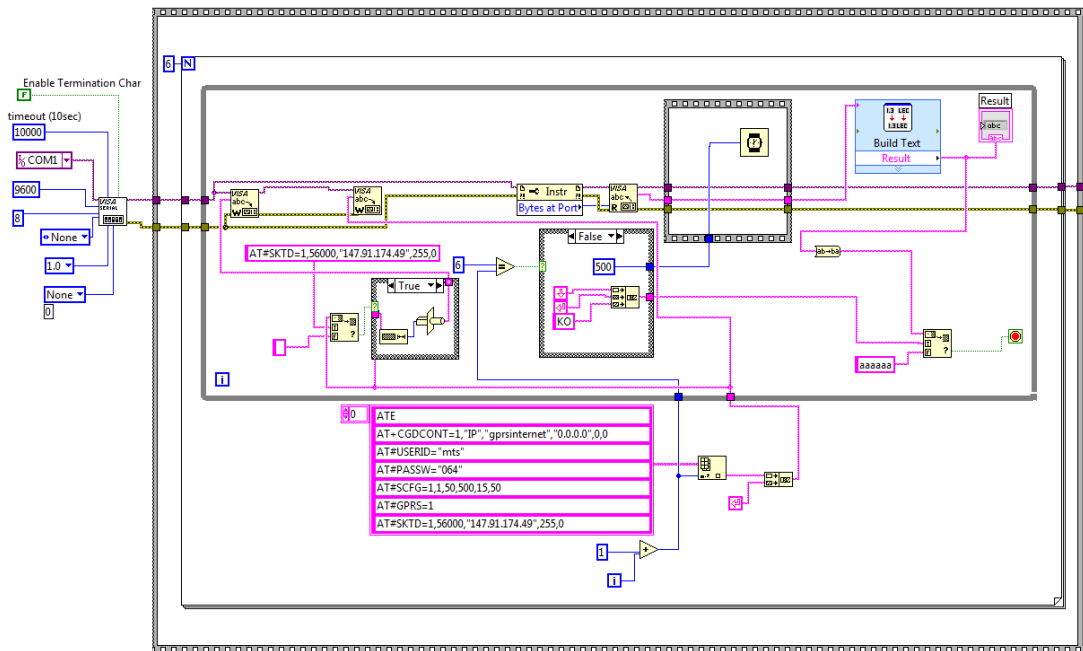
Osnovni motiv razvoja novog sistema, merne stanice, bio je stvaranje rešenja za centralizovano skladištenje i pristup mernim podacima od strane velikog broja korisnika, pri čemu bi se podaci prikupljali sa velikog broja senzora. Senzori mogu biti žično ili bežično vezani na mernu stanicu. Merni sistem je prvenstveno namenjen merenju koncentracija zagađujućih gasova u gradskim sredinama, kao stacionarna stanica, ali može biti realizovan i kao mobilna merna stanica montirana na nekom vozilu. Sistem je modularno realizovan tako da ga je veoma lako prilagoditi bilo kojoj vrsti merenja. Ukoliko se sistem koristi na udaljenim lokacijama gde se ne može računati na prisustvo odgovarajuće kablovske energetske i Internet infrastrukture, moguće ga je opremiti solarnim napajanjem a za prenos podataka od merne stanice do korisnika koristiti GPRS sistem, koji u Evropi u velikoj meri pokriva i neurbane sredine.

Na Slici 1. prikazana je blok šema realizovane merne stanice za praćenje parametara životne sredine. Ovaj sistem se sastoji od komercijalnog Laptop računara i USB NI 6009 mernog modula, koji poseduje: 8 analognih ulaza (u opsegu od +/- 10V), rezolucije 14-bitna, maksimalne brzine semplanja 48 kS/s, jedan brojački ulaz, kao i 12 digitalnih TTL ulaza/izlaza. Na analogne ulaze mernog modula predviđeno je spajanje različitih vrsta senzora, koji mogu biti: temperaturni senzori, senzori energije solarnog zračenja, senzori detekcije prisustva različitih vrsta gasova u vazduhu, kao i senzori relativne vlažnosti vazduha. Za kondicioniranje signala dobijenih sa senzora koriste se različite vrste prilagođavača i pretvarača. Ovde su iskorišćeni kondicioneri firme Burr-Brown koji se odlikuju izuzetno visokom tačnošću i preciznošću konverzije a pored toga na svom izlazu mogu da generišu strujni izlaz u opsegu od 4 do 20 mA. Ovo je potrebno zbog toga što senzori najčešće ne mogu a i ne moraju biti blizu mernog modula. Predviđeno je da računar može skupljati podatke i od većeg broja senzora koji su preko WSN (Wireless Sensor Network) spojeni na baznu stanicu. Bazna stanica je sa svoje strane vezana preko USB porta na računar.

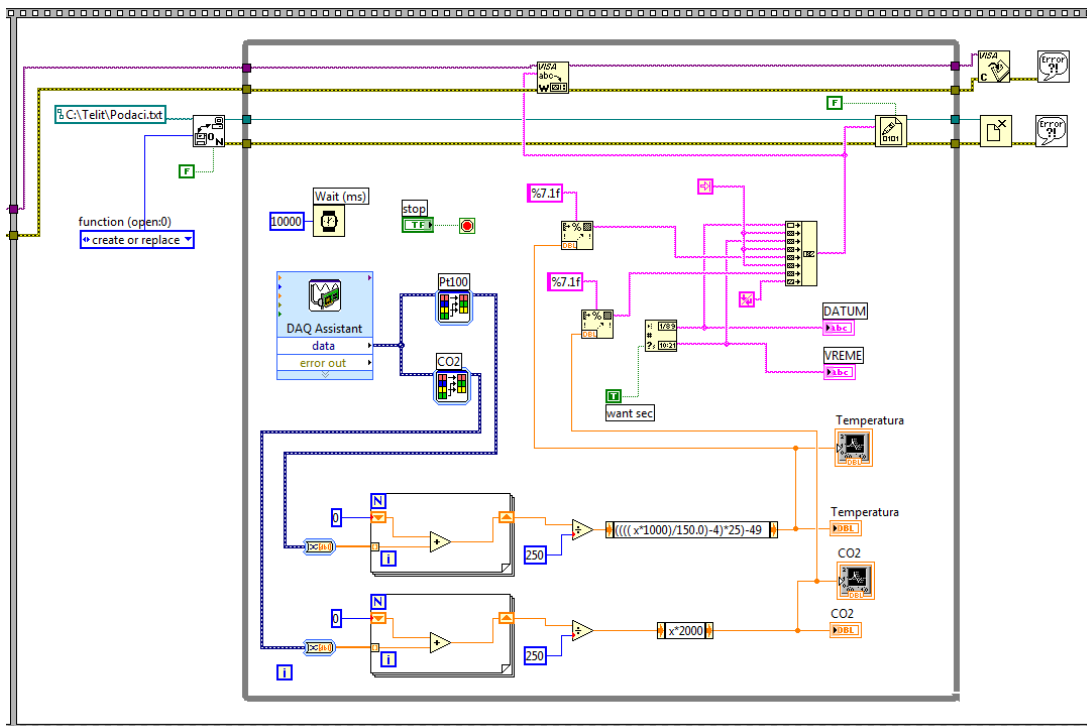


Slika 1. Blok šema mernog sistema

Na Laptop računaru nalazi se instaliran program za merenje i obradu signala kao i smeštanje izmerenih vrednosti na hard disk računara. Program šalje izmerene vrednosti koristeći GPRS modem (ili žični Internet) i UDP protokol do udaljenih predefinisanih korisnika. Program je realizovan u LabVIEW programskom paketu. Izgled blok diagrama realizovanog programa, koji se izvršava na mernoj stanici dat je na Slici 2 i Slici 3.



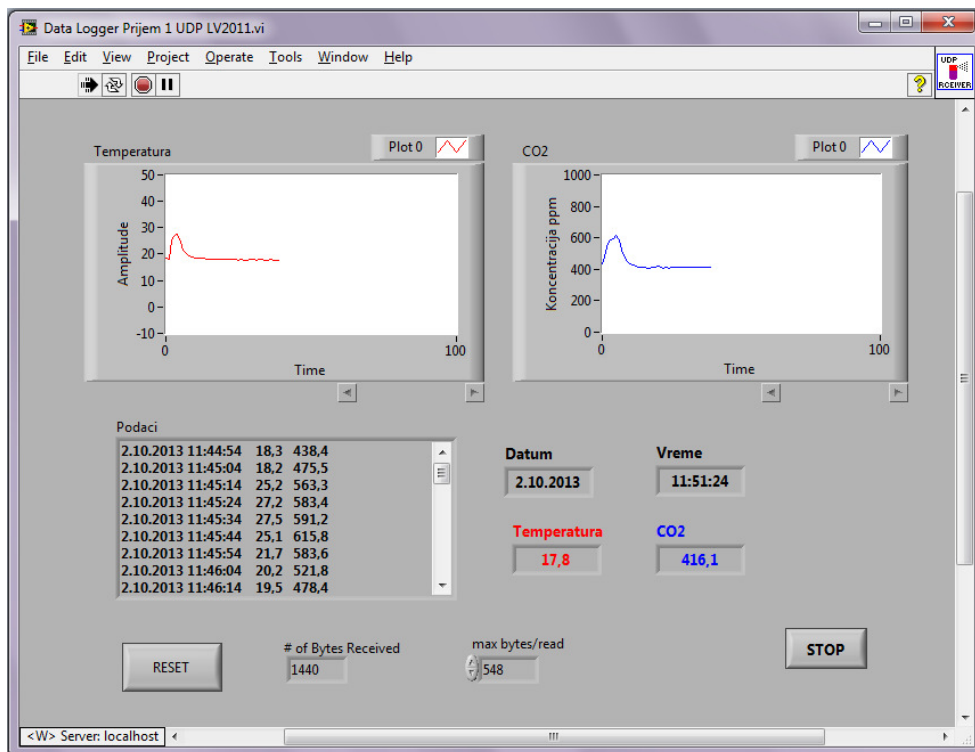
Slika 2. Inicijalizacija Telit modema



Slika 3. Akvizicija i slanje mernih podataka

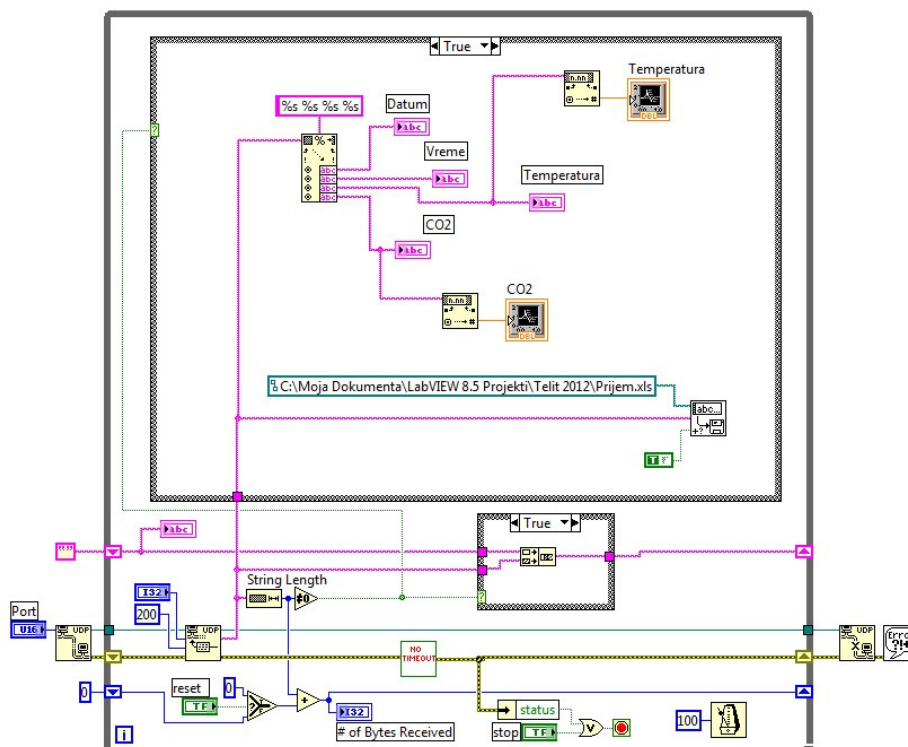
Program ima mogućnost podešavanja vremena u kojem se vrši uzorkovanje mernih podataka sa velikog broja senzora. Podaci se odmah prosleđuju do predefinisanih adresa klijenata korišćenjem UDP protokola ali se takođe smeštaju i na hard disk računara. Na ovaj način merni podaci se ne gube čak i u slučaju da klijent računari nisu priključeni na mrežu. Merni podaci se šalju potpuno

matematički obrađeni tako da na korisničkoj strani nije potrebna nikakva dodatna obrada rezultata merenja. Na Slici 4. prikazan je izgled front panela aplikacije na korisničkoj strani.



Slika 4. Front panel korisničke aplikacije

Korisnička aplikacija je urađena u LabVIEW programskom paketu i sa njom se mogu očitati datum i vreme uzorkovanja podataka, kao i izmerene vrednosti parametara životne sredine. U ovom primeru je merena temperatura kao i sadržaj CO₂ gasa u vazduhu. Sve dok je klijent priključen na mrežu, podaci dobijeni sa UDP porta se skladište u zasebnu datoteku na hard disku računara. Na Slici 5. prikazan je izgled blok diagrama realizovanog korisničkog programa.



Slika 5. Blok diagram korisničke aplikacije

LabVIEW aplikacija drži otvorenim odgovarajući UDP port preko koga prima pridošle podatke sa Interneta. Podaci se nakon prikaza na front panelu snimaju u Excel datoteku.

Za merenje temperature na mernoj stanici iskorišćen je Pt-100 senzor sa XTR-105 kondicionerom. Za merenje sadržaja ugljen dioksida (CO₂) iskorišćen je senzor TGS4161 firme Figaro. Odlikuju ga velika osetljivost na koncentraciju CO₂ gasa, male dimenzije i niska cena. Meri koncentraciju CO₂ u opsegu od 540 do 18000 mg/m³. Njegov rad bazira se na merenju elektromotorne sile, koja se generiše na krajevima dve elektrode, između kojih se nalazi elektrolit koji se greje. Za kondicioniranje signala iskorišćen je CDM4161 modul koji na svom izlazu daje analogni napon linearno proporcionalan koncentraciji CO₂ gasa. Loša osobina ovog kondicionera je što zahteva početno kalibrisanje u trajanju od 2 sata.

U ovoj aplikaciji iskorišćen je GSM modem GM862 kompanije Telit koji sa računarom komunicira preko rs232 protokola. Telit GM862 je quad-band EGSM modem koji radi na četiri učestanosti 850/900/1800 i 1900MHz. U principu moguće je koristiti i bilo koji drugi komercijalno dostupni USB modem jer je sistem pravljen modularno. Osnovne karakteristike GSM mreže su globalna rasprostranjenost i dostupnost, ali i značajne mogućnosti kada je u pitanju prenos mernih podataka. GPRS (General Pocket Radio Service) je trenutno dostupan u skoro svim GSM mrežama. GPRS predstavlja prenos podataka zasnovan na Internet protokolu. Internet omogućava dostupnost komercijalnim i industrijskim sadržajima. Brzina prenosa je 40 kbit/s što je približno jednako brzini prenosa dial-up modema, ali omogućava pristup Internetu sa bilo koje tačke gde postoji GSM mreža. Zahvaljujući porastu brzine prenosa sve veći značaj ima plaćanje prema količini prenetih podataka u odnosu na vreme provedeno na mreži. Mikroprocesorski bazirani senzori i merni uređaji opremljeni sa GPRS predajnikom na taj način mogu da budu stalno povezani na mrežu a podatke da šalju po potrebi.

8. Statistička analiza rezultata merenja

Virtualna instrumentacija omogućava da se proces merenja i analize izmerenih vrednosti spoje u jednu celinu, na jednom uređaju. Klasične merne stanice ne poseduju ovu mogućnost. Na osnovu velikog broja merenja na različitim lokacijama, korišćenjem matematičke statistike, došlo se do određenih zaključaka koja su veoma bitna za analizu dobijenih vrednosti. Ova merna stanica može biti realizovana kao stacionarna ili kao mobilna jedinica. Prednosti korišćenja mobilne merne stanice su u tome da se može doći do velikog broja mernih podataka sa različitih lokacija a sve korišćenjem jedne iste merne opreme. Pošto je merna stanica realizovana modularno, moguće je napraviti veliki broj kombinacija merenja u zavisnosti od lokacije gde se merenja obavljaju. U Tabeli 1. dato je nekoliko rezultata merenja temperature i koncentracije CO₂ gasa u vazduhu, na različitim lokacijama, kada je merna stanica radila kao prenosni, mobilni uređaj.

Tabela 1. Izmerene vrednosti temperature i CO₂ gasa

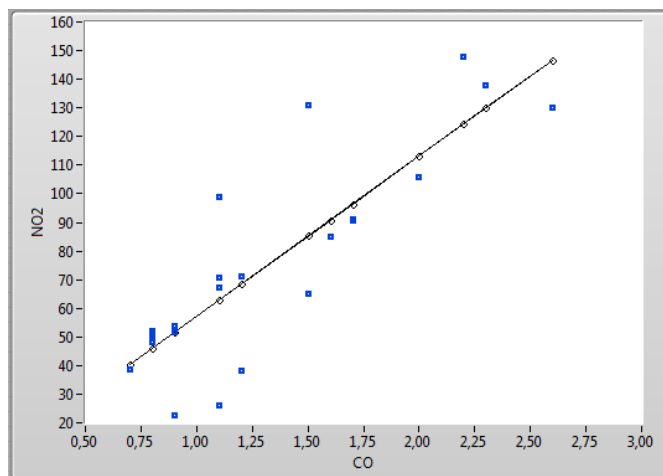
Lokacija	Temperatura °C	CO ₂ mg/m ³
šuma (bez lišća, mart mesec)	7 - 9	720 - 730
zatvoreni prostor sa više ljudi	20 - 24	750 - 1170
ulica	10 - 12	770 - 820
prometna ulica	10 - 12	860 - 930
unutrašnjost automobila	20 - 22	900 - 1400
semafor u gradu	10 - 12	1200 - 2100
auspuh automobila 0.5m	10 - 12	2700 - 3600

Iz rezultata merenja se može uočiti da se vrlo visoke koncentracije CO₂ gasa mogu dobiti u gradu, na mestima gde veći broj automobila čeka na semaforu.

Korišćenjem statističke analize mernih podataka uočilo se da je moguće smanjiti broj mernih stanica a takođe i broj senzora, korišćenjem interpolacionih krivih. Statističko zaključivanje može se odnositi na dve ili više slučajnih promenljivih. U velikom broju istraživanja uočava se veza

između dveju ili više promenljivih, konkretno, vrednosti zagađujućih materija u vazduhu. U tom slučaju treba zaključiti da li postoji i kakva je funkcionalna zavisnost među tim veličinama. Da bi se izveli ovakvi zaključci korišćene su metode statističke analize, korelacija i regresija. Promena jednog obeležja statističkog skupa često utiče na promenu drugih obeležja, zbog međusobne povezanosti. Ovo se posebno odnosi na gradska područja gde zagađenje vazduha dominantno potiče od izduvnih gasova motora sa unutrašnjim sagorevanjem.

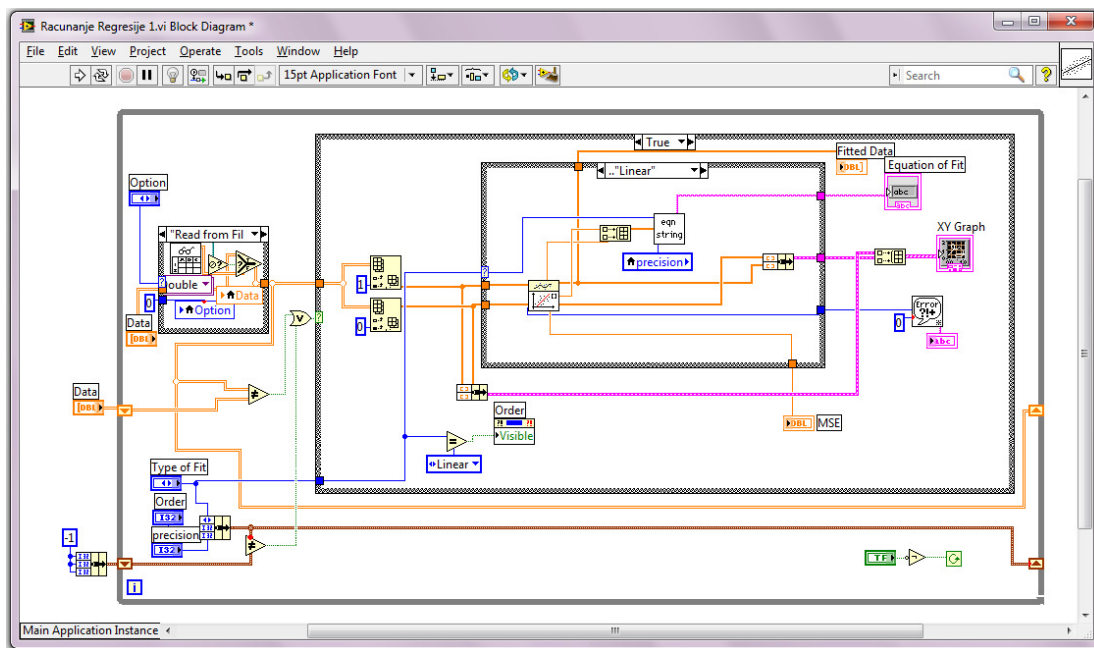
Kao što je već rečeno, da bi se koristila ova statistička metoda merenja, neophodno je prvo na teritoriji koja se posmatra identifikovati najveće zagađivače kao i tipove zagađenja. U tu svrhu moguće je koristiti već postojeće, stacionarne merne stanice koje su u gradskim sredinama već postavljene. Ukoliko to nije moguće, bilo bi potrebno koristiti mobilne merne stanice opremljene Laptop računarom i snimiti stanje na terenu. Ovde je prikazano merenje u gradskoj sredini, gde je primarno zagađenje poticalo isključivo od gradskog saobraćaja, odnosno motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Izabrana je jedna od glavnih raskrsnica u Novom Sadu, gde su u prethodnom periodu izmerene velike koncentracije zagađujućih gasova koji dolaze iz auspuha motornih vozila. U okolini te raskrsnice nisu postojali ostali izvori zagađenja koji bi dominantno uticali na merenja. Merene su koncentracije sledećih gasova u vazduhu: CO, ugljen monoksid i NO₂, azot dioksid. Program za sračunavanje regresione prave realizovan je u LabVIEW programskom paketu a grafički oblik ove prave dat je na Slici 6.



Slika 6. Regresiona prava

Regresiona prava je oblika $K_{NO_2}=55.86 \cdot K_{CO}+1.46$ a koeficijent korelacije iznosi $r=0.85$ što govori o vrlo velikoj međuzavisnosti ovih gasova. Statistički dobijeni rezultati merenja upoređeni su sa rezultatima merenja dobijenim sa stacionarnih mernih stanica i njihove vrednosti su se značajno poklapale. U radu su korišćeni i upoređivani i rezultati merenja dobijeni sa Internet sajta BEO-EKO gradskog zavoda za javno zdravlje u Beogradu. Na Slici 7. prikazan je realizovani program za računanje regresione prave napravljen u LabVIEW programu.

Realizovani merni sistem (virtualni merni instrument) omogućava višestruku uštedu bez degradacije mernih vrednosti. Korišćenjem merne stanice kao mobilnog uređaja, moguće je locirati mesta sa najvećim zagađenjem kao i sa osnovnim vrstama zagađenja. Na ovaj način mogu se postići značajne prednosti. Kao prvo, matematičkim sračunavanjem koeficijenta korelacije, između pojedinih vrsta gasova, moguće je smanjiti broj potrebnih senzora jer se praćenjem jedne vrste zagađenja statistički mogu reprodukovati ostale vrednosti gasova. To znači, da nije potrebno kupovati sve vrste senzora na svim mernim stanicama. Kao drugo, korišćenjem regresionih jednačina dobijenih iz niza merenja, moguće je definisati vrednosti gasova i na lokacijama gde ne postoje merne stanice, već se te vrednosti mogu matematički aproksimirati. Da bi ove vrednosti stvarno dobile na značaju i da bi bile potvrđene, neophodno je sprovesti prava merenja u pravilnim vremenskim intervalima.



Slika 7. Program za računanje regresione prave

Da bi se izbeglo postavljanje velikog broja mernih stanica po celoj površini, moguće je sa jednim mobilnim sistemom, koji ima sve vrste senzora, izvršiti prikupljanje podataka. Na ovaj način, kombinacijom stvarnih merenja i korišćenjem statistike moguće je ostvariti zadovoljavajuće rezultate bez narušavanja kvaliteta merenja. Ova kombinacija daje uštede u redukovanom broju senzora kao i u smanjenom broju mernih stanica. Određivanjem lokacija sa istom koncentracijom gasa u vazduhu, moguće je grafički, u boji, na kvalitetan način prikazati stepen zagađenosti vazduha na celoj teritoriji grada.

Na osnovu korelacione i regresione analize velikog broja podataka, utvrđena je mogućnost da sistem za praćenje aerozagađenja može biti pojednostavljen. Rekonstrukcija stanja zagađenja na celoj teritoriji grada, na osnovu podataka sa pokretne merne stanice i statističke analize podataka, predstavljaju jedan od značajnih faktora uštede pri projektovanju sistema za praćenje štetnih gasova.

Takođe, svako odstupanje od uobičajenih vrednosti koeficijenta korelacije između pojedinih koncentracija gasova, označava da su se na datoj lokaciji pojavili novi izvori zagađenja koje je potrebno locirati i definisati.

Svi merni podaci kao i rezultati statističke analize mernih podataka u numeričkom i grafičkom obliku, trenutno su dostupni udaljenim korisnicima, jer se sva obrada i analiza vrše u realnom vremenu, na samoj mernoj stanici.

9. Zaključak

U ovom dokumentu prikazana je praktična realizacija merne stanice, za praćenje stanja životne sredine, korišćenjem Internet tehnologija i velikih senzorskih mreža. U radu je prikazano rešenje koje se oslanja na postojeću tehnologiju, ali nudi i nadgradnju hardvera i softvera zahvaljujući prednostima korišćenja koncepta virtualne instrumentacije. Realizovana merna stanica vrši akviziciju signala sa senzora, kondicioniranje i matematičku obradu podatka a zatim smešta rezultate na hard disk računara. Nakon toga, prikupljeni podaci se šalju preko GPRS modema direktno do korisnika korišćenjem UDP protokola ili pak do dodatnog servera preko koga korisnici mogu da preuzimaju podatke korišćenjem TCP/IP protokola. Svi programi koji podržavaju rad merne stanice kao i programi kod korisnika napisani su u LabVIEW programskom paketu.