

Zajemanje merilnih podatkov s pomočjo oddaljenega mikrokrmilnika

Janez Pogorelc, Andrej Kociper*

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Smetanova 17, 2000 Maribor

***CPM, d.d. Maribor**

janez.pogorelc@uni-mb.si, andrej.kociper@triera.net

Acquisition of physical quantities using remote microcontroller

Paper presents the use of ultra low power microcontroller to capture the physical parameters (temperature, pressure, etc ...) in the industrial environment. Sensors measuring electrical and non electrical quantities compose transducers that convert the measured into an electrical change in flow as a current loop 4-20mA. Data acquisition is performed by developing kit Texas Instruments MSP430 eZ430-RF2500. Development tool has two units (remote device and access point) that wirelessly communicate with each other and to transmit the data. Recording of variables implemented end device and the access point at this benefit for 10-bit analog to digital converter is in microcontroller MSP430F2247. Gateway sends the data across a serial channel to the PC serial port. Monitoring and measurement data storage is implemented using an interface made by the Lab VIEW software.

Kratek pregled prispevka

Članek opisuje uporabo mikrokrmilnika z zelo nizko porabo moči za zajemanje fizikalnih veličin (temperatura, tlak, itd...) v industrijskem okolju. Senzorji električnih in neelektričnih veličin vsebujejo merilne pretvornike, ki merjeno veličino pretvorijo v električno spremembo toka, običajno tokovno zanko 4-20mA. Zajemanje podatkov smo izvedli z razvojnim kompletom Texas Instruments MSP430 eZ430-RF2500. Razvojni komplet sestavljata dve enoti (oddaljeno naprava ED in vstopna točka AP), ki med seboj brezžično komunicirata in si izmenjujeta podatke. Zajemanje veličin izvajata tako oddaljena enota kot tudi vstopna točka, pri čemer koristita 10-bitni analogno digitalni pretvornik v mikrokrmilniku MSP430F2247. Na vsak modul lahko priključimo enega ali več senzorjev preko ustreznih merilnih pretvornikov in prilagoditvenega vezja za pretvorbo toka v napetost. Vstopna točka pošilja podatke po serijskem kanalu na serijski vhod računalnika. Spremljanje in shranjevanje merjenih veličin se izvaja z uporabo grafičnega vmesnika, izdelanega s programom Labview.

1 Uvod

Fizikalne veličine, ki se v industrijskem okolju nadzorujejo in zajemajo, so temperatura, tlak, vlažnost, nivo, pospešek, hitrost, idr.. Te veličine so povečini analogne, zato jih je potrebno primerno zajemati in pretvoriti za nadaljnjo obdelavo in shranjevanje [1, 2].

Za zajemanje fizikalnih veličin v industriji se uporabljajo senzorji z merilnimi pretvorniki, ki generirajo sorazmerni električni tok od 4 mA do 20 mA. Merilni pretvorniki so napajani z napetostjo 6 V do 36 V. Prenos analogne veličine s pomočjo tokovne zanke so začeli uporabljati že v letu 1950 [1]. Tokovna zanka je robusten standard za zajemanje veličin, ker je imuna na električni šum ter je skoraj neodvisna od razdalje med merilnim pretvornikom in analogno/digitalno enoto (razdalja je lahko celo večja od 300 m).

V članku je predstavljena uporaba razvojnega kompleta Texas Instruments **MSP eZ430-RF2500** v industrijskem okolju. Komplet proizvajalca **TI** (Texas Instruments) je bil izdelan kot pripomoček za inženirski razvoj, demonstracijo in kot začetniški komplet za razvoj aplikacij. Vsebuje osnovni **MSP430** 16-bitni mikrokrmilnik [3] z **USB** vmesnikom za povezavo z osebnim računalnikom in tudi oddaljeno vezje z identičnim mikrokrmilnikom, ki ima baterijsko napajanje. Z oddaljenim mikrokrmilniškim modulom **ED** (End Device) zajamemo električne veličine iz senzorjev z merilnimi pretvorniki ter jih pretvorimo v digitalno obliko. V ta namen ima vgrajen (**MSP430F2274**) mikrokrmilnik kar 12 analognih vhodov, od katerih je na kit kompletu dostopnih 9 vhodov. Osnovni modul **AP** (Access Point) vsebuje razen mikrokrmilnika tudi vezje za programiranje in razhroščanje. Obe mikrokrmilniški enoti sta povezani preko preproste »**SimpliciTI**« brežžične komunikacije, ki je izvedena z ustreznim čipom.

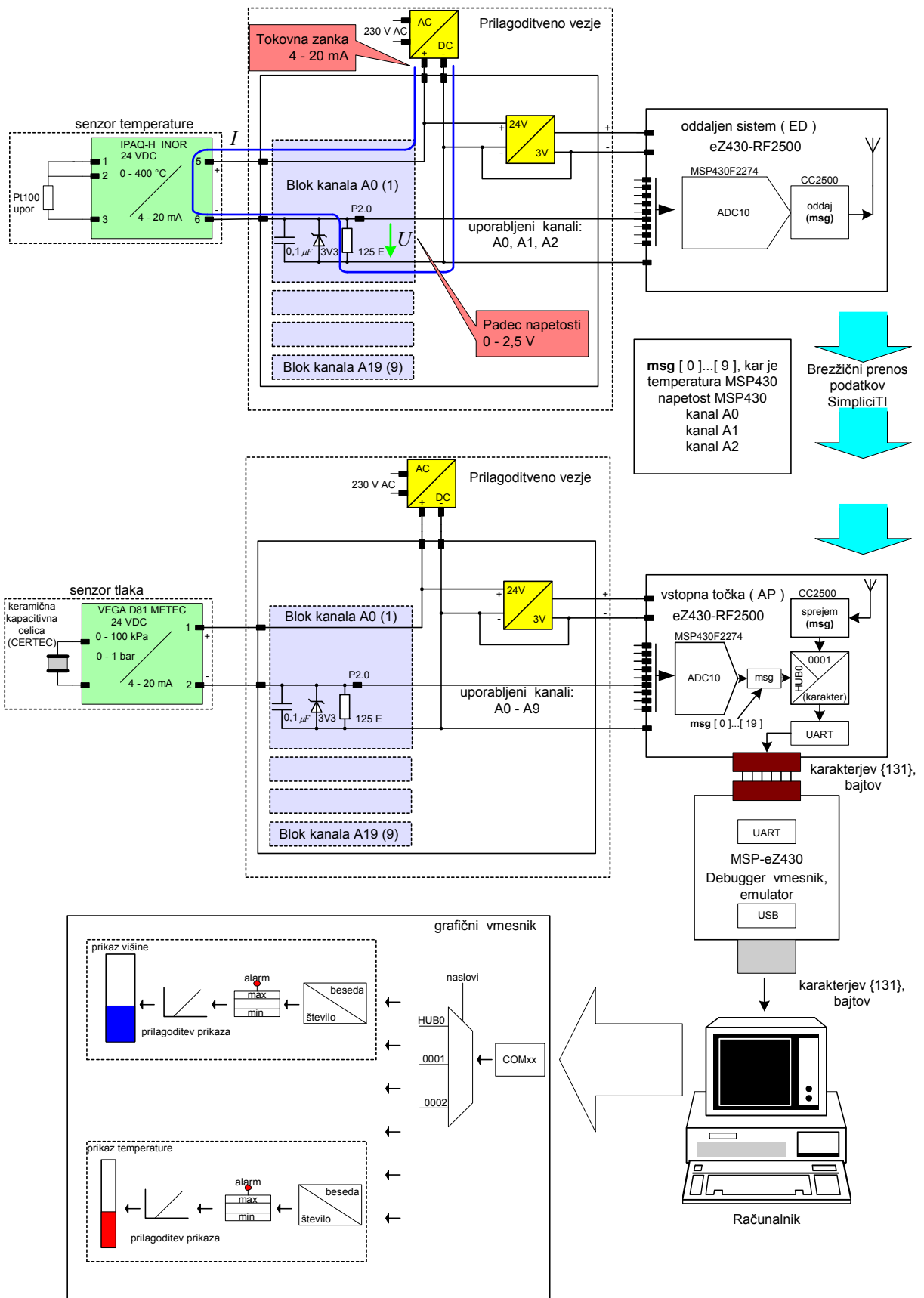
Izdelati je bilo potrebno prilagodilno vezje, ki bi naj bilo uporabno za večino industrijskih senzorjev s tokovno zanko. Vezje vsebuje tudi 24 V napajalnik za senzorje ter 3 ali 5V vir za napajanje različnih tipov mikrokrmilnikov.

Za prikaz merjenih veličin smo izdelali uporabniško okno s programom **Labview 7.1**. Uporabniško okno je razvito po vzoru sodobnih namenskih aplikacij za zajemanje podatkov **SCADA** (Supervisory Control and Data Acquisition). **Labview** program je sicer odlično inženirsko orodje za hiter razvoj merilnih instrumentov in izvajanje simulacij.

2 Zgradba sistema za zajemanje senzorjev

Sistem za zajemanje in prikaz fizikalnih veličin vsebuje več sklopov, ki so prikazani na sliki 1.

- Sklop - **senzor temperature** - je zaključena celota, ki vsebuje senzor **Pt100**, ki je priključen na namensko prilagoditveno vezje **IPAQ-H**. Vezje pretvori spremembo upornosti tipala v spremembo toka 4 do 20 mA. Senzor ima merilno območje 0 do 400 °C s točnostjo $\pm 0,1$ %.
- Sklop - **prilagoditveno vezje** - je v osnovi uporovno vezje, ki ustvari padeč napetosti na upor sorazmerno toku. Vezje napaja stikalni usmernik s 24V DC. Prilagoditveno vezje vsebuje še zaščitno Zener diodo in preprost RC filter. Prilagoditveno vezje je enako tako za **ED** kot za **AP** modul.
- Sklop - **oddaljeni sistem (ED)** - je modul **eZ430-RF2500** za zajem napetosti z mikrokrmilnikom **MSP430F2274**, ki vsebuje ADC10 element. Za brezžični RF prenos podatkov skrbi integrirano vezje **CC2500**.
- Sklop - **vstopna točka (AP)** - je modul, ki je identičen modulu **ED** z razliko vstavljenega programa v **MSP430F2274** mikrokrmilniku. **AP** (vstopna točka) nenehno posluša **ED** (oddaljeni sistem) naprave, ki oddajajo podatke. Podatke, zajete z lastnim ADC10 pretvornikom in podatke prejete od **ED** modula pošilja v osebni računalnik. **AP** modul vsebuje tudi »programator/debugger« vmesnik, ki omogoča, da program, razvit s pomočjo **IAR IDE** okolja, prenesemo (download) v mikrokrmilnik **AP** modula ali v identični mikrokrmilnik **ED** modula.

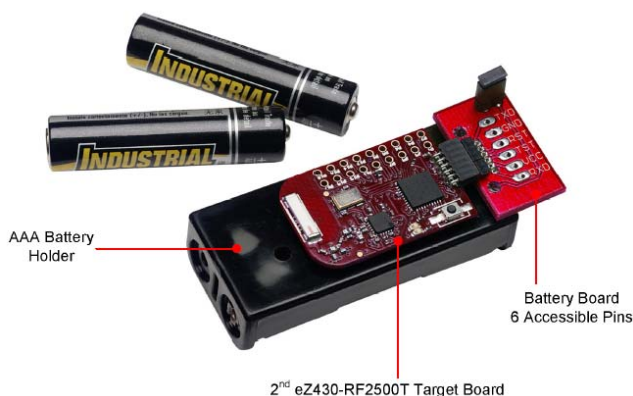


Slika 1: Blokovni prikaz sklopov sistema

- Sklop – **senzor tlaka** – je zaključena celota, ki jo tvorita kapacitivna celica **CERTEC** in namensko prilagoditveno vezje. Izhod vezja je tokovna zanka 4 do 20 mA. Merilno območje senzorja je 0 do 100 kPa (1 bar) in ima točnost $\pm 0,25\%$.
- Sklop – **Debugger/programator** – je vmesnik za programiranje **MSP430F2274** mikrokrmilnika (nalaganje programa v FLASH ROM) na oddaljenem modulu **ED** in tudi vstopni točki **AP**.
- Sklop – **grafični vmesnik** – prikazuje zajete veličine grafično (rezervoar, termometer ...).

3 Razvojni komplet MSP430 EZ430-2500

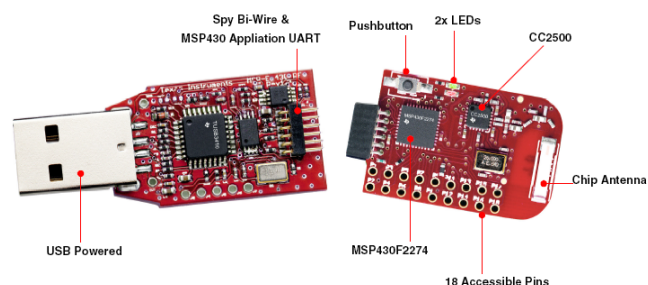
Komplet **eZ430-RF2500** je razvojno orodje za prikaz uporabe 16-bitnega mikrokrmilnika **MSP430F2274** in integriranega vezja **CC2500**, ki omogoča brezžično **RF** komunikacijo na 2,4 GHz [1]. Komplet vsebuje dva identična mikrokrmilniška modula, pri čemer ima oddaljeni (**ED**) baterijsko napajanje (slika 2), osnovni (**AP**) pa je napaján kar preko vmesnika »programator/debugger« (slika 3). Slednji se priključi na **USB** vmesnik osebnega računalnika.



Slika 2: Prikaz oddaljenega modula **ED**

Za programiranje posameznega mikrokrmilnika **MSP430F2274** je v kompletu priloženo programsko razvojno okolje **IAR IDE** (Embedded Workbench Integrated Development Environment) [8]. Programska oprema omogoča prevajanje, nalaganje in razhroščevanje progra-

ma, kodiranega v C-jeziku. Omogoča tudi simulacijsko izvajanje programa (brez ciljnega mikrokrmilnika).



Slika 3: Prikaz osnovnega modula **AP**

Razhroščevalnik (Debugger) omogoča uporabniku zagon aplikacije s polno hitrostjo in predvsem kontrolirano izvajanje programa korak po korak ali z uporabo prekinitvenih točk, pri čemer lahko sledimo spremenljivke in registre vhodno/izhodnih vmesnikov.

3.1 Lastnosti mikrokrmilniškega modula

Tako osnovni modul **AP** kot tudi oddaljeni modul **ED** vsebujeta identično enoto z mikrokrmilnikom **MSP430F2274**.

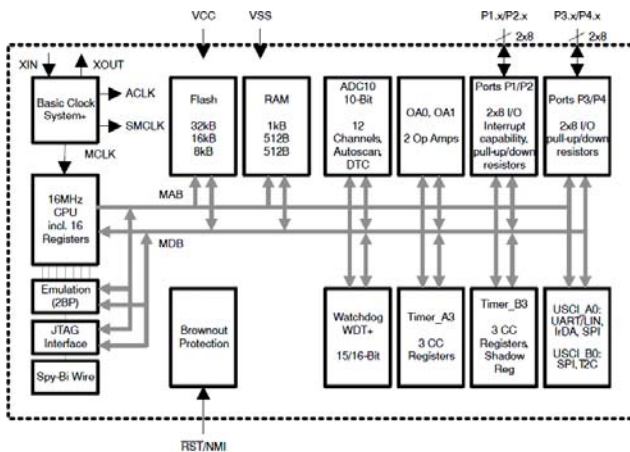
- USB vmesnik omogoča razhroščevanje in programiranje brez predhodnega nameščanja gonilnikov in aplikacijskih kanalov [1].
- Na voljo je 21 vhodno/izhodnih priključkov mikrokrmilnika (na konektorju).
- Visoka integracija elektronskih komponent, nizko tokovni **MSP430 MCU** (Microcontroller Unit) s 16 MHz taktom.
- Dve LED (Light Emitting Diode) diodi: rdeča in zelena, ki sta povezani na izhode **MCU** za vizualizacijo
- Tipka na enem od **MCU** vhodov, ki je dostopna uporabniku.

3.2 Lastnosti mikrokrmilnika **MSP430**

Blokovno zgradba **MSP430F2274** mikrokrmilnika je prikazana na sliki 4. Lastnosti:

- Hitrost izvajanja programskih ukazov je 16 MIPS (Mega Instruction Per Second) [4];

- Hitrost zajemanja analognih podatkov 10-bit ADC (SAR) pretvornika je 200 ksp/s;
- Dva programsko nastavljiva operacijska ojačevalnika;
- WDT (Watch Dog Timer), 16-bitna časovnika (Timer_A3 in Timer_B3);
- USCI (Universal Serial Communication Interface) – vmesnik za serijsko komunikacijo podpira komunikacijo: UART – univerzalni asinhroni prenos, SPI – vmesnik za zunanje serijske naprave, I2C – serijski način komunikacije znotraj integriranih vezij, IrDA – vmesnik za naprave z infra rdečim prenosom podatkov;
- Izbira med petimi nizko tokovnimi načini (LPMx) omogoča porabo toka pod 700 nA v načinu mirovanja. Pri aktivnem načinu delovanja AM (active mode), so vsi časovniki aktivni.

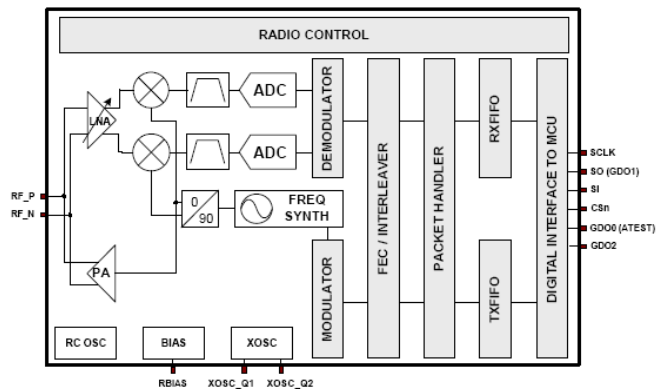


Slika 4: Zgradba mikrokrmilnika MSP430

3.3 Lastnosti komunikacijskega čipa CC2500

- Nizko cenovna različica 2,4 GHz oddajno/sprejemnega čipa [3];
- Frekvenčno območje: 2400-2483.5 MHz;
- Velika občutljivost (-101 dBm pri 10 kbps), zgornja meja 30 dB;
- Programirani časovni interval, nad 500 kbps;

- Nizka poraba toka (13,3 mA v sprejemnem načinu pri 250 kbps);
- Programirljiva moč izhoda nad 0 dB;
- Kvalitetna sprejemna selekcija;
- Potrebuje zelo malo zunanjih komponent;
- Idealen za več kanalne operacije.
- Podpira brezžično komunikacijo s pomočjo odprtokodnega **SimpliciTI** protokola in tudi zmogljivejšega (licenčnega) protokola.



Slika 5: Zgradba komunikacijskega čipa

3.4 Brezžična komunikacija

SimpliciTI omrežni protokol je blagovna znamka podjetja TI (Texas Instruments) [6]. To je RF (Radio Frequency) protokol za brezžično-povezovanje preprostih naprav. **SimpliciTI** omrežni protokol je namenjen za implementacijo v **MSP430** mikrokrmilniških modulih z **CC2500** komunikacijskim čipom in omogoča relativno počasno komunikacijo z do 100 napravami na razdalji nekaj 10 m.

Oddaljeni sistem (**ED**) komunicira z vstopno točko (**AP**) na način »peer-to-peer«. **SimpliciTI** protokol se sicer uporablja za širok spekter aplikacij z zelo nizko tokovno porabo (detektorji dima, detektorji lomljenja stekla, detektorji ogljikovega monoksida, senzorji svetlobe, avtomatika odpiranja garažnih vrat in mnoge druge).

Za **SimpliciTI** protokol je razvita prosto licenčna izvorna koda, kar pomeni, da je uporabnikom prosto na voljo [6].

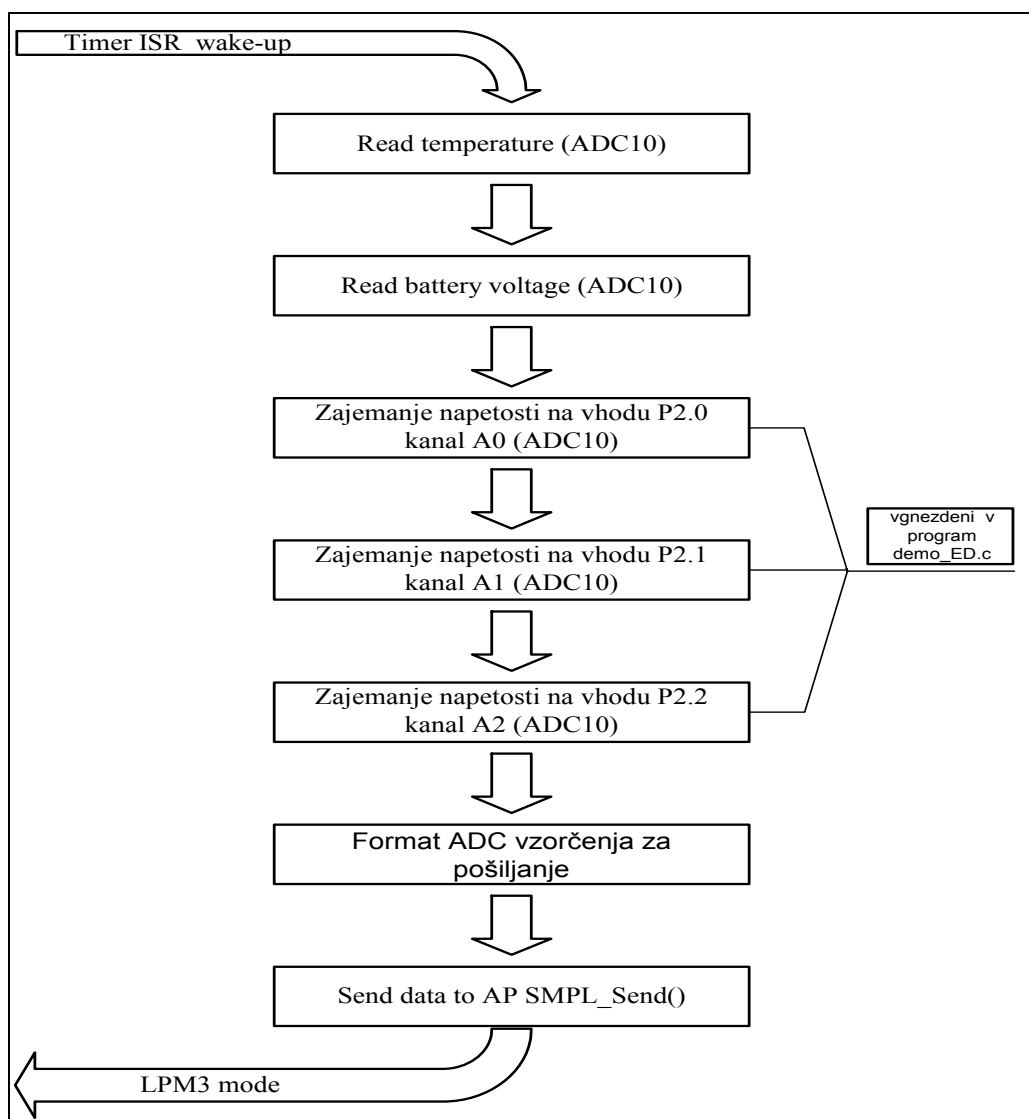
4 Programska oprema

Modula **ED** in **AP** v kompletu **eZ430-RF2500** sta v osnovi identična, vendar imata naložena različna programa. Mikrokrmilnik v **AP** zajema podatke na **ADC** pretvorniku, hkrati pa skrbi za omrežje in sprejema podatke približno v sekundnem intervalu od enega ali več **ED** modulov. Le-ti delujejo večino časa v nizko tokovnem načinu **LPM3** (low power mode 3).

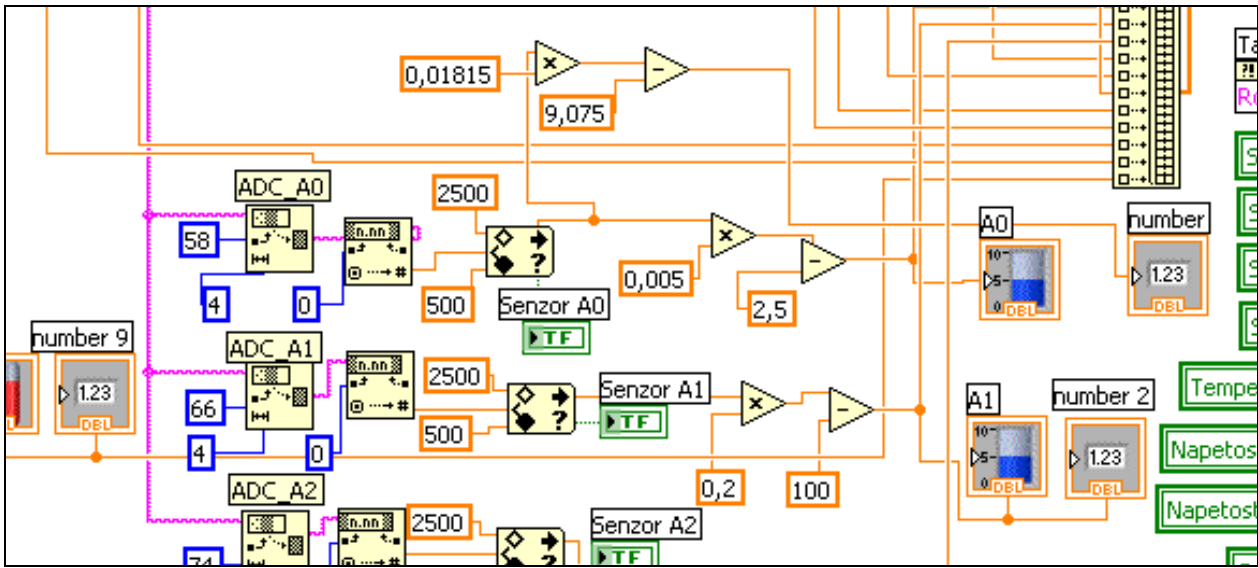
ED se aktivira vsako sekundo, da zajame podatke internega temperaturnega senzorja in napetost baterije ter rezultate pošlje s pomočjo omrežnega protokola **SimpliciTI** **AP** modulu (slika 6). Po sprejemu podatkov od **ED**, pošlje **AP** podatke preko **UART** (univerzalni asinhroni

vmesnik) na **COM** (komunikacijski kanal) vhod osebnega računalnika, ki s pomočjo **Labview** programa prikaže izmerjene veličine iz **AP** in **ED** v uporabniškem oknu [1]. Na vhodne priključke mikrokrmilnika **P2.0** do **P2.2** so lahko priključeni do štirje senzorji fizikalnih veličin s tokovnim izhodom 4 do 20 mA.

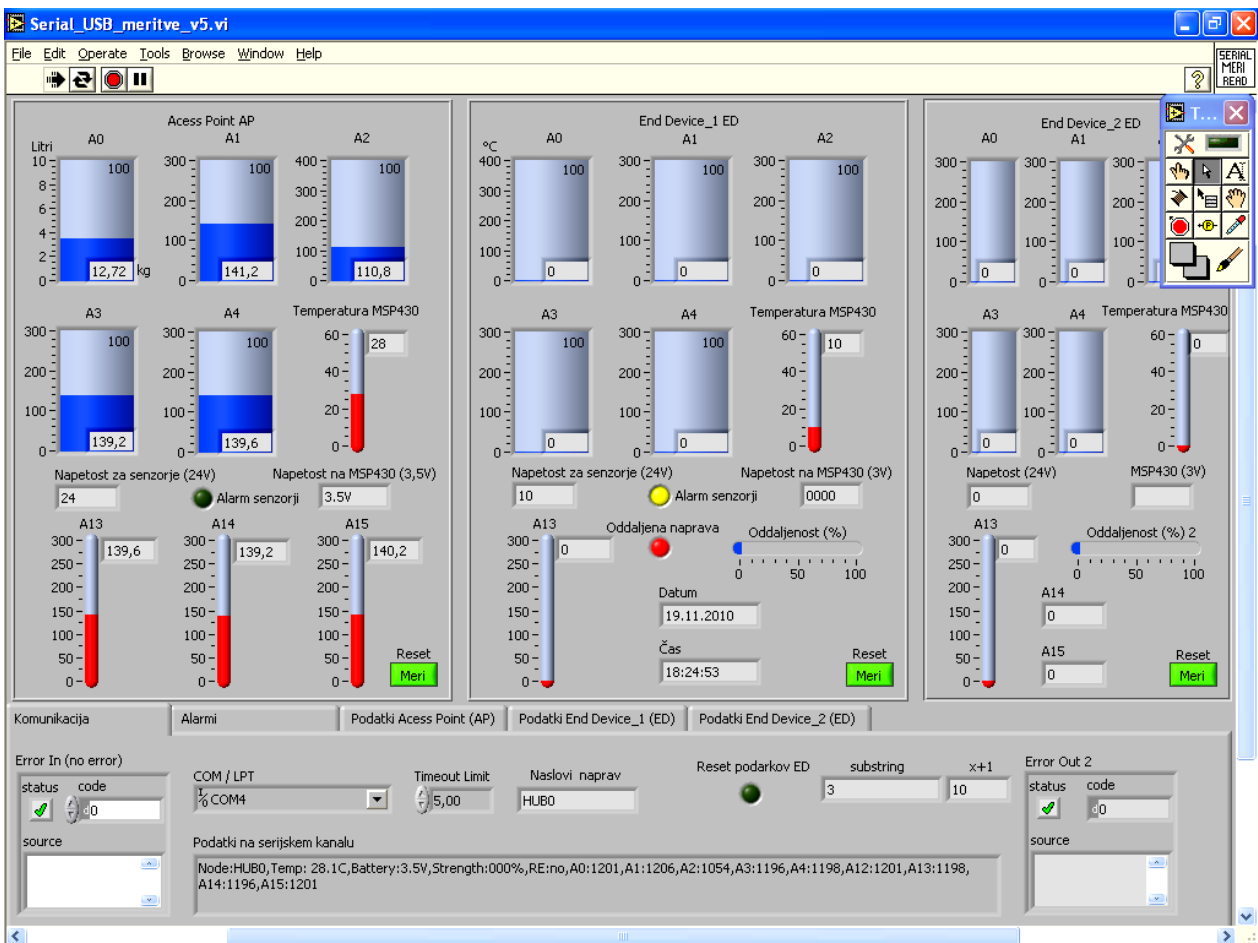
Na osebem računalniku (lahko je to tudi industrijski PC), kamor je priključen **AP** modul preko USB vodila, se izvaja **Labview** program, ki podatke ustrezno skalira (glede na priključen senzor) in jih v grafični obliki prikaže na zaslonu (slika 8). Del **Labview** programa za zajemanje in skaliranje rezultatov je prikazan na sliki 7.



Slika 6: Del programa za zajemanje podatkov na ED modulu



Slika 7: Del Labview programa za zajemanje podatkov iz ED modula



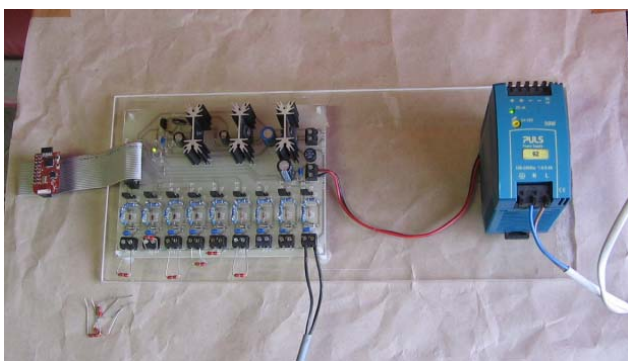
Slika 8: Prikaz uporabnikovega grafičnega vmesnika

5 Rezultati

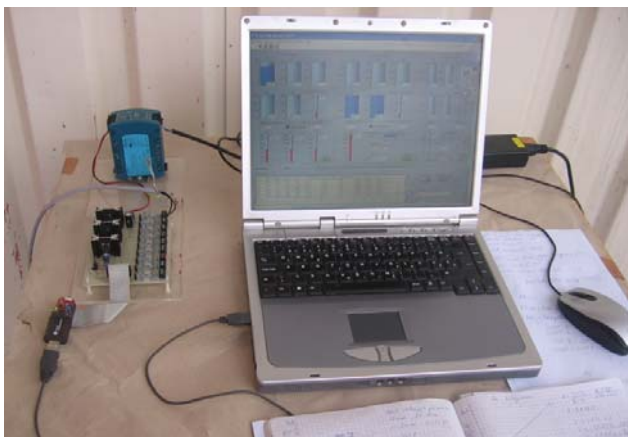
Sistem smo testirali v kotlovnici betonarne podjetja CPM d.d. iz Maribora. Na oddaljeni modul ED smo priključili senzor tlaka za merjenje nivoja tekočine (vode) in senzor temperature za merjenje na dimniškem sistemu kotla za ogrevanje vode.

Trenutni vrednosti obeh veličin sta se v intervalu 10 s sta se shranjevali v datoteko in sproti izrisovali na zaslonu.

Razdalja med ED (oddaljen sistem) in AP (vstopna točka) je bila okrog 5 m (z vmesno steno). ED modul je bil nameščen v kurilnico, ki je izvedena kot kovinski kontejner. Med delovanjem gorilnika je bil prisoten hrup, prah in povišana temperatura.



Slika 9: Prikaz uporabe ED modula



Slika 10: Prikaz priključitve AP modula

Testni izračun odtipkov ADC pretvorbe ter skaliranih vrednosti temperature in nivoja tekočine je pokazal maksimalno merilno negotovost 1,3 %, kar je zadovoljivo za uporabo v industriji za zajem fizikalnih veličin. Senzorji, uporablj-

ni v projektu so dokaj natančni $<0,25$ %. Izbrani elektronski elementi v vezju imajo odstopanja do 1 %. Vpliva motenj (električni šum, elektromagnetno valovanje) pri zajemanju fizikalnih veličin ni bilo opaziti. Pojav manjših nihanj izmerjene temperature v območju dosežene temperature je zaradi odstopanja ± 2 LSB ADC pretvorbe in merjenja v prvi četrtini merilnega območja temperaturnega senzorja.

6 Zaključek

Demonstracijski in razvojni komplet **eZ430-RF2500** smo postavili v industrijsko okolje z namenom predstaviti dobre strani brezžičnega prenosa podatkov za zajemanje fizikalnih veličin. Osnovna funkcija kompleta je (ob nizki porabi energije) zajemanje ter brezžično pošiljanje podatkov. Komplet, ki ima razmeroma nizko ceno, se je izkazal kot zadovoljliv.

Izvedli smo zajem analognih veličin, pretvorbo z ADC10 pretvornikom, brezžični prenos podatkov in prikaz v grafični obliki na zaslonu osebnega računalnika.

V obravnavanem zgledu so bili uporabljeni industrijski senzorji (z analognim tokovnim izhodom 4-20 mA). Z mikrokrmilnikom **MSP430** bi lahko zajemali tudi podatke iz senzorjev z digitalnim priklopom (npr. IIC, SPI, CAN komunikacijskim vmesnikom).

7 Literatura

- [1] J. Luecke, Analog and Digital Circuits for Electronic Control System Application, Elsevier Science (USA), 2004
- [2] C. Nagy, Embedded System Design Using the TI MSP430 series, Elsevier Science (USA), 2003.
- [3] J. Pogorelc, N. Otorepec, Mikrokrmilniki Texas Instruments MSP430 v avtomatiki, AIG konferenca, 2007
- [4] Texas instruments, <http://focus.ti.com/mcu/>, Navodila proizvajalca za MSP430F2274
- [5] Texas Instruments <http://focus.ti.com/mcu/>, MSP430F22x4 Code Example
- [6] Texas Instruments, <http://focus.ti.com/mcu/>, SimpliCI TI Network Protocol