

Avtomatska procedura za prilagoditev (kompenzacijo) temperaturnega senzorja v mikrokrmilnikih družine STM32F10x

Iztok Blazinšek, Saša Klampfer, Amor Chowdhury
Margento R&D d.o.o., Gosposvetska cesta 84, 2000 Maribor, Slovenija
iztok.blazinsek@margento.com, sasa.klampfer@margento.com,
amor.chowdhury@margento.com

Automatic adjustment for temperature sensor embedded in STM32F10x series microcontroller

Nowadays many of embedded electronic devices need for proper operation the accurately measured environmental temperature. The temperature is then being used to ensure proper operation of the devices (detection of overheating,) or as a basis for the adjustments or calibrations of various temperature-dependent elements. Many embedded devices for this purpose already offer embedded temperature sensor. In this paper we examine one such system based on the STM32F103 series microcontroller. The microcontroller already features embedded temperature sensor, however the captured temperature readings vary from chip to chip. We will analyze the issue and try to develop the adjustment (calibration) procedure to eliminate this issue. At the final step we will propose an automatic procedure, which will ensure the sensor is being adjusted (calibrated) properly at the production time.

Kratek pregled prispevka

Dandanes vse več elektronskih naprav potrebuje za pravilno delovanje natančno izmerjeno zunanjo temperaturo. Vrednost izmerjene temperature se lahko uporablja za zagotavljanje pravilnega delovanja naprave (npr. zaznavanje pregrevanja,) ali kot osnova za prilagoditve ali kalibracije različnih temperaturno občutljivih sistemov (npr. kalibracija kristalnih oscilatorjev). V tem prispevku je analiziran sistem, katerega jedro predstavlja STM32F103 mikrokrmilnik. Slednji že vsebuje notranje temperaturno tipalo, problem pa predstavlja nihanje temperature. Ta problem si podrobneje ogledamo, ga analiziramo in razvijemo prilagoditveno (kalibracijsko) proceduro za odpravo omenjenega problema. V zaključku dela je še dodatno predlagana procedura pravilne prilagoditve tipala tekom postopka produkcije končnega produkta.

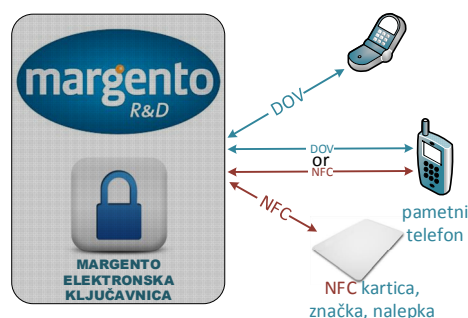
1 Uvod

Dandanes veliko naprav potrebuje za pravilno delovanje natančno merjenje temperature. Vrednost meritve je uporabljena za krmiljenje in regulacijo različnih delov naprav, preprečevanja delovanja izven definiranih parametrov, kot osnova za izvajanje prilagoditev oz. kalibracijo naprav in/ali sistemov ipd. Temperatura se pridobi s pomočjo zunanega ali notranjega temperaturnega tipala. V postopku reševanja omenjene problematike se posvetimo eni izmed takšnih naprav, ki ima vgrajeno temperaturno tipalo. Problematika, s katero se soočamo, je sledeča; proizvajalec navaja, da lahko zaradi postopka produkcije od produkta do produkta prihaja do odstopanj meritev temperature v rangu do 45 °C [1]. V tem delu želimo preveriti ali so meritve zajete z vgrajenim tipalom lahko uporabne.

V sklopu drugega poglavja je predstavljena naprava, ki predstavlja osnovo za izvedbo študije. Tretje poglavje kratko predstavlja testno okolje za preverjanje natančnosti delovanja vgrajenega temperaturnega tipala. Četrto poglavje predstavlja in povzema množico izvedenih meritev in njihovo analizo, medtem ko peto poglavje zajema predlagano metodo za avtomatično prilagajanje vključno s postopkom verifikacije. Šesto poglavje podaja predlog avtomatske procedure prilagajanja (kalibracije) temperaturnega tipala v procesu produkcije. V sklepnem poglavju pa so podane zaključne misli.

2 Naprava - Margento elektronska ključavnica

Naprava, na osnovi katere se izvaja študija, predstavlja Margento elektronska ključavnica (v nadaljevanju: naprava). Naprava preveri identiteto uporabnika in glede na uporabnikov nivo dostopa odobri ali zavrne dostop. Uporabnik se lahko identificira na več različnih načinov - Slika 1:



Slika 1: Shema delovanja Margento elektronske ključavnice.

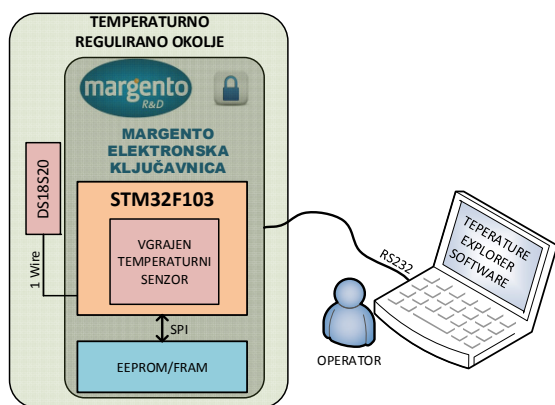
Slika 1 prikazuje dva različna načina identifikacije. Prvi temelji na tehnologiji DOV [2], drugi pa na brezstični tehnologiji NFC [3, 4]. Tehnologija DOV je primarno namenjena lastnikom starejših mobilnih telefonov, kjer uporabnik pokliče klicni center, ta pa preko zvočnega kanala posreduje kodirano sporočilo, ki vsebuje podatke identifikacije uporabnika. Drugi način je z uporabo brezstičnega vmesnika NFC. Ta lahko deluje v aktivnem ali v pasivnem načinu. V pasivnem načinu se uporabnik identificira s pasivno napravo npr. kartico oziroma značko ali nalepko NFC. V aktivnem načinu pa uporabnik uporabi aktivno napravo, ki jo navadno predstavlja pametni mobilni telefon ali druga pametna naprava, ki vsebuje brezstični vmesnik NFC z lastnim virom energije. Aktivna naprava z ustvarjanjem elektromagnetnega polja vzbudi napravo in jo postavi v stanje komunikacije. Vmesniki NFC ima številne prednosti, med katerimi izpostavljamo hitrost, preprosto izmenjavo podatkov ter vsestransko uporabnost. Vsestranskost pride do izraza predvsem v različnih objektih, kjer se novim osebam nenehno dodeljujejo pravice za dostop do določenega območja (primer: hotel).

Izmenjanim podatkom se nato preveri pristnost in nivo dostopa. Ta se ne glede na način identifikacije vedno preveri na enak način. Naprava najprej preveri, ali je uporabnik avtoriziran za dostop do željenega območja nato pa še če je za trenutno časovno okno ta dostop odobren. Čas, na podlagi katerega se preveri časovno okno, naprava pridobi s pomočjo vgrajenega modula RTC [5]. Natančnost modula

RTC je v največji meri odvisna od kristala [5], ki ta modul poganja. Frekvenca kristalov se spreminja s temperaturo okolja. Z uporabo temperaturne kompenzacije se lahko kompenzira drsenje frekvence kristala. Ta pa se na napravi izvaja na osnovi meritev temperature zajete na vgrajenem tipalu (STM32F103 [1, 6]). Natančnost merjenja temperature je tako kritičnega pomena za pravilno delovanje naprave.

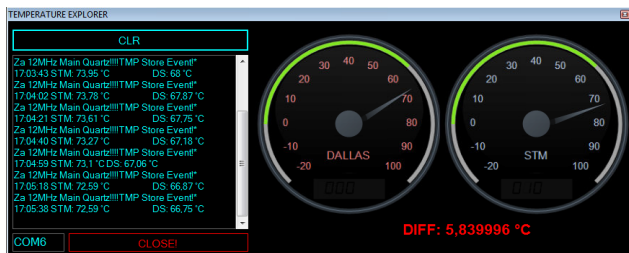
3 Implementacija testnega okolja

Testno okolje je implementirano s temperaturno reguliranim okoljem, testnega primerka naprave, zunanega referenčnega temperaturnega tipala (DS18S20 [7]) in programa »Temperature Explorer« - Slika 2:



Slika 2: Shema testnega okolja.

Na testni napravi teče program, ki na vsako vnaprej določeno časovno periodo zajame trenutno temperaturo s pomočjo vgrajenega in zunanega temperaturnega tipala. Vrednost se najprej shrani na trajni spomin (eeprom/ram) nato pa se pošlje preko serijskega vmesnika RS232 še v pogled operaterju testa. Za prikaz rezultatov se uporablja programsko okolje [8, 9] »Temperature Explorer« - Slika 3:



Slika 3: »Temperature Explorer«.

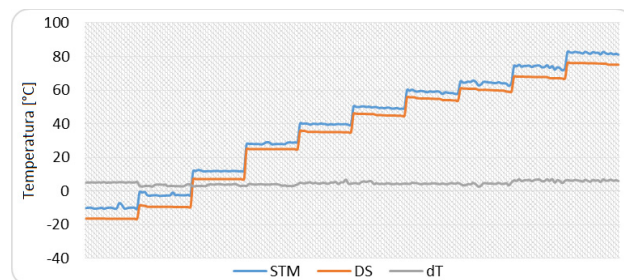
»Temperature Explorer« istočasno prikazuje vrednosti obeh tipal in njuno medsebojno odstopanje, omogoča pa tudi izvoz rezultatov.

4 Meritve in analiza

Meritve so izvedene v dveh korakih. Prvi korak je namenjen preverjanju stabilnosti odstopanja temperature pri različnih temperaturah, drugi pa preverjanju nihanju napake pri naključno izbranih vzorcih

4.1 Preverjanje stabilnosti odstopanja

Čprav lahko absolutna vrednost temperature odstopa tudi do 45 °C [1] proizvajalec trdi, da stabilnost odstopanja naj ne bi presegala območja ± 1 °C (maksimalno ± 2 °C) [6]. Dodatno je potrebno upoštevati točnost referenčnega tipala $\pm 0,5$ °C [7]. V prvem koraku s pomočjo meritev preverimo ali je odstopanje temperature od referenčne v različnih merilnih točkah konstantno. Rezultate podaja slika 4:



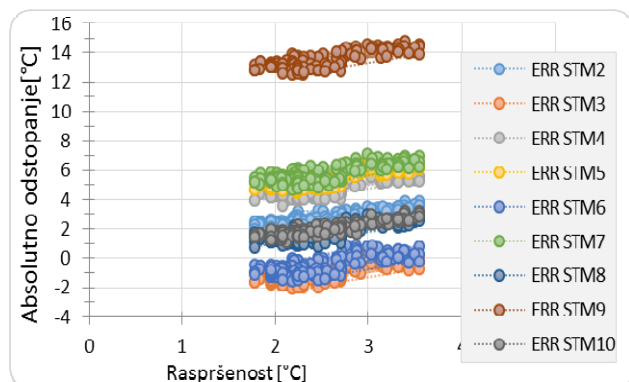
Slika 4: Preverjane stabilnosti odstopanja.

Prikazani rezultati na sliki 4 potrjujejo, da je stabilnost odstopanja konstantna in v skladu s podanimi specifikacijami proizvajalca. Uporaba referenčnega temperaturnega tipala omogoča izračun natančne razlike med temperaturo vgrajenega in referenčnega tipala. Ta razlika pa je potem lahko uporabljena kot osnova za kompenzacijo meritev temperature na vgrajenem tipalu.

4.2 Preverjanje odstopanja med različnimi napravami

Naslednji korak je preverjanje, kako se odstopanje temperature spreminja na več naključno izbranih napravah. V ta namen se iz

serije naključno izbere 10 naprav, ki služijo kot testiranci. Rezultate testa ponazarja Slika 5:



Slika 5: Rezultati preverjanja odstopanja na različnih napravah.

Rezultati kažejo, da prihaja do večjih nihanj med naključno izbranimi testnimi primerki. Univerzalna prilagoditev je tako neuporabna. V takšnem primeru mora biti prilagoditev izvedena na vsaki napravi posebej.

5 Prilagoditev (kalibracija)

Glede na zadnjo ugotovitev predhodnega poglavja je potrebna prilagoditev vsake napravo posebej. Da so doseženi boljši rezultati, so trije naključno izbrane naprave opremljene z lastnim zunanjim temperaturnim tipalom. Ponovno se izvedejo meritve odstopanja. Rezultate podaja Tabela 1:

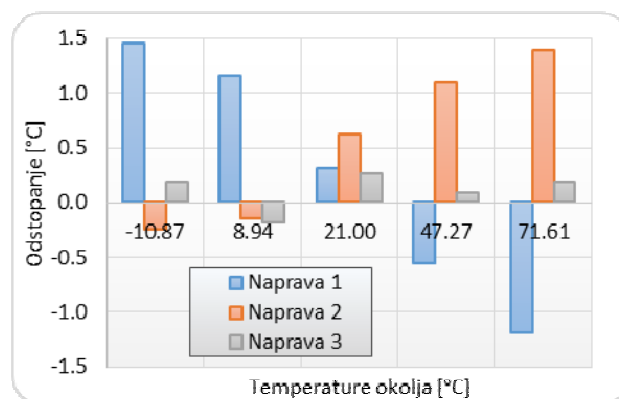
Tabela 1: Rezultati meritev.

T [°C]	$\Delta T_{\text{naprava 1}}$ [°C]	$\Delta T_{\text{naprava 2}}$ [°C]	$\Delta T_{\text{naprava 3}}$ [°C]
-17,68	8,17	-2,49	-0,37
-10,47	7,60	-1,60	-0,82
8,23	7,47	-1,73	-1,09
19,55	6,76	-0,67	-0,49
35,07	5,89	-0,53	-0,67
41,26	5,68	-0,35	-0,77
52,98	5,17	-0,34	-0,93
63,84	4,81	-0,06	-0,95
72,96	4,48	0,03	-1,02
Prilagoditev T_p :	-6,33	+1,23	+0,73
Pričakovan ΔT:	$\pm 1,85$	$\pm 1,26$	$\pm 0,36$

Vrednost prilagoditve T_p je izračunana po enačbi 1:

$$T_p = (\max(\Delta T) - \min(\Delta T)) / 2 \quad (1)$$

Vrednost T_p se izračuna za vsako napravo posebej. Glede na vrednost prilagoditve T_p lahko ocenimo, kakšno bo novo maksimalno odstopanje tipala temperature. Ta ocena se nato verificira z izvedbo nove množice meritev. Rezultate verifikacije prikazuje Slika 6:

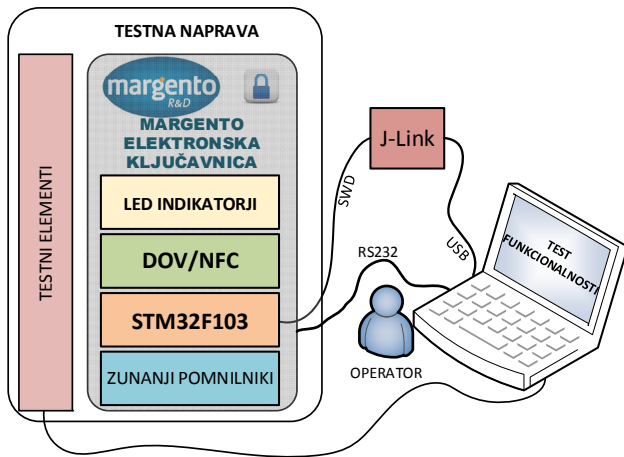


Slika 6: Rezultati verifikacije algoritma.

Rezultati verifikacije potrjujejo, da je dosežen željeni cilj – natančnost, ki jo zagotavlja proizvajalec (± 2 °C). Rezultati se skladajo z meritvami predvidenih odstopanj iz tabele 1 (potrebno je upoštevati še karakteristike referenčnega tipala), kjer ima naprava 1 največje odstopanje, in sicer $\pm 1,33$ °C, sledi ji naprava 2 z odstopanjem $\pm 0,82$ °C, ter naprava 3 z le $\pm 0,22$ °C odstopanja.

6 Predlog avtomatizacije

V procesu produkcije se naprava generalno testira preden je dokončno pripravljena za prodajo (montažo). V procesu testiranja se naprava vstavi v posebno testno ohišje, ki omogoča preverjanje vseh vidikov delovanja naprave. V ohišju se na napravo poveže razhroščevalnik/programer »J-link«, ki skrbi za programiranje mikrokontrolerja STM32F103 na napravi in vmesnik RS232, preko katerega se vodi testna procedura. Testno napravo sestavljajo tudi različni testni elementi, ki so namenjeni testiranju funkcionalnosti. Med njimi najdemo zvočnik in mikrofona za test tehnologije DOV, testni element NFC (kartica ali značka) za test brezstičnega vmesnika NFC... Shema testnega okolja predstavlja slika 7:



Slika 7: Shema testnega okolja.

Prvi korak izvedbe testa funkcionalnosti je programiranje naprave s posebej razvito programsko opremo. Ta na zahtevo operaterja preverja delovanje različnih sistemov. Ko so vsi sistemi potrjeni, se na napravo naloži končna verzija programske opreme. S tem je potrjeno brezhibno delovanje naprave. Slednjo pa se lahko pripravi za montažo.

Naš predlog zajema korak, kjer se v sklop testnih elementov doda še referenčno tipalo temperature. Test funkcionalnosti se nadgradi tako, da se pred zaključkom celotnega testa pošlje testirancu še podatke o trenutni temperaturi okolja. Potrebna je tudi nadgradnja programske opreme, ki izvaja testno proceduro na napravi. Ta se nadgradi tako, da mikrokontroler sam zajame temperaturo z vgrajenim tipalom. Temperatura se zajame večkrat s čimer se izniči vpliv naključne napake. Mikrokontroler lahko nato na podlagi povprečne vrednosti temperature, zajete z vgrajenim tipalom in temperature, pridobljene v sklopu podatkov poslanih v testni proceduri, izračuna razliko. Ta se shrani na trajni pomnilnik. Sledi posodobitev končne aplikacije. V njej se rezervira lokacija na notranjem pomnilniku, kjer je shranjena vrednost odstopanja. Aplikacija ima tako na razpolago natančno odstopanje, ki ga nato uporabi za kompenzacijo pri vsakem merjenju temperature.

7 Sklep

Prispevek predstavlja raziskavo in njene rezultate na področju stabilizacije temperaturnega senzorja vgrajenega v mikrokontroler STM32F10x. V delu smo najprej analizirali delovanje vgrajenega tipala in nato na podlagi rezultatov analize razvili postopek, ki omogoča prilagoditev (kalibracijo) tipala. Na koncu smo še predlagali proceduro avtomatskega zagotavljanja postopka kompenzacije v procesu produkcije.

Rezultati kažejo, da lahko z vgrajenim tipalom dosežemo natančnost merjenja temperature, kot jo specificira proizvajalec. Glede na končne rezultate je odstopanje v okviru $\pm 1,5$ °C. Ali je to dovolj velika preciznost pa je odvisno od namena uporabe.

8 Literatura

- [1] STMicroelectronics, *STM32F10xx reference manual*, http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/reference_manual/CD00171190.pdf, 2014.
- [2] Ultra d.o.o., *Ultra M-Pay Patent 1 and 2 (2002)*. WO 02/33669, WO 03/088165.
- [3] NFC tehnologija, http://en.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication, 2014.
- [4] Matjaž Fras, Peter Šamperl, Amor Chowdhury, *Uporaba brezkontaktnih kartic za namene brezgotovinskega plačevanja na prireditvah, ERK 2014*.
- [5] STMicroelectronics, *STM32F101xx and STM32F103xx RTC calibration*, http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/CD00167326.pdf, 2007.
- [6] STMicroelectronics, *STM32F10xx datasheet*, <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00191185.pdf>, 2014.
- [7] Maxim Integrated, *DS18S20 datasheet*, <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18S20.pdf>, 2014.
- [8] Ambalavanar Thirugnanam, Aqua Gauge, <http://www.codeproject.com/Articles/20341/Aqua-Gauge>, 2014.
- [9] Microsoft Visual studio C#, <http://www.visualstudio.com/>, 2014.