

# Digitalni navigacijski pripomoček z dolgo avtonomijo

Gregor Hudin, Boštjan Vlaovič

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko,  
Koroška cesta 46, 2000 Maribor

E-pošta: gregor.hudin@student.um.si, bostjan.vlaovic@um.si

## Digital navigation gadget with long autonomy

The article presents a multifunctional navigation gadget that is suitable for sport activities that last more than one day, such as hiking or sailing. The main aim was to prepare a DIY (Do It Yourself) student project that would not require great financial resources, but would have great autonomy and display the location of the north, an altitude, a temperature, and a time of a day. Additionally, it should be upgradable. To conserve the battery we have decided to build the user interface with the RGB diodes and one pushbutton. We have shown, that presented prototype has autonomy of more than one week with the 1000 mAh battery, if it is used every five minutes. We conclude that the project was a success, but we expose some of the shortcomings that should be overcome in the future development efforts. Additionally, we indicate some possible additions that would expand its functionalities.

## 1 Uvod

Boljša ozaveščenost o zdravstvenih težavah, ki jih povzročata sodoben življenjski slog, nas motivira k večji športni aktivnosti v naravi. Za mnoge to predstavlja tudi potreben oddih od sodobnih tehnologij, ki v pomembni meri določajo naš vsakdan.

Za navigacijo v naravi obstaja kopica naprav, od magnetnega kompasa do profesionalnih digitalnih naprav s podporo globalnemu navigacijskemu sistemu (GPS - Global Positioning System) in kartografiji [1]. Slednje zahtevajo pomemben finančni vložek, zato jih večina nadomešča s pametnim telefonom ali uro. Pri tem naletimo na težave povezane z avtonomijo delovanja, saj ob neprestani uporabi za potrebe navigacije delujejo le nekaj ur.

Zato smo v okviru študentskega projekta razvili večnamenski digitalni navigacijski pripomoček z dolgo avtonomijo, ki nudi podporo pri osnovni navigaciji v naravi in predstavlja kompromis med magnetnim kompasom in kompleksnejšimi rešitvami. Ocenjujemo, da je tovrstni pripomoček lahko zelo koristen pri aktivnostih kot je večdnevno pohodništvo brez dostopa do vira električnega toka.

Izbrane funkcionalnosti posredno določajo avtonomija delovanja. Po premisleku smo definirali naslednji prioriteten seznam zahtev:

- cenovna dostopnost,
- čim daljša avtonomija delovanja,
- prikazovanje smeri neba,
- prikaz spremembe višine,

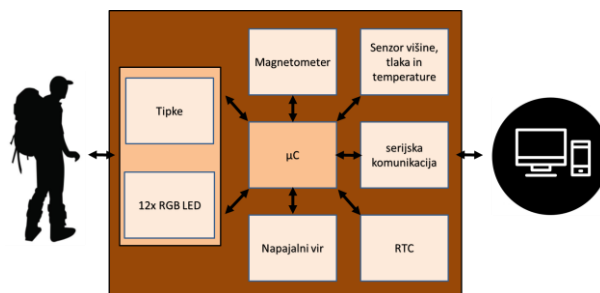
- prikaz temperature,
- prikaz časa in
- možnost nadgradnje.

Pred zasnovo prototipa smo preverili različne pristope in dobavljive komponente s posebnim poudarkom na majhni porabi energije.

V drugem poglavju predstavimo zasnovo prototipa in naredimo izbor strojne opreme. V tretjem poglavju opišemo razvito programsko opremo. V četrtem poglavju komentiramo doseženo avtonomijo delovanja in podamo predloge za izboljšave.

## 2 Zasnova prototipa

Prototip vključuje sedem sklopov: mikrokrmilnik, magnetometer, senzor tlaka in temperature, modul za serijsko komunikacijo, uro realnega časa, preprost uporabniški vmesnik in napajalni vir (slika 1).



Slika 1: Blokovna shema sistema

Ob izbiri komponent smo dali prednost tistim z nizvim napajanjem 3,3 V. Jedro prototipa je 8-bitni mikrokrmilnik ATmega328P-AUR [2], ki z razvito programsko opremo zagotavlja željene funkcionalnosti. Pri napajalni napetosti 3,3 V in taktu 16 MHz mikrokrmilnik v aktivnem stanju porabi 8 mA toka.

Z magnetometrom HMC5883L [3] merimo magnetne silnice v vseh treh oseh z 12-bitno natančnostjo in časovno razločljivostjo 20 meritev v sekundi. Komunikacija z mikrokrmilnikom poteka preko vodila I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit). Magnetometer ima v merilnem načinu porabo 100 µA, v mirovanju pa le 2 µA.

Merjenje višine, tlaka in temperature izvajamo z piezoresistivnim senzorjem tlaka MPL3115A2 [4] z 20-bitno natančnostjo in merilnim območjem od 20 kPa do 110 kPa absolutne vrednosti tlaka. Podatke merimo 166-krat na sekundo, kar je največja podprta hitrost. Komunikacija poteka preko vodila I<sup>2</sup>C. Integrirano vezje vključuje tudi 12-bitni temperaturni senzor z merilnim območjem med -40 in 85 °C Na osnovi spremembe tlaka lahko, ob nespremenjenih vremenskih pogojih, me-

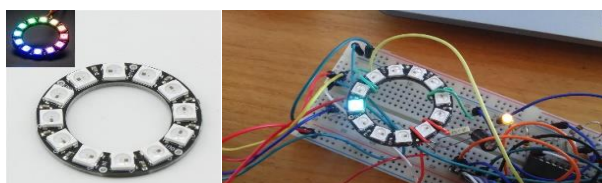
rimo spremembo višine. Pred tem je potrebno pri trenutnem tlaku izvesti nastavitve izhodiščne višine. Vertikalna razločljivost izračunane višinske spremembe je 10 centimetrov. Ob primerni programski podpori se senzor lahko uporabi tudi kot znanilec vremenskih sprememb. Slednje je še posebno uporabno ob uporabi na konstantni nadmorski višini, recimo na barki. Ob izvajanju ene meritve na sekundo, je tipična poraba senzorja 40  $\mu$ A.

Modul za uro realnega časa (RTC - Real-time clock) smo izvedli z modulom MCP79402 [5], ki zagotavlja podatke o letu, mesecu, dnevu, uri, minuti in sekundi. Meritve smo izvajali intervalno vsako sekundo preko komunikacije I<sup>2</sup>C. Tipična poraba pri napajanju 3,3 V je 1,4  $\mu$ A. RTC ima rezervno baterijsko napajanje na katero preklopi ob izpadu primarnega napajanja. Ker nastavitve hrani v internem pomnilniku SRAM (Static Random Access Memory) se s tem prepreči izguba podatkov o realnem času. V tem režimu RTC sklop porabi samo 925 nA.

Za serijsko povezavo z računalnikom smo izbrali pretvornik iz USB (Universal Serial Bus) na UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter), ki smo ga vgradili v sam pripomoček. Uporabili smo pretvornik FT230X [6] podjetja FTDI, ki omogoča asinhrono in sinhrono komunikacijo ter simbolne hitrosti do 3 Mbaud/s. S porabo do 8 mA je primerjalno tudi energijsko učinkovit. Komunikacijo smo izvedli pri 9600 baud/s. Serijska komunikacija z računalnikom lahko uporabimo za lažjo nastavitve parametrov, za prenos izmerjenih podatkov na osebni računalnik in pri razhroščevanju programske opreme.

Uporabniški vmesnik sestoji iz barvnih (RGB – Red Green Blue) svetlečih diod (LED - Light-Emitting Diode) in ene same tipke. Uporabili smo dvanajst integriranih barvnih svetlečih diod WS2812B [7] (slika 2). Ta preprost vmesnik v osnovni različici omogoča prikaz smeri neba le z 30° natančnostjo, ki pa se lahko programsko poveča do omejitev magnetometra. Posamezna dioda porablja pri srednji svetlosti 20 mA.

Konstantno napajalno napetost smo zagotovili z zapornim (Buck-Boost) pretvornikom TPS63001DRCT podjetja Texas Instruments [8]. Pretvornik zagotavlja izbrano napajalno napetost ob baterijskem viru z napetostjo med 1,8 in 5,5 V. Pretvornik je primeren za dve ali tri baterije tipov NiCd in NiMH ali za eno baterijo tipa LiPo in porabo, ki ne preseže 1,2 A. Pretvornik za lastno delovanje porabi do 50  $\mu$ A toka.



Slika 2: Primer uporabljenih 12 RGB LED

Zasnovan prototip digitalnega navigacijskega pripomočka izpolnjuje vse podane zahteve. Prototip napajajo tri AAA baterije, ki se lahko preprosto zamenjajo.

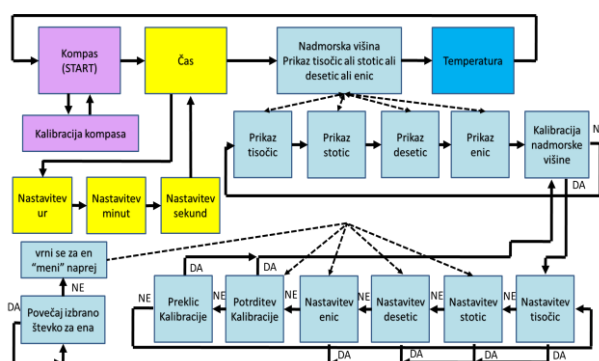
Na osnovi opravljenih meritev ocenjujemo, da lahko ob intervalni uporabi dosežemo avtonomijo enega tedna.

Možnost nadgradnje omogoča razvoj dodatnih specifičnih funkcionalnosti, na primer, hitrost spreminjanja tlaka, ob primerni namestitvi pa tudi povprečni kurz. Slednje bi na jadrnici omogočilo sklepanje o spremembi smeri vetra, kar bi se lahko, ob primerni nadgradnji, tudi prikazovalo uporabniku. Pripomoček podpira tudi serijsko povezavo z osebnim računalnikom, kar dodatno razširi možnosti uporabe.

### 3 Programska oprema

Za razvoj programske opreme v jeziku C smo uporabili razvojno orodje Atmel Studio 6.0. Prenos objektne kode smo izvedli s programatorjem AVR-ISP-MK2 [9], ki podpira programiranje 8-bitnih mikrokrmilnikov preko vodila ISP (In-System Programming). Programator ne omogoča razhroščevanja, zato smo ob iskanju težav uporabili serijsko komunikacijo.

Programsko kodo delimo v štiri vsebinske sklope, ki so na sliki 3 prikazani v različnih barvah. Za prehode med sklopi in podmeniji je predvidena zgolj ena tipka. Ob pritisku na tipko programsko zaznavamo tri različne izbire: kratek dotik, dolg dotik in zelo dolg dotik. Prototip vključuje dodatno tipko, ki nam omogoča ponovni zagon in s tem povrnitev v izhodišče.



Slika 3: Blokovna shema zasnove programa

#### 3.1 Magnetometer

Pred uporabo je potrebno magnetometer kalibrirati. Ta se izvede v prvem sklopu, kjer se izvaja posebna procedura računanja zamika (offset) glede na središče x, y in z osi, saj je ta odvisen od točne lokacije na tiskani. Merjenje zamika izvajamo tako da iščemo največje in najmanjše vrednosti izmerjenih podatkov.

Digitalno razločljivost magnetometra (mG/LSb) določa ojačanje. V specifikacijah [3] je priporočljivo izbrati manjše ojačanje, saj lahko pride magnetometer v nasičenje, zaradi prevelike poljske jakosti, zato smo se odločili za dinamično območje  $\pm 1,9$  Ga, čemur pripada faktor ojačanja 1,22 mG/LSb. Odčitane surove podatke pomnožimo z izbranim faktorjem ojačanja in izračunano napako meritve (1). V nadaljevanju računanja napake je

potrebno v enačbi (1) upoštevati, da še napake ne poznamo, zato jo zanemarimo oz. ji določimo vrednost 1.

$$data_{out} = data_{out\_raw} \cdot gain_{faktor} \cdot gain_{error} \quad (1)$$

Izračun vpliva napake ojačanja podajajo enačbe od (2) do (5) [3]. Pri tem je potrebno nastaviti način merjenja na »Positive\_Bias\_Mode« za »gain error+« in »Negative\_Bias\_Mode« za »gain error-«. Pozitivni in negativni »Bias« način nam omogoča ustvariti umetno magnetno polje, preko katerega lahko izračunamo napako neodvisno od zemeljskih magnetnih silnic. Konstanto »XY excitation« smo s pomočjo poskušanja večkratnih različnih vrednosti merili ter ugotovili primerno vrednost 1820, ki zagotavlja dober izračun ojačevalne napake.

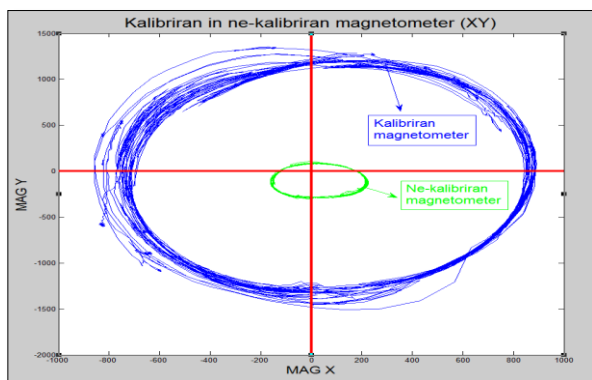
$$data_{outCAL\pm} = data_{out} \cdot gain_{faktor} \quad (2)$$

$$gain_{error+} = \frac{XY_{excitation}}{data_{outCAL+}} \quad (3)$$

$$gain_{error-} = \frac{XY_{excitation}}{|data_{outCAL-}|} \quad (4)$$

$$gain_{error} = \frac{gain_{error+} + gain_{error-}}{2} \quad (5)$$

Slika 4 prikazuje primerjavo nekalibriranega in kalibriranega magnetometra. Pri meritvi smo pripomoček nekajkrat zavrteli okoli svoje osi in tako pridobili vse maksimalne vrednosti v vseh smereh strani neba. Večja krožnica na sliki, ki prikazuje kalibrirane podatke magnetometra, se nahaja v izhodišču zato, ker smo izvedli postopek iskanja maksimumov in minimumov in tako ugotovili zamik od izhodišča.



Slika 4: Prikaz XY krožnice za kalibriran in ne-kalibriran magnetometer

Sledi določanje smeri severa, ki jo prikažemo z uporabo svetlečih diod. Funkcija za prikaz vključuje branje podatkov iz magnetometra ob upoštevanju faktorja ojačanja, napake in zamika. Korigirana vrednost se pretvori v stopinje s funkcijo `compas_convert_to_degrees` (slika 5). Uporabljena je kotna funkcija arkus tangens (`atan2`). Pri tem velja opozoriti, da prototip uporablja zgolj ravnino XY, zato kompas pravilno deluje le v vodoravnem položaju.

```
void compas_convert_to_degrees()
{
    degrees=0;
    if(data_x<0 && data_y==0) degrees=180;
```

```
if(data_x>0 && data_y==0) degrees=0;
if(data_x==0 && data_y<0) degrees=270;
if(data_x==0 && data_y>0) degrees=90;
if(data_x>0 && data_y>0)
    degrees=90-(atan2(data_x,data_y))*180/M_PI;
if(data_x>0 && data_y<0)
    degrees=450-(atan2(data_x,data_y))*180/M_PI;
if(data_x<0 && data_y>0)
    degrees=90-(atan2(data_x,data_y))*180/M_PI;
if(data_x<0 && data_y<0)
    degrees=90-(atan2(data_x,data_y))*180/M_PI; }
```

Slika 5: Funkcija za izračun stopinj

Določanje svetleče diode, ki jo je potrebno osveteliti za prikaz severa smo izvedli s funkcijo `compass_search_NORTH` (slika 6). Določili smo 12 različnih mej, ki pripadajo posamezni svetleči diodi. S funkcijo `RGB_setup` določimo katero svetlečo diodo je potrebno prižgati in v njej pripravimo podatke za NRZ (Non-Return-to-Zero) komunikacijo za vse diode.

```
void compass_search_NORTH()
{
    if(degrees>=345 || degrees<15) RGB_setup(4);
    else if(degrees>=315 && degrees<345) RGB_setup(5);
    else if(degrees>=285 && degrees<315) RGB_setup(6);
    else if(degrees>=255 && degrees<285) RGB_setup(7);
    else if(degrees>=225 && degrees<255) RGB_setup(8);
    else if(degrees>=195 && degrees<225) RGB_setup(9);
    else if(degrees>=165 && degrees<195) RGB_setup(10);
    else if(degrees>=135 && degrees<165) RGB_setup(11);
    else if(degrees>=105 && degrees<135) RGB_setup(12);
    else if(degrees>=75 && degrees<105) RGB_setup(1);
    else if(degrees>=45 && degrees<75) RGB_setup(2);
    else if(degrees>=15 && degrees<45) RGB_setup(3);
    compass_show_NORTH(); }
```

Slika 6: Funkcija za določitev severa

NRZ je enosmerni komunikacijski protokol, ki potrebuje zgolj eno linijo. Iz mikrokontrolerja v WS2812 RGB diodo pošljamo impulze. Daljši impulz pomeni 1, krajši pa 0. Pri daljšem impulzu imamo linijo na visokem nivoju 0,8  $\mu$ s in linijo na nizkem nivoju 0,45  $\mu$ s. Pri krajšem impulzu pa imamo linijo na visokem nivoju 0,4  $\mu$ s in linijo na nizkem nivoju 0,85  $\mu$ s. Ko pošljemo 24 impulzov oziroma bitov (G R B), smo določili barvo diode. V primeru, da imamo v kaskad vezanih več diod, lahko na primer vsem 12 diodam nastavimo barvo tako, da pošljemo 12 krat po 24 bitov (»pulzov«). Prvih 24 bitov bo predstavljalo GRB za 12. diodo, drugih 24 bitov bo za 11. diodo in tako naprej. Pri pošiljanju »pulzov« je potrebno imeti konstantno hitrost 800 kHz oz. 1,25  $\mu$ s dolgo režo enega impulza, pri čemer lahko imamo tolerance  $\pm$  150 ns.

### 3.2 Prikaz časa

Čas se prikazuje ob preklopu v drugi sklop. Prikazujejo se samo ure, minute in sekunde, saj ocenjujemo da zadostujejo za predvideno uporabo. Sekunde in minute prikazujemo na 5 enot natančno, torej vsakih 5 sekund oz. minut. Natančnost prikaza bi lahko programsko povečala, ker pa zaradi želje po preprostem uporabniškem vmesniku, smo se odločili, da prototip tega ne vključuje. Prikaz časa je podoben analogni uri na kazalce, le da tukaj barvne svetleče diode predstavljajo kazalce. Sekunde, minute in ure prikazujemo z različnimi barvami: z rdečo, zeleno in modro barvo. Nastavitev časa lahko spremenimo z dolgim pritiskom tipke in pridemo na podmeni »Nastavitev ur«.

### 3.3 Prikaz nadmorske višine

Tudi nadmorska višina se prikazuje z uporabo svetlečih diod. Po premisleku smo se odločili za prikaz števk nadmorske višine, in sicer za tisočice, stotice, desetice in enice. Uporabnik lahko poljubno dolgo preklaplja med števki in tako odčita vrednost nadmorske višine.

Atmosferski tlak se spreminja, zato je potrebno ob danih vremenskih pogojih nastaviti trenutno višino. Na točnost meritve vplivajo tudi dnevna nihanja, zato je potrebno to vrednost obravnavati kot informativno. Daljši intervali merjenja višine do ene ure nam ne dajo pravih informacij, zato je potrebno izvajati meritve v krajših časovnih intervalih, na primer plezanje po steni, hiter spust ali dvig po hribu. V primeru nesreče, kjer bi padli v jamo, bi tako lahko hitro izvedeli globino. Potrebno je poudariti, da lahko zaznavamo izredno majhne spremembe do 10 cm natančno ob nespremenjenih vremenskih pogojih, kar je v naravi lahko zelo koristno.

### 3.4 Prikaz temperature

Prikaz temperature izvajamo z dvema števki (-40 do +85 °C), ki ju prikazujemo hkrati z dvema različnima barvama svetlečih RGB diod. To je uporabno za hitro informiranje uporabnika. Odločili smo se za prikaz desetih z rdečo barvo na levi strani kroga in enic z modro barvo na desni strani kroga RGB LED diod. Na ta način lahko prikažemo števila od 0 do 48, pri čemer se ne prekrivajo barve svetlečih diod. Trenutno prototip ne vsebuje prikaza negativnih vrednosti. Ob nadgradnji bomo to izvedli z uporabo druge barvne skupine.

## 4 Sklep

Predvidevamo, da se pripomoček ne bo uporabljal neprestano. Zato smo ob avtonomijo izračunali za dva primera: neprestano uporabo in intervalno uporabo. Pri slednji pripomoček uporabimo vsakih pet minut. Aktiven je za pet sekund, preostali čas pa je v varčevalnem načinu dela. Pri tem smo upoštevali, da je poraba toka v aktivnem stanju 50 mA, v varčevalnem načinu pa 1 mA. Na avtonomijo seveda pomembno vpliva tudi kapaciteta baterije. Pri oceni avtonomije dela smo upoštevali kapaciteto 1000 mAh. Prototip lahko neprestano deluje 19,5 ur, pri intervalni uporabi pa se avtonomija poveča na 8,5 dni.

Prototip vključuje le magnetometer. S pomočjo žiroskopa in pospeškometra bi lahko dosegli neodvisnost položaja pripomočka za pravilno prikazovanje strani neba ter omogočili dodatne funkcionalnosti, kot je prikaz naklona jadrnice. Dodatno bi se lahko prikazovala sprememba kurza, ki bi nam omogočala detekcijo spremembe v kotu plutja. Ob že predlaganem natančnejšem prikazu smeri neba se bodo, ob uporabi pripomočka, gotovo pokazale dodatne možnosti za optimizacijo prikaza in nadgradnjo funkcionalnosti.

## Literatura

- [1] B. Gavez in A. Dobovišek, Magnetno polje zemlje, UM, Fakulteta za naravoslovje in matematiko. Maribor: 2015. Dostopno na: [http://www.fizika.fnm.um.si/files/seminarji/13/magnetno\\_polje\\_zemlje.pdf](http://www.fizika.fnm.um.si/files/seminarji/13/magnetno_polje_zemlje.pdf)
- [2] ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER. Datasheet. ZDA: Atmel, 2015. Dostopno na: [http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P\\_datasheet\\_Complete.pdf](http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf)
- [3] 3-Axis Digital Compass IC HMC5883L. Datasheet. ZDA: Honeywell, 2012. Dostopno na: <https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/2150248.pdf>
- [4] Pressure Altimetry using the MPL3115A2. ZDA: Freescale Semiconductor, 2012. Dostopno na: [http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app\\_note/AN4528.pdf](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN4528.pdf)
- [5] RTC MCP79402. Datasheet. ZDA: Microchip Technology Inc., 2016. Dostopno na: <http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005009F.pdf>
- [6] FTDI FT230X (USB to BASIC UART IC). Datasheet. Velika Britanija: Future Technology Devices International Limited, 2016. Dostopno na: [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT230X.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT230X.pdf)
- [7] WS2812B Intelligent control LED integrated light source. Datasheet. Kitajska: WORLDSEMI CO., LIMITED, 2007. Dostopno na: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf>
- [8] TPS6300x Buck-Boost Converter. Datasheet. ZDA: Texas Instruments, 2015. Dostopno na: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps63002.pdf>
- [9] AVR-ISP-MK2 programmer. USER'S MANUAL. Bulgarija: OLIMEX Ltd, 2012. Dostopno na: <https://www.olimex.com/Products/AVR/Programmers/AVR-ISP-MK2/resources/AVR-ISP-MK2.pdf>