

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

VIŠINOMER S TLAČNIM SENZORJEM IN GPS MODULOM

projektna naloga pri predmetu Elektronska vezja

Avtor: Matija Podhraški
64070281
Mentor: prof. dr. Marko Topič, univ. dipl. inž. el.

Ljubljana, 9. junij 2011

Kazalo

KAZALO	3
1 UVOD	4
2 METODE MERJENJA NADMORSKE VIŠINE	4
2.1 BAROMETRIČNA METODA	4
2.2 GPS SISTEM	5
3 OPIS VEZJA	6
3.1 SENZOR IN PRETVORBA SIGNALOV	6
3.2 NAPAJANJE	8
3.3 MIKROKRMILNIK	9
3.3.1 AD pretvornik.....	9
3.3.2 Temperaturni senzor	10
3.3.3 UART prenos podatkov	11
3.4 KOMUNIKACIJA Z GPS MODULOM	11
3.5 KONČNA IZVEDBA	14
4 PREIZKUS IN ZAKLJUČKI	16
5 VIRI IN LITERATURA	19
5.1 SPLOŠNI VIRI.....	19
5.2 VIRI SLIK	19

1 Uvod

Za izdelavo take projektne naloge sem se odločil, ker se rad ukvarjam z gorskim kolesarjenjem in gorništvom, pri teh dejavnostih pa velikokrat koristi višinomer. Ko sem prvič zasledil, da prek dandanes zelo priljubljenega satelitskega navigacijskega sistema GPS ni moč pretirano natančno izmeriti nadmorske višine, sem bil dokaj presenečen. Zazdelo se mi je, da bi bilo zanimivo praktično preizkusiti, kako podobne rezultate dobimo z uporabo dveh metod merjenja nadmorske višine: z GPS sprejemnikom in s klasično barometrično metodo, ki temelji na dejstvu, da zračni tlak z višino upada.

V nadaljevanju sledita kratka opisa ene in druge metode, njima pa opis izdelave in preizkusa moje merilne naprave.

2 Metode merjenja nadmorske višine

Poleg že omenjenih metod: barometrične in GPS, obstajajo še druge. Tako je na letalih aktualna tudi radarska metoda, ki meri čas, potreben, da se do letala vrne od tal odbit elektromagnetni val, katerega prej odda oddajnik na letalu.

2.1 Barometrična metoda

Zračni tlak z naraščajočo nadmorsko višino pojema. Do približnega matematičnega modela tega pojava lahko pridemo na dokaj enostaven način.

Izračunajmo spremembo tlaka med spodnjim in vrhnjim delom tanke »rezinice« atmosfere. Tlak P je definiran kot

$$dP = \frac{dF}{A},$$

kjer je F sila na površino A . Pišemo

$$dP = -\frac{dmg}{A} = -\frac{g\rho_{zraka}Adh}{A} = -g\rho_{zraka}dh$$

in izrazimo višino

$$dh = -\frac{dP}{g\rho_{zraka}}. \quad (2.1)$$

Predpostavimo, da je zrak idealni plin in zapišemo splošni plinski zakon

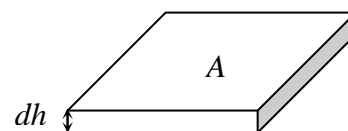
$$\rho_{zraka} = \frac{PM_{zraka}}{R_M T}, \text{ kjer je } R_M \text{ splošna plinska konstanta in } M \text{ molska masa.} \quad (2.2)$$

Združimo enačbi (2.1) in (2.2), da dobimo diferencialno enačbo z ločljivima spremenljivkama:

$$dh = -\frac{dPR_M T}{gPM_{zraka}}. \quad (2.3)$$

Spremenljivki sta že ločeni in po integraciji na obeh straneh dobimo ti. barometrično enačbo

$$h - h_0 = -\frac{R_M T}{gM_{zraka}} \ln\left(\frac{P}{P_0}\right),$$



Slika 1: k izpeljavi odvisnosti $H(p)$

ki jo preoblikujemo v končno obliko

$$h = \frac{R_M T}{g M_{zraka}} \ln \left(\frac{P_0}{P} \right) + h_0. \quad (2.4)$$

P_0 in h_0 sta referenčni vrednosti tlaka in pripadajoče nadmorske višine. Ker je zračni tlak močno odvisen od vremena (naraščanje napoveduje prihod lepega vremena, padanje pa poslabšanje), ju moramo redno in čim pogosteje popravljati. Na napravi izvedemo vnos nadmorske višine pri trenutnem tlaku z daljšim držanjem srednje tipke, nato pa z levo in desno tipko višamo ali nižamo prikazano vrednost. Spremembo potrdimo s pritiskom na srednjo tipko. Referenčni tlak in višina se zapišeta v EEPROM spomin mikrokontrolerja, ki ju ohrani tudi po izklopu napajanja.

V enačbi (2.4) je potrebno določiti še konstanto $\frac{R_M}{g M_{zraka}}$. Dobimo:

$$\frac{8,3145 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,02896 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = 29,2664 \text{ m}. \quad (2.5)$$

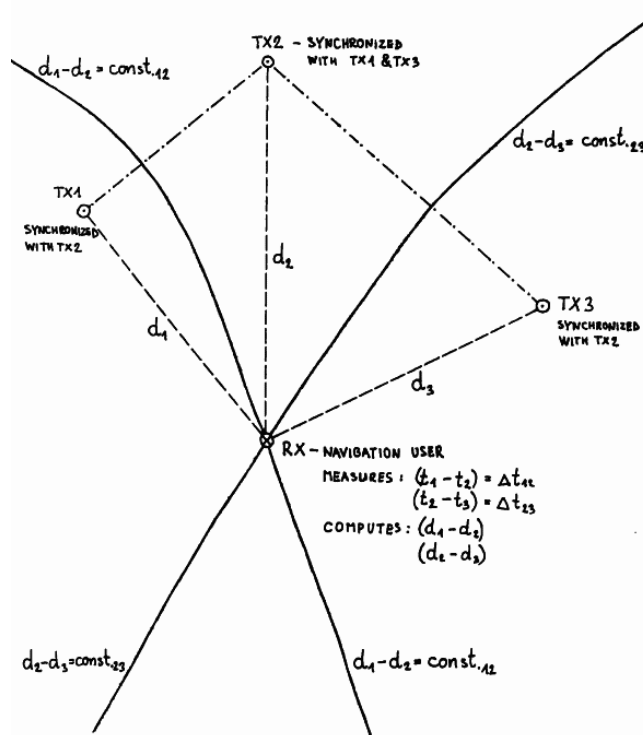
V enačbi uporabimo temperaturo T , ki jo dobimo iz vgrajenega senzorja.

2.2 GPS sistem

Čas oziroma frekvenca sta fizikalni količini, kateri je najlažje točno meriti. Ker so hitrost in druge lastnosti širjenja radijskih valov dobro znane, si lahko pri določanju položaja pomagamo z merjenjem časovnih in Dopplerjevih zamikov signalov, sprejetih iz različnih oddajnikov, če je mogoče zagotoviti sinhronizacijo ur vsaj vseh oddajnikov. V primeru GPS sistema uporabnik ne pozna natančnega časa, zato ne more izmeriti zamikov med oddajo in sprejemom. Lahko pa izmeri (če ima uro, ki je točna pri merjenju kratkih časovnih obdobij, česar pa s kvarčnim oscilatorjem ni težko zagotoviti) razmike v času prihoda signalov iz različnih oddajnikov. Razlike v časih ustrezajo razlikam v razdalji. Točke, ki vežejo mesta z enakimi razdaljami med dvema oddajnikoma, ležijo na hiperboli oziroma na površini rotacijskega hiperboloida (oddajnika pa sta v goriščih hiperbole).

Ustrezne hiperbole (površine hiperboloidov) se sekajo v točki položaja. Več oddajnikov pomeni možnost izbire med več hiperbolami, ki naj se za veliko natančnost sekajo kar se da pod pravim kotom.

Sistemi, kot so zahodni LORAN, Decca, Omega in ruska Čajka (Galeb) ter Alfa, so uporabljali zemeljske oddajnike pri dokaj nizkih frekvencah (do nekaj 100 kHz), da so dosegli



Slika 2: osnovno načelo hiperbolične navigacije

velik domet in se izognili učinkom ionosfere pri širjenju radijskih valov. Niso pa omogočali tridimenzionalnega določanja položaja. Sateliti so za navigacijske sisteme zelo primerni, saj omogočajo določitev 3D položaja kjerkoli na Zemlji, če je le mogoče zagotoviti vidnost zadostnega števila satelitov, velik domet (velika vidna linija) pa je mogoč tudi pri višjih frekvencah (prek 1 GHz), kjer spet ni močnejšega vpliva ionosfere. Vidnost satelitov s celega sveta zagotovimo z njihovim zadostnim številom in s postavitvijo v dovolj visoke orbite (za GPS naj bi zadoščalo že 24 satelitov, čeprav jih je trenutno več kot 30, krožijo pa na višini 20400 km).

Zemeljske postaje skrbijo za občasno sinhronizacijo ur in izračunavajo parametre njihovih tirnic, ki jih nato sateliti oddajajo GPS sprejemnikom. Vsak satelit nosi cezijevo atomsko uro, točnost katere je med 10^{-12} in 10^{-13} , za rezervo pa ima še manj natančno rubidijevo.

Za določitev 3D položaja sprejemniki potrebujejo vsaj štiri satelite, za 2D pa bi teoretično zadoščali trije. Na ta način zmanjšajo napako, ki je pri posameznem satelitu dokaj velika.

3 Opis vezja

3.1 Senzor in pretvorba signalov

Uporabljeni senzor proizvajalca Freescale MPXA6115C6U ima merilni razpon od 15 do 115 kPa, kar ustreza napetostim 0,2 V – 4,5 V pri napajalni napetosti 5 V. Izhod iz sensorja je najprej vezan prek napetostnega sledilnika, narejenega z operacijskim ojačevalnikom INA333.

Z barometrično enačbo ugotovimo, da za nas zanimive vrednosti leže na intervalu od 55 kPa do 105 kPa, kar ustreza višinam približno od 5000 m do 0 m. Prenosna funkcija sensorja, ki iz izhodne napetosti V_{out} izračuna tlak, se glasi:

$$P = \frac{1000V_{out} + 475}{45} \quad (3.1)$$

Iz nje ugotovimo, da nas zanima napetostni interval 2 V – 4,25 V. Glede na to, da ima AD pretvornik izbranega mikrokrmilnika le 10 bitov ločljivosti (1024 različnih vrednosti), je očitno, da bi v primeru, če ne bi izhodnega napetostnega intervala linearno transformirali, ne mogli preseči 10 m ločljivosti pri merjenju višine, pa čeprav vse ostale dejavnike, ki vplivajo nanjo, zanemarimo.

Zato sem se odločil merilni interval razdeliti na dva podintervala in vsakega od njih raztegniti na polno merilno območje AD pretvornika: 0 V – 5 V (napajalna napetost). To sem prav tako izvedel z operacijskimi ojačevalniki INA333 proizvajalca Texas Instruments, ki sem jih dobil kot vzorce.

Vsekakor bi prišel do natančnejših merilnih rezultatov, če bi uporabil katerega izmed 14- ali celo 16-bitnih AD pretvornikov na serijskem vodilu, ki jih danes že kar mrgoli in so dosegljivi za malo denarja. Vezje bi bilo tudi precej enostavnejše, saj ne bi več potrebovalo nobene preslikave napetosti. Za takšen pristop sem se odločil predvsem zato, ker sem imel vse ključne dele že doma, po dosedanjih izkušnjah pa se utegne dobava zavleči ravno takrat, ko se mudi. Poleg tega pa sem pridobil tudi nekaj novih izkušenj pri načrtovanju vezij z operacijskimi ojačevalniki.

Vrnimo se k uporabljenemu ojačevalniku INA333. Model je malošumen, ima majhno ničelno (*offset*) napetost in izhode »do roba« (*rail-to-rail*).

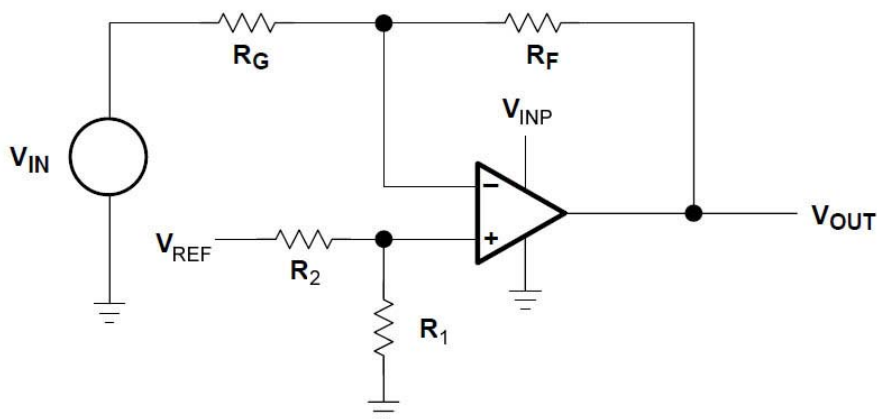
Izbral sem naslednja podintervala:

	1.	2.
Napetosti [V]	2 – 3,35	2,9 – 4,25
Tlaki [kPa]	55 – 85	75 – 105

Tabela 1: intervala merjenja

Intervala se v sredini prekrivata zaradi predvidevane nelinearnosti proti koncu dosega ojačevalnika ter zaradi toleranc elementov.

Za želeno preslikavo je potrebno od izhodne napetosti senzorja V_{out} odšteti neko konstantno vrednost in nato vse skupaj primerno ojačati. Uporabimo običajno vezje diferencialnega ojačevalnika. Uporovni delilnik, ki določa konstantno vrednost odštevane napetosti, moramo vezati na neinvertirajočo vhodno sponko, da povratna vezava ne vpliva na vrednost napetostne reference. kar pa se v praksi ne izkaže za ravno dobro rešitev, če za vir napetosti V_1 , ki pomeni konstanto, katero odštevamo, ne nameravamo uporabiti nekega reguliranega podvezja, temveč bi raje imeli preprostejši uporovni delilnik. Ta sponka je namreč zvezana s povratno vezavo in tako napetost iz izhoda uporovnega delilnika V_1 ne more biti neodvisna od vhodne napetosti operacijskega ojačevalnika, ki prihaja na sponko V_2 .



Slika 3: uporabljena vezava operacijskega ojačevalnika

Prenosna funkcija takega vezja je

$$V_{out} = -V_{in} \left(\frac{R_F}{R_G} \right) + V_{ref} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_F + R_G}{R_G} \right). \quad (3.2)$$

Funkcija je linearna, torej oblike $V_{out} = -aV_{in} + b$.

Potrebne vrednosti uporov najlaže dobimo prek funkcijskih vrednosti v začetnih in končnih točkah intervalov.

Ojačenje a je za oba intervala konstantno, saj sta enako široka.

Računamo:

$$a = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = \frac{5 \text{ V} - 0 \text{ V}}{3,35 \text{ V} - 2 \text{ V}} = 3,7037$$

Za prvi interval dobimo:

$$V_{out} = 0 \text{ V}$$

$$V_{in} = 3,35 \text{ V}$$

$$0 \text{ V} = -a \cdot 3,35 \text{ V} + b$$

$$b = a \cdot 3,35 \text{ V} = 12,4074$$

Za drugega pa:

$$V_{out} = 0 \text{ V}$$

$$V_{in} = 4,25 \text{ V}$$

$$0 \text{ V} = -a \cdot 4,25 \text{ V} + b$$

$$b = a \cdot 4,25 \text{ V} = 15,7407$$

Linearni funkciji, prek katerih določimo vrednosti uporov za prvi in drugi operacijski ojačevalnik, sta torej:

$$V_{out1} = -3,7037V_{in} + 12,4074 \quad (3.3)$$

in

$$V_{out2} = -3,7037V_{in} + 15,7407 \quad (3.4)$$

Iz izračunanih funkcij lahko prek primerjave njunih koeficientov a in b z enačbo (3.2) enostavno dobimo vrednosti uporov za nastavitvev operacijskega ojačevalnika. Pomagal sem si s programčkom ResCalc, ki zna preračunavati uporovne delilnike tako, da sam poišče vrednosti uporov, ki prinašajo najmanjšo napako v okviru izbrane Renardove lestvice.

Uporabil sem upore lestvice E24, torej s toleranco 5%. Smiselno bi bilo izbrati točnejšo lestvico, vendar mi v času izdelave ni bila enostavno dostopna. Tako sem uporabil najboljše vrednosti, ki sem jih imel na voljo, dejansko prenosno funkcijo za uporabo v programu pa sem določil šele naknadno prek meritev izhoda AD pretvornika na sami napravi.

Točka preklopa, ki odloči, kateri izmerek bomo uporabili, je nastavljena na 76 kPa.

3.2 Napajanje

Odločil sem se za uporabo baterijskega napajanja. Ker potrebujemo 5 V napajalne napetosti, so logična izbira 4 AA baterije. Njihovo napetost nadalje regulirata dva regulatorja proizvajalca Texas Instruments, LP2985-A. Ta regulator je točen (1%), je malošumen ($30 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$, če na nožico BYPASS dodamo 10 nF kondenzator proti masi) in je stabilen, četudi uporabimo keramične kondenzatorje z nizkim ESR (ti so ugodni, ker učinkovito zadržijo visokofrekvenčni šum). Regulator je primeren za baterijsko napajanje, ker deluje tudi pri nizkem padcu napetosti na njem (*low-dropout*), torej majhni razliki vhodne in izhodne napetosti.

Za napajanje sem uporabil dva regulatorja, enega samo za GPS modul, drugega pa za preostalo vezje, da GPS modul, ki je večji porabnik (okrog 60 mA, ostalo vezje pa manj kot 20 mA) ne bi motil občutljive sensorike. Ugodna je tudi možnost izklopa regulatorja prek enega vhoda. Tudi zato sta napajanja ločeni.

3.3 Mikrokrmilnik

Odločil sem se za uporabo Microchipovega mikrokrmilnika iz družine PIC16. Ker sem pričakoval kar veliko porabo programskega pomnilnika in zaradi števila potrebnih vhodno/izhodnih priključkov, sem izbral PIC16F886, ki sem ga imel že doma. Ima 8 KB ROM pomnilnika in precej uporabne periferije, od katere pa sem uporabil le en časovnik, 2 kanala AD pretvornika, in enoto za asinhroni prenos podatkov – UART.

Program sem napisal v programskem jeziku C s pomočjo okolja mikroC. Kasneje se je izkazalo, da sem kljub računanju logaritmov s števili s plavajočo vejico (podatkovni tip *float*) porabil le polovico pomnilnika, tako da je prostora za nadaljnje izboljšave še dovolj. Logaritme bi bilo sicer mogoče računati tudi posebej s Taylorjevo vrsto, s tem, da bi preslikali argumente na celotno območje celoštevilskega podatkovnega tipa *int*, vendar ob obilici razpoložljivega prostora to ni bilo potrebno.

Podatke prikazuje standardni LCD zaslon (krmilnik HD44780), krmiljen 4-bitno.

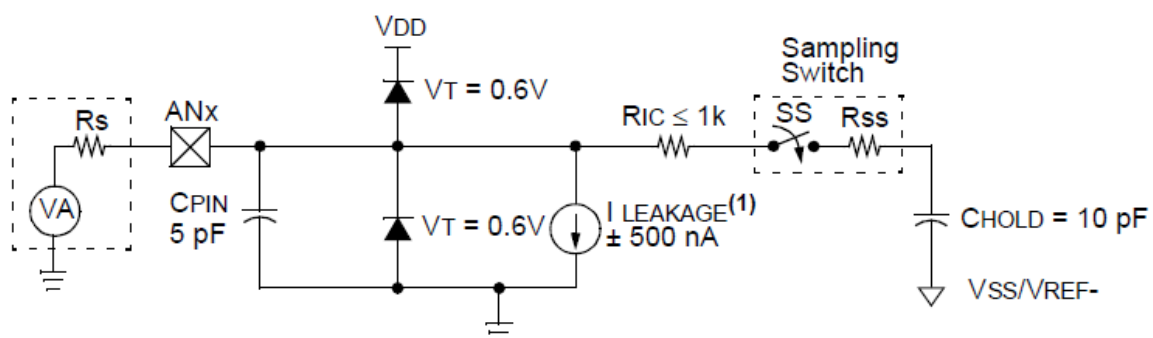
Uporabnik nastavlja napravo prek treh tipk. Nastavljena vrednost referenčne višine se skupaj s pripadajočim tlakom zapiše v EEPROM pomnilnik, vgrajen v mikrokrmilniku, ki vsebino zadrži tudi po izklopu napajanja. Funkcija za kalibracijo je napisana tako, da števec šteje hitreje (po 10 m naenkrat), ko tipko za nastavljanje držimo dalj časa.

GPS modul je mogoče tudi izklopiti in sicer z daljšim pritiskom na levo tipko. Ta povzroči prehod enega izmed izhodov mikrokrmilnika, ki je povezan z vhodom ENABLE napetostnega regulatorja, na visok nivo, kar izključi regulator.

Mikrokrmilniku daje takt 8 MHz kvarčni kristal. Sicer je že v sam mikrokrmilnik vgrajen oscilator te frekvence, vendar je zaradi manjše točnosti, predvsem pa temperaturne nestabilnosti (višinomer uporabljamo v zelo različnih temperaturnih razmerah), bolje uporabiti zunanjega, še posebej, ker je asinhrona komunikacija (brez signala za urin takt) po UART protokolu kar zahtevna glede točnosti časa, še zlasti, ker poteka pri dokaj visoki bitni hitrosti.

3.3.1 AD pretvornik

10-bitni AD pretvornik v mikrokrmilniku kar močno šumi, kljub kondenzatorjem na vhodu. Spremembe izhoda se zelo močno povečajo (\pm nekaj 100 vrednosti!), če izvajamo meritve na različnih kanalih pretvornika brez vmesnega časovnega razmika, ker se tedaj zadrževalni kondenzator C_{HOLD} ne more napolniti do konca. Vmes je zato nujno potrebno počakati nekaj časa.

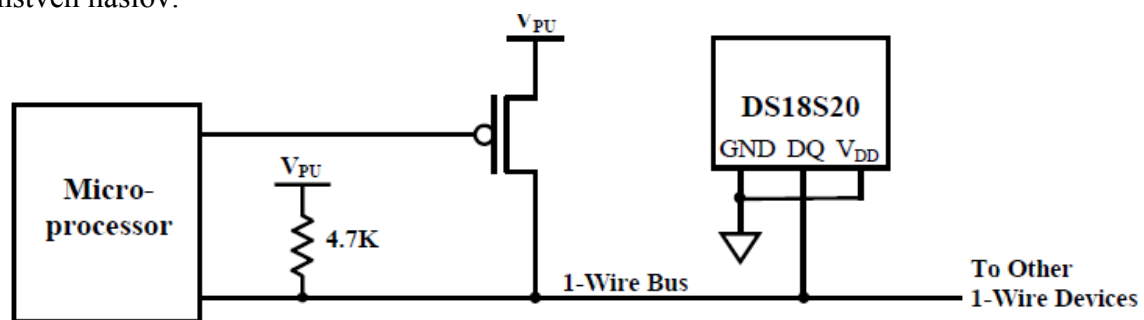


Slika 4: shema vzorčno-zadrževalnega vezja AD pretvornika

Kljub temu pa je šum rezultatov AD pretvornika še vedno močno izrazit. Proti temu se borimo z dolgotrajnim povprečenjem signala (1024 vzorcev), kar je mogoče, ker višinomer nikakor ni časovno kritična naprava.

3.3.2 Temperaturni senzor

Vezju sem naknadno dodal še temperaturni senzor proizvajalca Dallas – Maxim DS18S20, z namenom povečanja točnosti pri merjenju tlaka. Ta senzor komunicira z mikrokrmilnikom po ti. *1-wire* vodilu. Zanimiva lastnost tega vodila je, da zanj, kot pravi že njegovo ime, potrebujemo le eno oziroma dve žici (druga je masa). Naprave na njem je mogoče napajati tudi parazitno, preko podatkovne linije, vendar pa za to potrebujemo FET tranzistor, ki v času temperaturne pretvorbe potegne linijo neposredno na visok nivo – V_{SS} . Poleg tega je mogoče na vodilo priključiti več senzorjev, saj ima vsak element v spominu ROM tovarniško vpisan edinstven naslov.

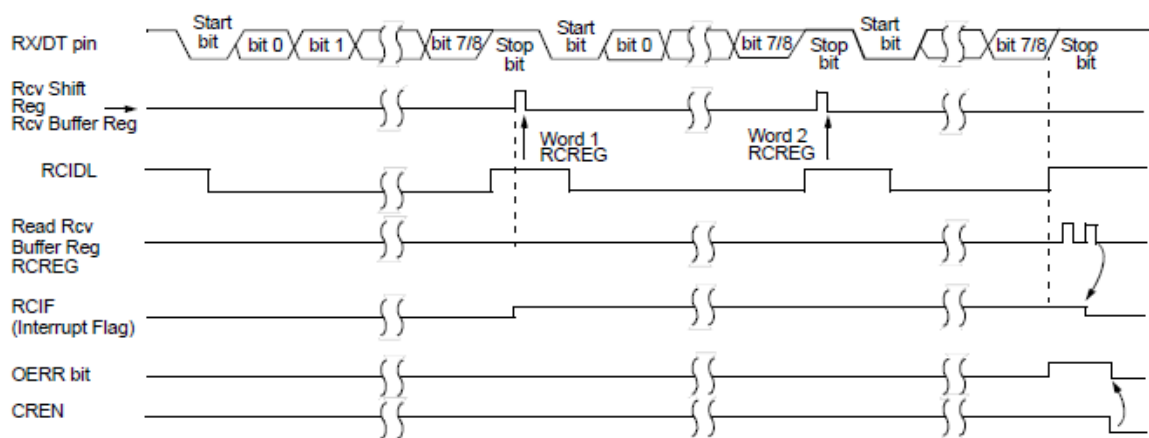


Slika 5: Parazitno napajanje *1-wire* vodila

Nobene od teh lastnosti pa v našem primeru ne potrebujemo, saj se senzor nahaja na istem vezju kot vse ostalo. Pomanjkljivost sensorja morda tiči v tem, da za pretvorbo in izračun temperature porabi kar veliko časa (do $t_{conv} = 750$ ms). Težavo sem rešil tako, da program v mikrokrmilniku sproži pretvorbo časa, nato pa ob vsaki izvedbi glavne zanke poveča števec. Ko ta doseže zadostno vrednost, program prebere pretvorjeni rezultat iz sensorja in ga izpiše na zaslon.

3.3.3 UART prenos podatkov

Sprejem podatkov prek univerzalne asinhronne serijske komunikacije (UART), kot je izvedena na uporabljenem mikrokrmilniku, prikazuje spodnja slika:



Slika 6: UART prenos

Sprejetje stop bita, ki pomeni, da je prenos enega bajta podatkov končan, postavi zastavico prekinitve RCIF. Branje registra RCREG, ki hrani sprejeti znak, povzroči, da se zastavica pobriše.

Vhodni FIFO (*first in, first out*) predpomnilnik (*buffer*) UART vhoda (RX) ima prostora za 2 sprejeta znaka. Kot je razvidno iz slike, se v primeru, da je, preden se predpomnilnik izprazni, v celoti sprejet še en znak, postavi zastavica OERR (*overflow error*), ki jo moramo nato, da lahko nadaljujemo s sprejemanjem, ročno izbrisati s postavitvijo bita CREN na nizek nivo.

Glede na to, da uporabljamo asinhroni prenos, je nujno, da ura mikrokrmilnika teče dokaj točno, saj mora ta sam izračunati, kdaj bo vzorčil stanje linije za določitev vrednosti posameznega bita. Želena hitrost po formulah iz mikrokrmilnikove dokumentacije preračunamo v vrednosti, katere nato vpišemo v registre mikrokrmilnika. Z izbranim 8 MHz kvarcem ni mogoče dobiti 0% napake bitne hitrosti. Najmanjša napaka, ki jo je mogoče doseči, je 0,16%, kar pa še ne moti in prenos podatkov deluje popolnoma zanesljivo.

Program je napisan tako, da ob sprejemu znaka tega takoj tudi pošlje prek izhoda TX mikrokrmilnika, če bi želeli podatke, ki jih oddaja GPS modul, uporabiti še v kateri drugi napravi. Obenem pa to pride prav tudi pri iskanju napak pri delovanju, kar se je izkazalo za zelo koristno.

3.4 Komunikacija z GPS modulom

Ker so GPS moduli, namenjeni nadaljnji uporabi v drugih elektronskih napravah, kar precej dragi, sem namesto njih poskusil poiskati cenejšo rešitev. Že nekoč prej sem iz Kitajske naročil USB GPS modul za računalnik in ga poskusil uporabiti v lastnem projektu. Ob priklopu sem ugotovil, da za komunikacijo prek USB-ja skrbi integrirano vezje Prolific PL2303, ki je navaden RS232 > USB pretvornik. Očitno se podatki znotraj naprave prenašajo po UART protokolu, katerega pa ni težko brati. Treba je bilo torej le še priti do teh vmesnih signalov in jih povezati na mikrokrmilnik, ki jih bo znal razbirati.

Žal pa so vsi pomembni deli vezja pod zaščitnim kovinskim pokrovom (Faradayeva kletka za blokiranje EM motenj), skozenj in skozi vso tiskanino (4-slojno) pa je priključena keramična antena. Pri razdiranju in vnovičnem sestavljanju sem poškodoval vezje in anteno, tako da ni več delovalo, vendar pa sem ugotovil, da so nožice z zanimivim UART TX (glede na GPS enoto) zlahka dostopne od zunaj. Tako sem naročil nov vmesnik in ga brez uporabe USB

priključka povezal z računalnikom, na katerem je tekel terminalski program. Uporabil sem RS232 > USB pretvornik lastne izdelave (integrirano vezje FT232RL)

Komunikacija med GPS enoto in preostankom vezja poteka pri hitrosti 38400 bps, z enako hitrostjo pa oddaja tudi RS232 > USB pretvornik. Podatek sem dobil v priloženih navodilih.

Druge nastavitve serijske komunikacije so še:

- 8 podatkovnih bitov
- brez preverjanja parnosti
- 1 stop bit
- brez rokovanja

Skratka, vse poteka dokaj preprosto.

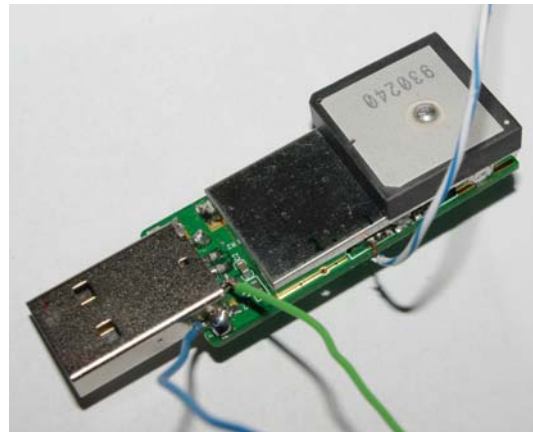
GPS enota komunicira navzven prek standardnega NMEA protokola. Tega za pošiljanje podatkov uporabljajo skoraj vse GPS naprave.

Pri razdiranju vezja sem tudi ugotovil, da ima vgrajeno baterijo. Ta služi hitrejšemu zagonu, saj glede na čas, ki je potreben za vsakega od njih, poznamo tri načine zagona GPS sprejemnikov:

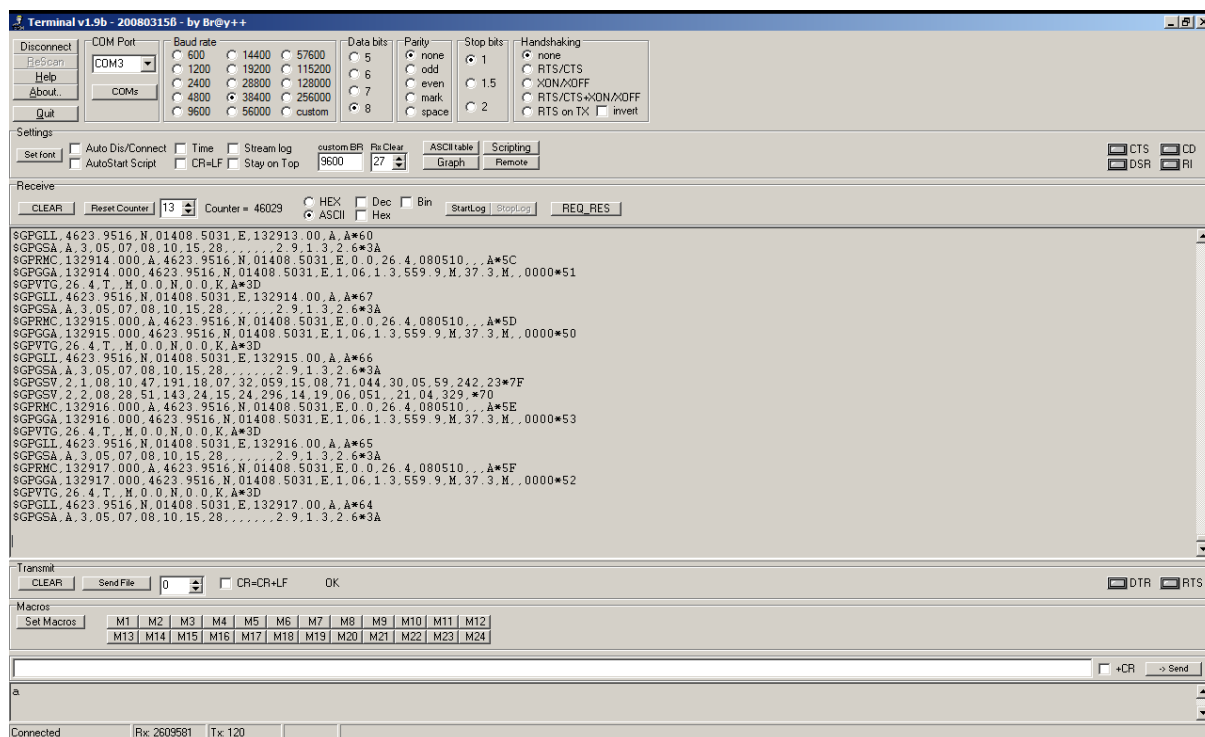
- vroč,
- topel in
- hladen.



Slika 7: neodprt in odprt USB GPS modul



GPS sateliti stalno oddajajo ti. almanah, ki vsebuje podatke o grobih orbitah vseh satelitov in točen čas. Ker se prenaša po delih, je za sprejem celotnega almanaha potrebno dobrih 12 minut. Vsak satelit pa oddaja še ti. efemeride, ki ponujajo popolne podatke o njegovem položaju za naslednjih nekaj ur in so potrebne za izračun položaja na Zemlji. Glede na to, koliko časa je minilo od zadnje točne določitve položaja (*fix*) in na to, koliko se je položaj sprejemnika spremenil od zadnjega priklopa, lahko predvidimo približen čas zagona. Omenjeni dejavniki namreč vplivajo na vidnost satelitov iz mesta sprejemnika. Če je vidno še neko število enakih satelitov, kot pri prejšnjem zagonu, je potrebno od njih dobiti manj podatkov, kar traja manj časa.



Slika 8: terminalski program in odziv GPS modula

Stavki NMEA protokola se začnejo z \$GP.

Temu sledi tričrkovna koda, ki pove, katere podatke bo sporočil modul. Primer izhoda iz uporabljenega sprejemnika:

```
$GPGLL,4623.9559,N,01408.5095,E,080156.00,A,A*64
$GPGSA,A,3,11,13,17,20,23,,,,,,,,,4.8,2.4,4.1*3A
$GPRMC,080157.000,A,4623.9559,N,01408.5095,E,0.0,0.0,070510,,,A*61
$GPGGA,080157.000,4623.9559,N,01408.5095,E,1,05,2.4,557.2,M,37.3,M,,0000*51
$GPVTG,0.0,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*0
```

Uporabljene kode:

GLL	Zemljepisna širina in dolžina, UTC čas
GSA	Režim obratovanja, uporabljeni sateliti
RMC	Čas, datum, položaj, smer, hitrost
GGA	Čas, položaj, nadmorska višina, podatki o točnosti položaja
VTG	Smer in hitrost glede na tla

Tabela 2: kode NMEA protokola

Vidimo, da nas zanima le stavek GGA. V stavkih protokola so različni podatki ločeni z vejicami, ki so vedno na enakem mestu. Do rdeče označene nadmorske višine je od začetka stavka dalje 7 vejic. Torej jih moramo le prešteti in zapisati vrednost, ki jim sledi, do naslednje vejice ali pike (decimalke zanemarimo). To storimo v prekinitveni funkciji, ki se sproži vsakič, ko naprava sprejme nov znak na vhodu. Sprejeto nadmorsko višino zapiše v spremenljivko v pomnilniku.

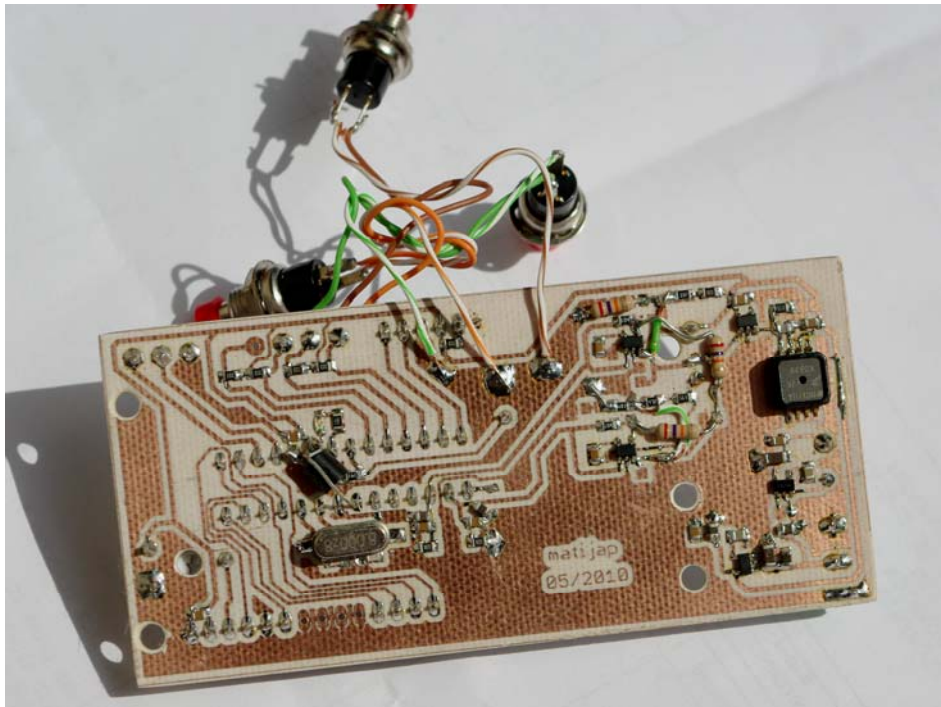
Vsi ti zlahka dosegljivi podatki pa odpirajo še mnogo možnosti uporabe. Zanimiva bi bila izdelava preprostega zapisovalnika podatkov, ki bi periodično shranjeval vzorce položaja na SD kartico. Doma bi zapise prenesli v računalnik in za zelo malo denarja bi se približali učinkovitosti podobnih naprav, ki jih lahko najdemo na trgu. Napravo bi lahko povezali tudi

s starim mobilnim telefonom in jo montirali v avtomobil. V primeru, da bi nam avto ukradli, bi lahko prek SMS sporočila sprožili pošiljanje podatkov o položaju.

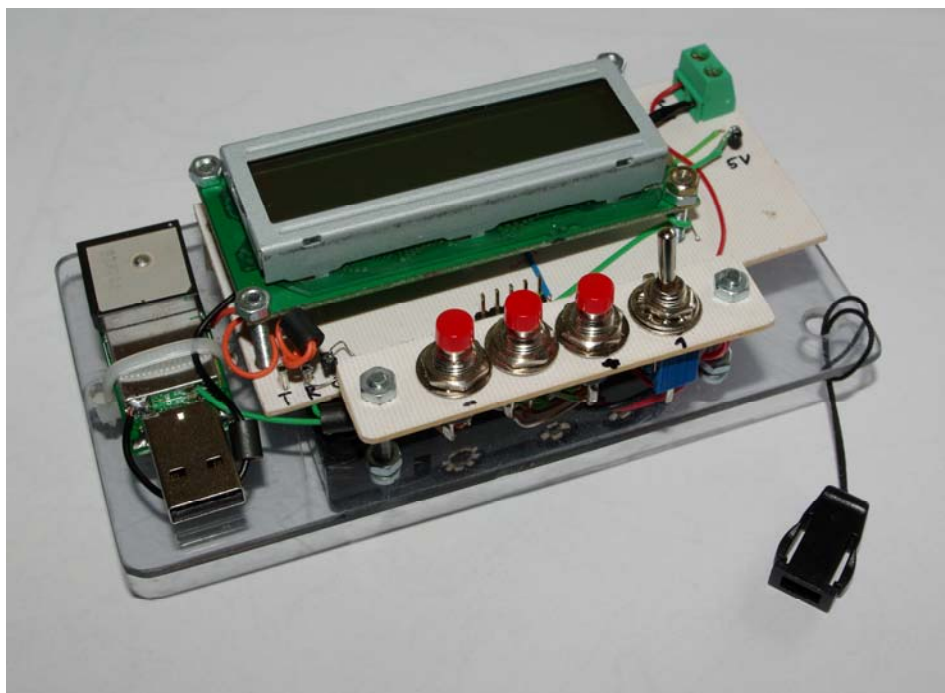
3.5 Končna izvedba

Vezje sem sestavil na doma zjedkani ploščici, shemo pa sem narisal v programu Eagle. Vse dele naprave sem povezal na plošči iz pleksi stekla in nanjo pritržil tudi gumbe za upravljanje in baterije. Pri končnem preizkusu pa so se pojavile težave. UART potem, ko je bilo vse skupaj pritrjeno na glavni plošči, nikakor ni hotel delovati. Očitno je bila težava v bližini mikrokrmilnika in GPS modula, saj je prenos deloval, če sta bila bolj narazen. Na vodnike sem dodal feritne obročke, vendar se položaj ni izboljšal. Po naključju sem ugotovil, da naprava deluje navkljub bližini, če je bila podatkovna žica podaljšana prek preizkusne plošče (*proto-board*). Očitno je bil na RX vhodu mikrokrmilnika potreben nek nizkoprepustni filter za motnje, ki jih je vnašal GPS modul. Tako sem med vhod in maso dodal 100 pF kondenzator in vezje deluje tudi s kratko žico. Kondenzator ne sme biti prevelik, ker bi sicer preveč pokvaril pravokotno obliko UART signala.

Poraba vezja znaša okrog 70 mA in se spusti na 20 mA, če izključimo GPS modul.



Slika 9: spodnja stran vezja



Slika 10: dokončana naprava

4 Preizkus in zaključki

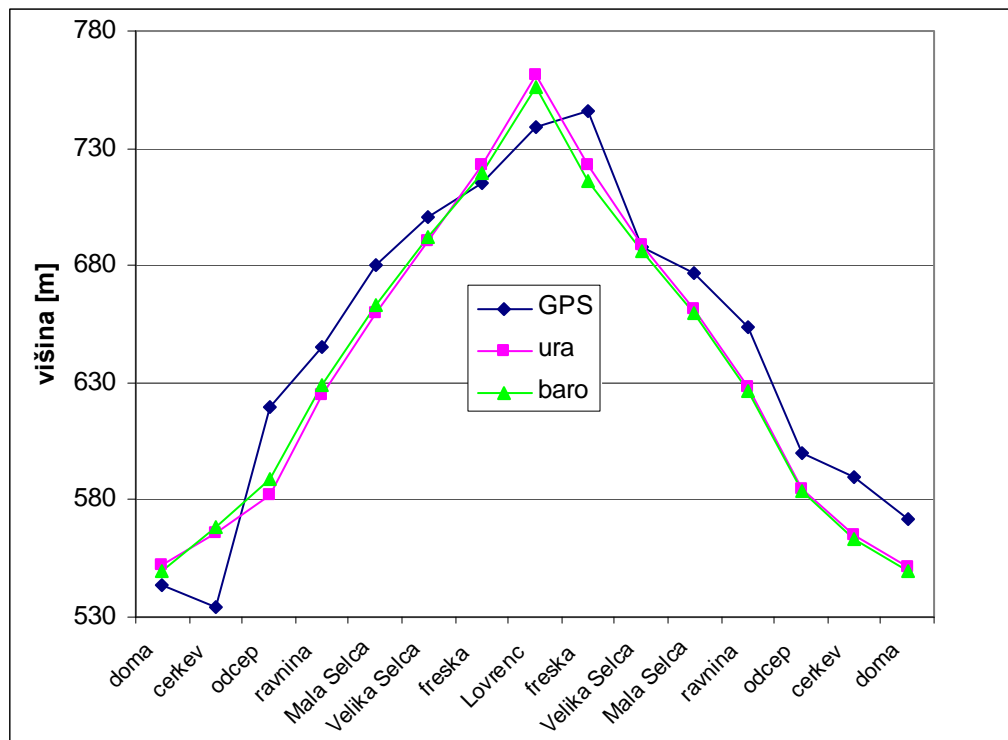
Z izdelano napravo sem se podal na krajši sprehod in na poti navzgor in navzdol opravljal meritve višine. Kot referenčni instrument sem uporabljal ročno uro Suunto X6, za katero sem med nekajletno uporabe v hribih že ugotovil, da kar dobro določa nadmorsko višino (preverjeno z zemljevidi). Rezultati meritev so v tabeli.



Slika 11: približna pot, zemljevid: geopedia.si

Kraj	GPS	ura (ref.)	barom.
doma	544	552	550
cerkev	534	566	568
odcep	620	582	589
ravnina	645	625	629
Mala Selca	680	660	663
Velika Selca	701	690	692
freska	715	723	719
sv. Lovrenc	739	761	756
freska	746	723	716
Velika Selca	688	689	686
Mala Selca	677	661	660
ravnina	654	628	626
odcep	600	585	584
cerkev	590	565	563
doma	572	551	550

Tabela 3: višine v merilnih točkah [m]



Graf 1: izmerjene višine

Očitno je, da se barometrični del izdelane naprave kar dobro ujema z izmerki na uri. Posebno dobro ujemanje opazimo v zadnjem delu grafa. Tudi »skakanja« vrednosti na merilniku pri nespremenjeni višini je bilo proti koncu manj. Morda je razlog v tem, da se je vezje na koncu že ohladilo na zunanjo temperaturo, saj je bilo prej na toplem v hiši, meril pa sem na precej mrzel dan.

Izmerki prek GPS so pričakovano precej manj točni, vendar vseeno nisem pričakoval, da se bodo pojavljale tako velike napake, kot je zmanjšanje izmerjene višine, če smo se v resnici dvignili, in obratno. Res pa je, da zadnji dve točki ležita v gozdu, in znano je, da imajo tam zaradi listja GPS sprejemniki težave. Drug razlog za nenatančnost morda tiči v tem, da je pot v celoti potekala po južnem pobočju precej strmega hriba, kar je zagotovo oteževalo sprejem satelitov s severne strani neba.

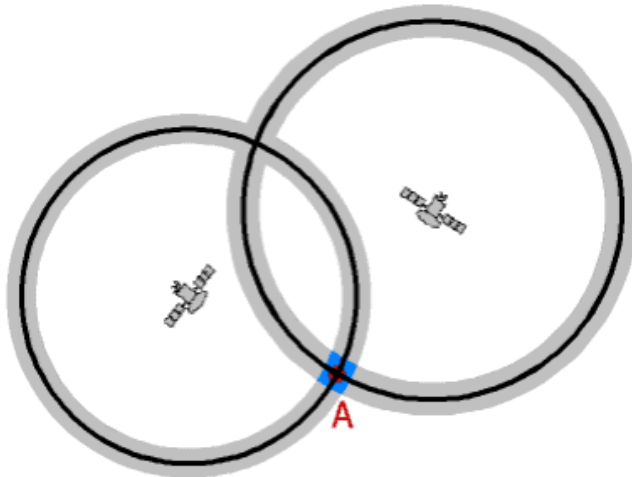
Da bi lahko razumeli vzroke za dokaj velike napake pri merjenju nadmorske višine z GPS napravami, moramo najprej pojasniti ozadje delovanja meritve. GPS uporablja standardni WGS84 koordinatni sistem, ki opisuje Zemljo kot elipsoid, sploščen na polih. Temu je dodana tabelarično podana korekcija, ki upošteva razlike v gravitaciji na določenih krajih, ki so posledica spremenljive gostote Zemlje. Te korigirane točke oblikujejo ploskev v prostoru, ki predstavlja srednji nivo nadmorske višine (MSL) (zaradi razlik v gravitaciji vodna gladina, ki bi jo dobili, če bi oceani narasli tako visoko, da bi prekrili vse gore, ne bi bila ravna). Ker v pomnilnik lahko shranimo omejeno število korekcijskih točk, popravek ne more biti vedno točen.

Glavni vir napake pri merjenju višine in pri določanju položaja nasploh pa je geometrijska razporeditev satelitov na nebu v določenem trenutku. Siv pas na spodnjih slikah označuje možne položaje glede na posamezen satelit (območje se razširi zaradi drugih netočnosti sistema), modro polje pa možne končne položaje po upoštevanju obeh signalov. Če sta satelita eden nad drugim, se območje prekrivanja možnih lokacij položaja močno poveča, kar pomeni večjo netočnost meritve. Zato je pomembno, da se pri natančnih meritvah z GPS

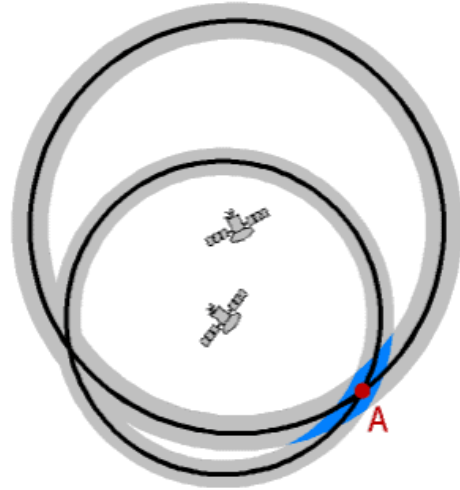
napravo prej prepričamo, koliko satelitov smo ujeli in kje na nebu so. Natančnost meritve višine se posebno močno poslabša, če so sateliti, ki jih sprejemamo, blizu obzorja.

Podatke o natančnosti določanja posameznih parametrov GPS sprejemniki podajajo v stavku \$GPGSA.

1



2



Slika 12: ugoden (1) in neugoden položaj satelitov (2)

Kot zadnjo zanimivost še dodajam, da je potrebno pri izračunavanju položaja uporabiti izsledke teorije relativnosti (velika hitrost gibanja satelitov > čas teče počasneje, oddaljenost satelitov od Zemlje > šibkejše gravitacijsko polje > čas teče počasneje).

5 Viri in literatura

5.1 Splošni viri

1. Mancini, Ron: Op Amps for Everyone. Dallas: Texas Instruments, 2008.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Barometric_formula, obiskano 14. maja 2011
3. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/kinetic/barfor.html>, obiskano 14. maja 2011
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver/transmitter, obiskano 15. maja 2011
5. <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>, obiskano 15. maja 2011
6. <http://lea.hamradio.si/~s53mv/navsats/theory.html>, obiskano 15. maja 2011
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System, obiskano 15. maja 2011
8. <http://www.somebits.com/weblog/aviation/gps-altitude.html>, obiskano 20. maja 2011
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/WGS84>, obiskano 20. maja 2011
10. <http://gpsinformation.net/main/altitude.htm>, obiskano 20. maja 2011
11. http://www.gpspassion.com/forumsen/topic.asp?TOPIC_ID=10915, obiskano 21. maja 2011
12. <http://tom.pycke.be/mav/104/new-flight-tests?commented=1#c000385>, obiskano 21. maja 2011
13. <http://users.erols.com/dlwilson/gpsvert.htm>, obiskano 21. maja 2011
14. <http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>, obiskano 21. maja 2011

5.2 Viri slik

- Slika 2: <http://lea.hamradio.si/~s53mv/navsats/theory.html>
- Slika 3: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Op-Amp_Differential_Amplifier.svg
- Slika 4: Mancini, Ron: Op Amps for Everyone. Dallas: Texas Instruments, 2008. Stran 12-17.
- Sliki 5 in 7: podatkovni list PIC16F886
- Slika 6: podatkovni list DS18S20
- Slika 12: <http://www.geopedia.si>
- Slika 13: <http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>