

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Primož Kržišnik

RAČUNALNIŠKO KRMILJEN TELESKOP

DIPLOMSKO DELO NA UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Primož Kržišnik

RAČUNALNIŠKO KRMILJEN TELESKOP

DIPLOMSKO DELO NA UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Mentor: prof. dr. Dušan Kodek

Ljubljana, 2012



Št. naloge: 01792/2011

Datum: 06.12.2011

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **PRIMOŽ KRŽIŠNIK**

Naslov: **RAČUNALNIŠKO KRMILJEN TELESKOP
COMPUTER CONTROLLED TELESCOPE**

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Krmiljenje astronomskega teleskopa z računalnikom bistveno poenostavi in olajša opazovanje objektov. Omogoča namreč, da se teleskop usmeri na želeni objekt s klikom na objekt, ki je kot del zvezdne karte prikazan na zaslonu. V ta namen raziščite možnosti za izdelavo cenovno ugodnega sistema, ki nadgradi enostaven teleskop z računalniškim krmiljenjem. Izberite ustrezne komponente in izdelajte krmilno vezje, katero s pomočjo koračnih motorjev krmili teleskop v skladu z ukazi, ki prihajajo iz računalnika. Za računalnik izdelajte programsko opremo in uporabniški vmesnik, ki pomik na objekt na zvezdni karti pretvori v ustrezno zaporedje ukazov za teleskop. Pravilnost delovanja preverite in podajte možne načine zaboljšavo.

Mentor:

prof. dr. Dušan Kodek



Dekan:

prof. dr. Nikolaj Zimic

IZJAVA O AVTORSTVU

diplomskega dela

Spodaj podpisani Kržišnik Primož, z vpisno številko 63040082, sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Računalniško krmiljen teleskop

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Dušana Kodeka,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela,
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki »Dela FRI«.

V Ljubljani, dne _____ Podpis avtorja: _____

Zahvala

Za splošno podporo pri študiju in pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem vsem domačim in ožjim prijateljem. Za strokovno pomoč in mentorstvo se zahvaljujem prof. dr. Dušanu Kodeku.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract.....	2
1 Opis sistema za računalniško vodenje teleskopa.....	3
1.1 Uvod.....	3
1.2 Teleskop z ekvatorialno postavitvijo	4
1.3 Koračni motorji.....	5
1.4 Krmilno vezje	7
1.5 Fizična povezava računalnika z vezjem.....	7
1.6 Računalnik s programsko opremo za krmiljenje teleskopa	9
2 Obstoječa astronomska oprema na trgu.....	10
2.1 Strojna oprema.....	10
2.2 Programska oprema	13
3 Strojni del krmiljenja koračnih motorjev	15
3.1 Krmilno vezje	15
3.1.1 Vezje za sprejem ukazov	15
3.1.2 Vezje za krmiljenje koračnih motorjev	17
3.1.3 Napajalno vezje	19
3.1.4 Vezje za zvišanje napetosti pri baterijskem napajanju	20
3.1.5 Vezje za indikacijo nizke napetosti baterijskega napajanja.....	21
3.2 Poraba energije in čas delovanja.....	22
3.3 Natančnost pozicioniranja teleskopa	24
3.4 Programska oprema v mikrokrmilnikih.....	26
3.4.1 Mikrokrmilnik, ki sprejema ukaze.....	26
3.4.2 Mikrokrmilnik, ki krmili RA motor	27
3.4.3 Mikrokrmilnik, ki krmili DEC in FOKUS motorja.....	28
3.5 Možne optimizacije vezja	28
3.5.1 Manjše število integriranih vezij	28
3.5.2 Znižanje porabe vezja.....	28
3.5.3 Uporaba USB komunikacije namesto serijske po standardu RS-232	28
3.5.4 Zmogljivejši gonilniki za zmogljivejše motorje.....	29
3.5.5 Drugačna zasnova ukazov	29
3.5.6 Dodano vezje za priklop tipkovnice ali autoguiderja	29

4	Programski del krmiljenja teleskopa z računalnikom	30
4.1	Programski jezik in dodatne knjižnice.....	30
4.2	Uporabniški vmesnik in osnove upravljanja s programom.....	30
4.2.1	Zvezdna karta	30
4.2.2	Kontrolni del programa	32
4.3	Opis delovanja programskega pozicioniranja.....	35
4.4	Opis delovanja avtomatskega sledenja	39
4.5	Opis delovanja avtomatskega ostrenja.....	41
4.6	Natančnost programa in možne izboljšave	42
5	Sklepne ugotovitve	43
	Dodatek A.....	44
	Dodatek B.....	45
	Kazalo slik.....	46
	Kazalo tabel	47
	Literatura	48

Seznam uporabljenih kratic in okrajšav

RA – Right Ascension

DEC – Declination

CW – ClockWise

CCW – CounterClockWise

CAD – Computer - Aided Design

TTL – Transistor - Transistor Logic

USB – Universal Serial Bus

GND – Ground

LED – Light-Emitting Diode

BPS – Bits Per Second

NGC – New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars

ASCOM – Astronomy Common Object Model

COM – Common Object Model

Povzetek

Tema diplomskega dela se nanaša na krmiljenje teleskopa z uporabo računalnika. Za ta namen je potrebno posebno vezje, ki sprejema ukaze s strani računalnika in jih pretvori v delovanje koračnih motorjev, ki so vgrajeni v postavitve teleskopa. Poleg vezja je potreben poseben program na računalniku, ki pošilja ukaze vezju. Prvo poglavje se posveča splošno sistemu za krmiljenje teleskopa in njegovim podsistemom. Tu so prav tako predstavljene osnove astronomije in razlaga pojmov, ki so potrebni za razumevanje diplomskega dela v celoti. V drugem poglavju so opisane že obstoječe strojne in programske rešitve, ki se nanašajo na amatersko astronomijo. Tretje poglavje razdeli strojni del sistema za krmiljenje teleskopa. S tem je mišljeno vezje, ki je razdeljeno na različne funkcijske enote. Tu je obravnavana tudi poraba energije vezja, natančnost, programska oprema v mikrokrmilnikih, ki se nahajajo v vezju, in pa možne izboljšave vezja. Četrto poglavje obravnava programski vidik sistema za krmiljenje teleskopa. Tu so opisani deli uporabniškega vmesnika in pa glavni algoritmi, ki so srce programa na računalniku.

Abstract

The thesis covers computer aided telescope control. For this purpose, a special electronic circuit is required for receiving and converting signals from computer. These signals are used for controlling the stepper motors, which are built in the telescope mount. Apart from the circuit, a special software also needs to be installed on a computer for transmitting commands to the circuit. The first section of the thesis is a general summary of the telescope control system and its subsystems. It also includes fundamental astronomy and describes common terms that are needed for a full comprehension of the thesis. Section 2 gives an insight into the existing hardware and software solutions that are used in amateur astronomy. Section 3 partitions the telescope control system's hardware. It explains the circuit, which is divided into different operating units. It also includes a study of circuit's power consumption, accuracy, softwares loaded onto microcontrollers used in the circuit and possible circuit enhancements. Section 4 covers the software aspect of the telescope control system. Descriptions of the user interface and main algorithms, which are the core of the computer software, are found here.

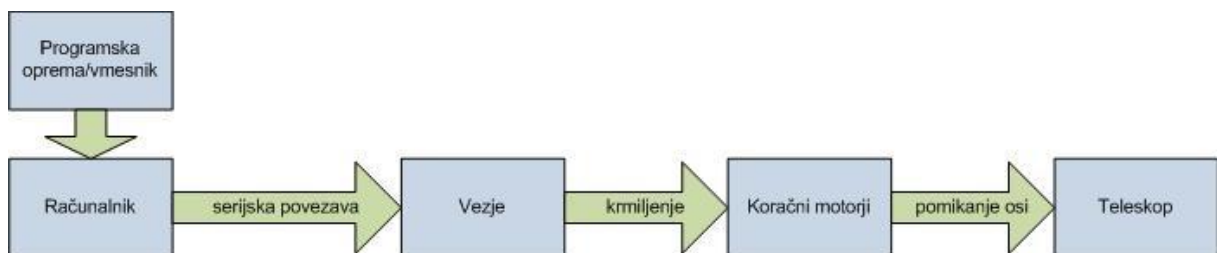
1 Opis sistema za računalniško vodenje teleskopa

1.1 Uvod

Obstaja mnogo proizvajalcev astronomske strojne opreme kot tudi programske opreme. V veliki meri je, tako kot pri ostalih produktih na trgu, vprašanje izbire cena in kvaliteta. Tu se ustvari ena izmed ločnic med amaterskimi in neamaterskimi astronomi, čeprav je profesionalnih astronomov izjemno malo. Dražjo in boljšo opremo si namreč lahko privoščijo le podjetja, ki raziskujejo na področju astronomije ali pa posamezniki s sredstvi, ki jih žene zanimanje za astronomijo. Amaterskih astronomov je veliko. Večina ima v lasti vsaj en teleskop, ki pa ni nujno motoriziran. Tisti, ki jim astronomska opazovanja predstavljajo glavni hobi, imajo še nekoliko boljšo opremo. Če predpostavimo, da veliko astronomov začetnikov ta hobi pritegne, jim lahko ponudimo nadgradnjo za opremo, ki jo že imajo, namesto da kupujejo novo boljšo opremo, ki velikokrat ni toliko boljša kot je tudi dražja. V ta namen to diplomsko delo raziskuje možnost izdelave cenovno ugodnega sistema, ki v osnovi nadgradi enostaven teleskop z možnostjo računalniškega krmiljenja t.j. usmerjanja na željen objekt na nebu s pritiskom na tipko v programu. Tak sistem mora vsebovati vmesnik med računalnikom in teleskopom, ki je namensko elektronsko vezje, in pa program, ki teče na računalniku.

Izraz sistem izvira iz dejstva, da gre tu za več soodvisnih komponent, od katerih vsaka prispeva k ciljnemu delovanju in sicer računalniškem vodenju teleskopa. V tem sistemu so tako prisotni:

- računalnik s programsko opremo za krmiljenje teleskopa.
- fizična povezava računalnika z vezjem po standardu RS-232.
- vezje, ki sprejema ukaze in krmili motorje.
- trije koračni motorji.
- teleskop z ekvatorialno postavitvijo.

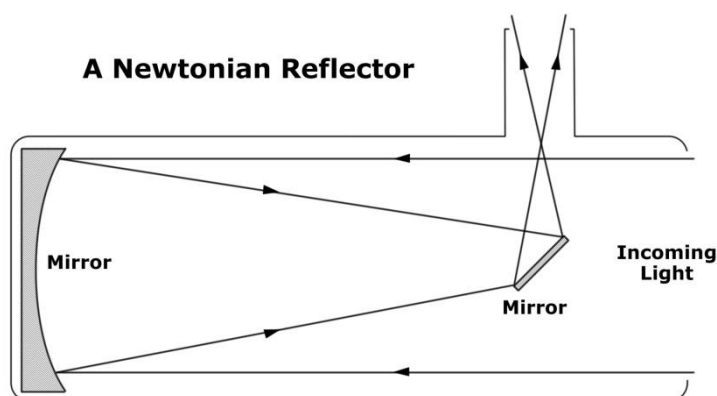


Slika 1. Sistem krmiljenja teleskopa.

Vsak od teh podsistemov bo v nadaljevanju podrobneje opisan.

1.2 Teleskop z ekvatorialno postavitvijo

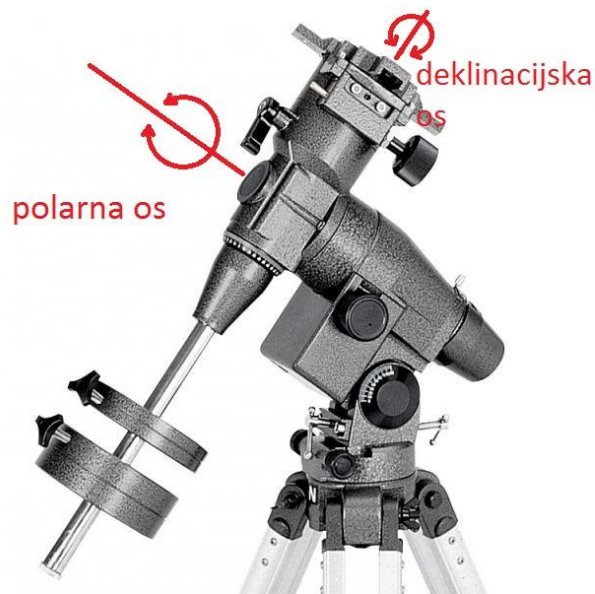
Teleskop je instrument, ki nam omogoča opazovanje oddaljenih stvari s pomočjo zbiranja svetlobe in fokusiranja le-te, da nastane povečana slika. Poznamo dve vrsti teleskopov in sicer reflektorje in refraktorje. Reflektorji za zbiranje in fokusiranje svetlobe uporabljajo zrcala, refraktorji pa leče. Vsi večji teleskopi so reflektorji, saj jih je lažje narediti, zato pa so tudi cenejši. Za delovanje namreč potrebujejo le dve brezhibni površini – zrcali, medtem ko refraktor rabi več brezhibnih leč. Teleskop ima tako v cevi teleskopa nameščena zrcala ali leče, sam pa je pritrjen na postavitev teleskopa. Za opazovanje oddaljenih objektov s teleskopom je potreben še okular, ki zbrano svetlobo, ki tvori sliko, poveča. Ta je postavljen blizu goriščne točke teleskopa in z vgrajenimi lečami tvori povečavo. Končna povečava se izračuna tako, da goriščno razdaljo teleskopa delimo z goriščno razdaljo okularja.



Slika 2. Osnovni princip delovanja zrcalnih teleskopov tipa Newton.

Postavitev (montaža) teleskopa je mehanska struktura, ki drži cev teleskopa in je narejena tako, da nosi težo cevi teleskopa in omogoča natančno pozicioniranje le-te. Tu obstajata dve glavni vrsti postavitve: alt-azimut in ekvatorialna. Obe postavitvi imata dve osi. Ena od osi alt-azimutne postavitve je pravokotna na teren, druga pa vzporedna. Ekvatorialna postavitev ima za razliko eno os vzporedno z zemeljsko osjo (kaže na severnico), drugo os pa pravokotno na prvo. Prvi osi ekvatorialne postavitve se reče polarna os (Right Ascension - RA) in se giblje glede na vrtenje Zemlje v relaciji z nebesnimi objekti v loku med vzhodom in zahodom. Če to os natančno premikamo v nasprotni smeri Zemljinega obračanja in z enako hitrostjo, lahko sledimo nebesnim telesom. Druga os ekvatorialne postavitve je deklinacijska os (Declination - DEC) in se vedno giblje pravokotno na lok, ki ga ustvarja prva os.

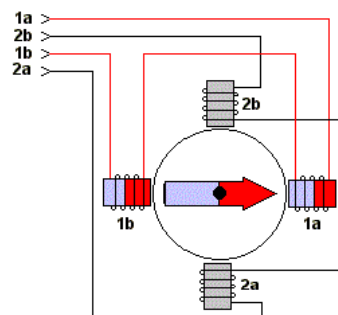
Diplomsko delo se nanaša na nemško ekvatorialno postavitev, ki potrebuje protiutež za cev teleskopa. V nadaljevanju bo hitrost vrtenja Zemlje okoli osi opredeljena z »1X hitrostjo«, kar ustreza sideralnemu dnevnu oz. enemu obratu v 86164 sekundah. Vezje lahko vrti koračne motorje in s tem postavitev teleskopa z največ 32X hitrostjo vrtenja Zemlje, kar je omejeno s koračnimi motorji. To pomeni, da posamezna os teleskopa pri 32X hitrosti naredi popoln obrat v 1/32 dneva, torej v slabih 45 minutah. Bralec lahko splošno znanje o astronomiji, teleskopih in postavitvah pridobi tudi v [1].



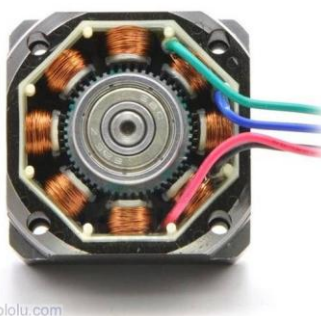
Slika 3. Prikaz delovanja ekvatorialne postavitve.

1.3 Koračni motorji

Koračni motor je brezkrtačni elektromotor, ki naredi celoten obrat s celim številom korakov. Pozicioniranje oziroma vrtenje takega motorja je lahko zelo natančno, zato ponavadi ne potrebujemo povratnih informacij o položaju (položajni dajalniki). Ti motorji delujejo drugače kot navadni enosmerni elektromotorji, ki delujejo že, če jih priklopimo na predpisan nivo enosmerne napetosti. Koračni motorji imajo več nazobčanih elektromagnetov, razporejenih okoli osi s prav tako nazobčanim kosom železnega jedra. Ko vzbudimo enega od elektromagnetov, se zobje na njem zaradi magnetne privlačnosti poravnajo z zobmi na osi. Temu rečemo korak elektromotorja. Zobje med različnimi elektromagneti so zamaknjeni, zato sedaj zobje drugega elektromagneta niso poravnani z zobmi na osi. Če zaporedoma vzbujamo zaporedne elektromagnete, prejšnje pa izklapljamo, pride do vrtenja koračnega motorja s serijo korakov. Za celoten obrat potrebujemo celo število korakov, natančnost takega motorja pa je za kot enega koraka. Diplomsko delo se nanaša na postavitve, v kateri so vgrajeni motorji, ki potrebujejo 48 korakov za celoten obrat. Tako je natančnost enega koraka 7,5 stopinj.



Slika 4. Osnovni princip delovanja koračnega motorja.



Slika 5. Notranjost koračnega motorja.

V postavitvi teleskopa sta vgrajena dva dvofazna bipolarna koračna motorja. To pomeni, da imata vsak po dve navitji, vsako s svojo fazo delovanja. Navitje, ki služi za elektromagnet, ima le dva priključka in nima povratnega vodnika kot pri unipolarnih koračnih motorjih, zato je za spremembo smeri magnetnega polja potrebno obrniti smer električnega toka med dvema priključkoma navitja, kar pripelje do kompleksnejšega krmiljenja. Tu imamo tako dva priključka za eno navitje – skupno 4 priključke na motor, od katerih ni nobena stalna ozemljitev. Pri unipolarnih koračnih motorjih je namreč mogoče spreminjati magnetno polje le z izmeničnim vklopom in izklopom napetosti na priključkih navitja, ki ima srednji povratni priključek – zemljo. Za vrtenje bipolarnega koračnega motorja s serijo korakov v smeri urinega kazalca (CW) potrebujemo na dveh navitjih (fazah) z dvema priključkoma signal, kot ga prikazuje naslednja tabela.

Korak	Navitje A		Navitje B	
	Priključek 1	Priključek 2	Priključek 1	Priključek 2
1	+	-	-	-
2	-	-	+	-
3	-	+	-	-
4	-	-	-	+

Tabela 1. Signal, potreben za delovanje bipolarnega koračnega motorja.

Koračni motor deluje tako, da najprej vzbudimo prvi elektromagnet v neko smer, nato drugega v isto smer, zatem spet prvega v drugo smer in na koncu še drugega v drugo smer.

Če želimo konstantno vrtenje, moramo sekvenco štirih korakov ponavljati, se pravi s 4. koraka gremo spet na 1. korak: 1,2,3,4,1,2..itn. V tabeli predstavlja znak + predpisan nivo pozitivne napetosti za delovanje koračnega motorja (npr. 12V), znak - pa ozemljitveni vodnik. Če imamo na istem navitju na enem priključku + in na drugem -, bo tok stekel v smeri mase (-), če pa imamo na obeh priključkih -, tok ne bo tekel in navitje/elektromagnet bo miroval (ne bo ustvarjal elektromagnetnega polja).

Če bi želeli obrniti smer vrtenja motorja (CCW), moramo spremeniti le smer izvajanja korakov oz. sekvence od koraka 4 proti koraku 1, se pravi sekvenca 4,3,2,1,4,3..itn. Bralec lahko poglobi razumevanje koračnih motorjev v [2].

V nadaljevanju bodo označeni trije različni motorji, ki imajo različne funkcije na teleskopu, z oznakami:

- Motor RA – ta motor skrbi za vrtenje polarne osi postavitve teleskopa.
- Motor DEC – ta motor skrbi za vrtenje deklinacijske osi postavitve teleskopa.
- Motor FOKUS – ta motor skrbi za nastavljanje ostrine slike.

1.4 Krmilno vezje

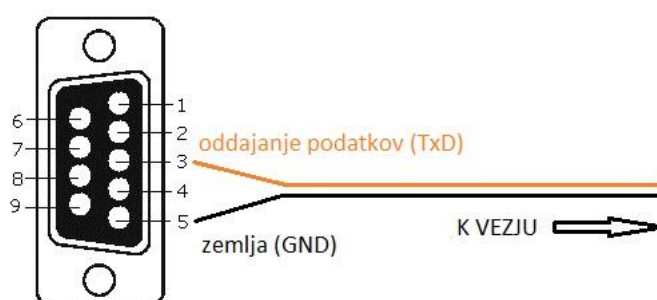
Vezje za sprejemanje ukazov s strani računalnika in krmiljenje koračnih motorjev na postavitvi teleskopa je sestavljeno iz naslednjih funkcijskih podsistemov:

- Vezje za sprejem serijskih podatkov/ukazov s strani računalnika.
- Vezje za interpretacijo ukazov in posredovanje preko gonilnikov na koračne motorje.
- Vezje za zvišanje napetosti pri baterijskem napajanju.
- Vezje indikacije nizke napetosti na bateriji.

V podrobnosti posameznih podsistemov bodo zašla kasnejša poglavja. Tu zadostuje, če si vezje predstavljamo kot črno skatlico, kateri pošiljamo serijske ukaze, ta pa preko treh povezav krmili tri koračne motorje, vsakega s štirimi priključki.

1.5 Fizična povezava računalnika z vezjem

Vezje in računalnik sta povezana preko 9-pinskega serijskega priključka DE-9 po standardu RS-232, o katerem si lahko bralec več prebere v [3]. Ta priključek je že dolgo prisoten pri računalnikih in je podpiral vrsto perifernih naprav, dokler ga ni iz očitnih razlogov izpodrinil USB. V današnjih časih je za računalnike brez serijskega priključka možno kupiti vmesnik na USB, ki dobro deluje v večini primerov, vendar je treba imeti tudi program, ki zna delati z USB komunikacijo. Ta način komuniciranja med računalnikom in vezjem uporablja sistem zaradi nizke zahtevane hitrosti komuniciranja aplikacije in tudi zaradi zahtevnejše implementacije USB komunikacije.



Slika 6. Serijska povezava z vezjem.

Ker je vezje dokaj enostavno, se od devetih linij serijskega priključka uporabljata le dve. Ena je masa (GND - priključek 5), druga pa je namenjena za oddajanje s strani računalnika (TxD – priključek 3). Povratnih informacij vezje računalniku ne pošilja, saj se je izkazalo, da to ni potrebno. Hitrost pošiljanja podatkov z računalnika v vezje je 4800 bitov na sekundo in jo določa sprejemni mikrokrmilnik s programsko opremo, ki je naravnana na to hitrost. Paritetni

bit se v tej aplikaciji ne uporablja, saj se je v praksi izkazalo, da pri dolžini vodnika 5m vezje deluje brez napak. Dolžina znaka (v tem primeru ukaza) je vedno 8 bitov. Za potrebe komuniciranja je bila definirana struktura ukaza, ki ga vezje interpretira in sproži ustrezno akcijo, kar je prikazano v naslednji tabeli.

Motor FOKUS	Hitrost obračanja RA in DEC motorja – enaka za oba			Motor DEC		Motor RA	
omogoči	b 2	b 1	b 0	smer	omogoči	smer	omogoči
b 7	b 6	b 5	b 4	b 3	b2	b 1	b 0

Tabela 2. Zgradba ukaza.

Kot že prej omenjeno je dolžina ukaza fiksna – 8b. Bit 0 in bit 1 služita za vklop/izklop in določanje smeri motorja RA. Bit 2 in bit 3 služita za vklop/izklop in izbiro smeri motorja DEC. Naslednji trije biti določajo hitrost motorjev RA in DEC v razponu:

- 000 - 32X
- 001 - 16X
- 010 - 8X
- 011 - 4X
- 100 - 2X
- 101 - 1X

Tu je potrebno omeniti, da se hitrosti za vsak motor posebej ne da nastavljati, saj v 8b dolgem ukazu ni dovolj prostora. Biti za hitrost v ukazu veljajo za motorja RA in DEC, ki vedno delujeta z isto hitrostjo. To v praksi ne predstavlja problemov, saj ob sledenju določenemu objektu večinoma deluje le motor RA na hitrosti 1X, ker se polarna os teleskopa pomika v enakem loku kot večina nebesnih objektov. Ob sledenju se izvajajo tudi manjši popravki DEC osi z enako hitrostjo 1X. V primeru nastavitve teleskopa na želen objekt po potrebi delujeta oba motorja RA in DEC z najvišjo hitrostjo 32X.

Zadnji bit – bit 7 je namenjen vklopu/izklopu FOKUS motorja, kateri za smer vzame tisto, ki je nastavljena za motor DEC, torej bit 3 v ukazu. Hitrosti za FOKUS motor se ne da nastavljati, saj je že prednastavljena v mikrokrmilniku in konstantna (4X hitrost). Razlog za tako odločitev leži v želji, da lahko med sledenjem teleskopa objektu na 1X hitrosti hkrati popravljamo ostrino slike tega objekta. Če bi se namreč biti za hitrost v ukazu med sledenjem spreminjali za potrebe ostrenja, bi motorji za sledenje morali delovati na prav taki hitrosti, kar bi privedlo do napačnega delovanja.

Motorja FOKUS ne moremo vklopiti, če je vklopljen motor DEC, ki ima prednost. Iz tega sledi, da lahko delujeta le največ 2 motorja naenkrat in sicer RA in DEC ali RA in FOKUS, saj si ukaza za motorja DEC in FOKUS delita bit za smer motorja. Ta omejitev v praksi ne povzroča problemov, saj med usmerjanjem teleskopa na želen objekt ni smiselno istočasno ostriti slike, saj zelenega objekta še ni v zajeti sliki.

1.6 Računalnik s programsko opremo za krmiljenje teleskopa

Računalnik, povezan z vezjem, mora za delovanje sistema imeti serijski priključek ali adapter serijsko->USB. Programska oprema, ki teče na računalniku, je lahko napisana v poljubnem programskem jeziku, ki zna delati s serijsko komunikacijo po standardu RS-232 ali USB. Tako je lahko program v najpreprostejši obliki sestavljen le iz neke vrste vmesnika, kamor uporabnik vnaša ukaze za pomik motorjev, ki se preko serijske komunikacije in fizičnega vodnika prenesejo v vezje. Diplomsko delo se nanaša na računalnik s serijskim priključkom, programska oprema pa temelji na programskem jeziku Java, ki zadovoljivo podpira delo s serijsko komunikacijo.

2 Obstoječa astronomska oprema na trgu

2.1 Strojna oprema

Na trgu je veliko proizvajalcev teleskopov, postavitav in opreme, ki spada k astronomiji. Najvidnejši proizvajalci reflektor in refraktor teleskopov in postavitav zanje so: Meade, Sky-Watcher, Orion Optics, Astro Professional, Celestron, Vixen, Losmandy in ostali. Postavitve se delijo v dve veliki skupini in sicer alt-azimutne in ekvatorialne, katerih pomen je opisan v prejšnjem poglavju. Te postavitve imajo ponavadi možnost vgradnje motorjev in ročne kontrole (tipkovnice), kar olajša ročno nastavitav teleskopa na željen objekt. Na tej stopnji bi lahko postavitev imenovali ročno motorizirana postavitev, če ima vgrajene koračne motorje za pozicioniranje, ki zmorejo hitrosti pomika osi do 16X glede na hitrost vrtenja Zemlje, in kontrolo za ročni premik teleskopa s pomočjo motorjev.

Obstaja še tretja večja skupina postavitav, ki se jim reče go-to postavitve. Te postavitve so v osnovi lahko alt-azimutne ali ekvatorialne (vendar so ponavadi ekvatorialne) z dodatno sposobnostjo samodejnega pozicioniranja na željen objekt na podlagi podatkov o koordinatah nebesnih objektov. Že iz izraza »go-to« je razvidno, da taka postavitev samodejno popelje teleskop na željen objekt s pritiskom na tipko. Za go-to postavitev je potreben dodaten sistem, ki avtomatsko krmili motorje glede na željen premik po nebu. Poleg tega imajo postavitve s sposobnostjo go-to hitrejše motorje (SynScan), ki omogočajo premike osi s hitrostjo do 800X glede na hitrost vrtenja Zemlje.

Za delovanje go-to sistema zvezdna karta ni nujno potrebna, je pa dobrodošla. Brez nje se lahko sistem orientira le po trenutnih in željenih koordinatah. Tak sistem je ponavadi vgrajen v ročno kontrolo, ki jo proizvajalci opreme dodajo k go-to postavitvam. V teh napravah se nahaja mikrokrmilnik s programom in seznam več tisoč objektov, katere lahko izbiramo preko tipkovnice in na katere se teleskop s pritiskom na tipko tudi pozicionira.

Go-to sistemi med drugim omogočajo priklop na računalnik ali »autoguider«. Preko računalnika lahko s pomočjo zvezdnih kart premikamo teleskop na željen objekt, kar olajša samo predstavo o relativni trenutni poziciji in izboljša uporabniško izkušnjo. Autoguider je tuj izraz za napravo, ki izboljša natančnost sledenja, ki ga postavitev ne more zagotoviti zaradi nenatančne uskladitve s Severnico in drugih faktorjev. Uporablja se jih predvsem pri astro fotografiji, kjer je zaradi daljših ekspozicij potrebno izjemno natančno sledenje objektom.



Slika 7. Motorizirana ekvatorialna postavitve (levo), go-to ekvatorialna postavitve (desno).

Autoguider je v principu kamera, ki jo priklopimo na krmilni sistem na postavitvi ali v računalnik. V obeh primerih teče nek algoritem, ki iz zajete slike odčitava pozicije objektov in glede na premike vrši popravke osi z motorji. Če je autoguider priklopljen na računalnik - ponavadi navadna USB kamera, se algoritem vrši lokalno na računalniku, ta pa popravlja osi preko podatkovne povezave s krmilnim sistemom postavitve. Če je autoguider priklopljen direktno na krmilni sistem postavitve, algoritem teče v samem autoguiderju, ki ni navadna kamera ampak vsebuje namenski mikrokrmilnik in program, ki pa sporoča krmilnemu sistemu postavitve popravke osi. Slednji so pravi autoguiderji, ki so natančnejši in dražji.

Obstajajo tudi vmesniki, ki navadnim motoriziranim postavitvam (ne go-to) dodajo sposobnost go-to. Proizvajalci takih vmesnikov so npr. Lacerta, Ursa Minor in drugi. Več o ponudbi slednjega proizvajalca lahko najdete v [4]. Ti vmesniki zamenjajo ročne kontrole, ki služijo le ročnemu pomiku teleskopa, z vezjem, ki služi za povezavo z računalnikom ali autoguider-jem. Tako je mogoča uporaba motoriziranih postavitvev za pozicioniranje na željen objekt preko zvezdne karte, ki teče na računalniku ali za samodejno sledenje objektom, ki ga omogoči samostojni autoguider ali USB kamera na računalniku. Tak sistem je še vedno počasnejši od pravega go-to, saj ima uporabljena postavitvev še vedno koračne motorje, ki so za okoli 50X počasnejši od go-to (SynScan) motorjev. Diplomaska naloga se nanaša na izdelavo takega vmesnika, ki je nekoliko izboljššan glede na izdelke na trgu. Preprostejša modifikacija je obrazložena v [5]. Na trgu prav tako obstajajo vmesniki, ki še dodatno odstranijo potrebo po računalniku.



Slika 8. Modificirana ročna kontrola (levo), računalniški autoguide sistem (desno).



Slika 9. Go-to nadgradnja za motorizirane ekvatorialne postavitve.

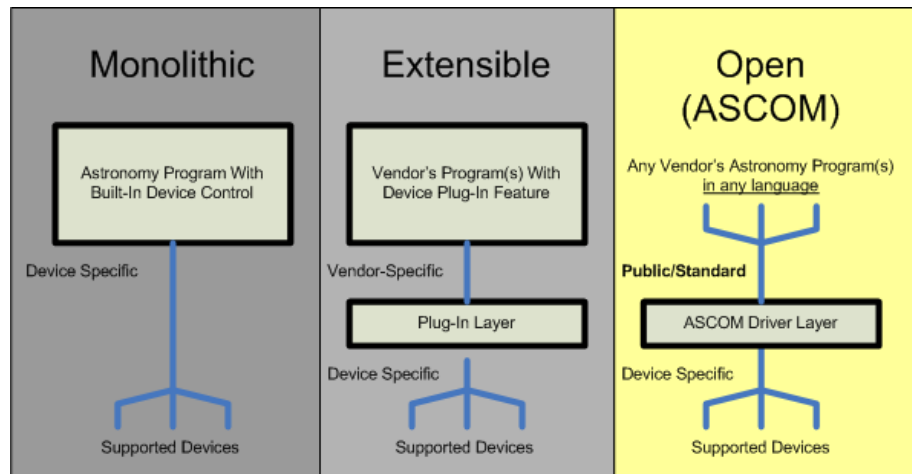
2.2 Programska oprema

Programska oprema, ki je povezana z amatersko astronomijo, se je zadnje čase precej razvila. Sprva so obstajale računalniške zvezdne karte in planetariji na eni strani in programi, ki so bili namenjeni krmiljenju periferije, na drugi strani (za teleskope, kupole, fokuserje itd.). Slednji so bili večinoma produkt določenega proizvajalca teleskopov in ostale opreme, zato je bila programska oprema omejena le na opremo istega proizvajalca. Kmalu so astronomi odkrili prednosti standardizacije med različnimi proizvajalci astronomske opreme.

Tako je nastala iniciativa ASCOM (Astronomy Component Object Model). Nadarjeni in zagnani astronomi, programerji in proizvajalci opreme so namreč združili moči in izdelali standardni programski vmesnik za operacijske sisteme Microsoft Windows, ki uporabljajo COM (Component Object Model) vmesnik. To je vmesnik v operacijskih sistemih Windows, ki omogoča enostavno kreiranje objektov na ravni operacijskega sistema in povezovanju le teh, katerih delovanje nadzirajo servisi operacijskega sistema. Za veliko obstoječih programskih jezikov obstajajo knjižnice, ki podpirajo implementacijo COM objektov. Splošno o COM vmesniku si lahko bralec prebere v [6].

Za potrebe delovanja astronomske opreme morajo poleg ASCOM platforme na sistemu teči gonilniki za priključeno astronomsko opremo. To pomeni, da vsebujejo določene funkcije in parametre, ki jih lahko preko COM vmesnika drugi programi uporabljajo oz. spreminjajo. Tako imamo lahko različne programe, ki vsebujejo zvezdne karte, ki enostavno prek vmesnika ASCOM uporabljajo gonilnike vseh obstoječih astronomskih naprav. Naprave so lahko na sistem priključene preko serijskega vmesnika, USB, Firewire idr. Gonilniki sami poskrbijo za komunikacijo z napravo, programu tega ni potrebno obvladovati. Sedaj lahko z vsemi programi, ki podpirajo ASCOM vmesnik, krmilimo astronomsko opremo vseh proizvajalcev, ki so vanjo vgradili podporo za ASCOM. Več o ASCOM si lahko bralec prebere v [6].

Astronomske opreme, ki podpira ASCOM komunikacijo, je vedno več. Naštejmo jih le nekaj: Starry Night, Cartes du ciel, TheSky 6, Deepsky, RedShift. Poleg naštetih pa je tudi nekaj popularnih programov, ki pa ne podpirajo ASCOM: Celestia, Stellarium, Google Sky. Obstaja še veliko ostalih programov, npr. za krmiljenje kamer (K3CCDTools), fokuserjev, kompletnih observatorijev, delo s fotografijami (Registax), avtomatsko sledenje (autoguiding).



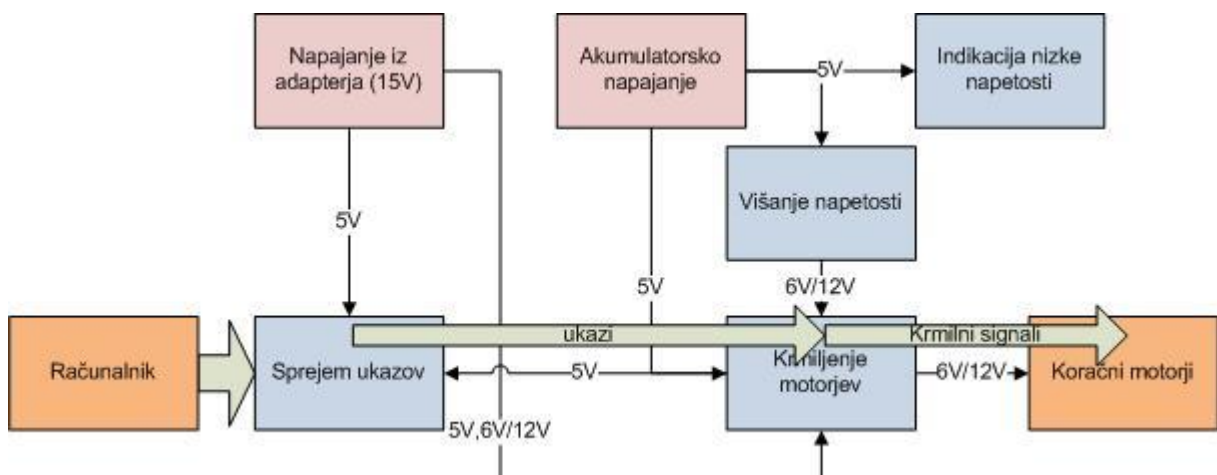
- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Each program must have its own code for device control ✓ Vendors must write all device control code ✓ New devices require new releases of programs ✓ Bugs in device control require new releases of programs | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Several of vendor's programs can share device control code ✓ Anyone can write device control plug-ins ✓ New devices require only new plug-ins ✓ Bugs in device control require only new plug-ins | <ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>Vendor-independent</u>: any program can use a driver ✓ Anyone can write and support drivers ✓ New devices require only drivers ✓ Bugs in device control require only new drivers |
|---|---|--|

Slika 10. Prednosti ASCOM implementacije.

3 Strojni del krmiljenja koračnih motorjev

3.1 Krmilno vezje

Krmilno vezje je bilo izdelano po vzoru vmesnikov, ki nadgradijo preproste motorizirane postavitve na go-to funkcionalnost. Kot je bilo omenjeno v prejšnjem poglavju, lahko celotno vezje razdelimo na več funkcijsko ločenih enot ali vezij. Tako bo v nadaljevanju razdelana vsaka funkcijska enota posebej. V naslednjih poglavjih bodo ponekod nastopale oznake za signale in za komponente iz vezij, ki se nanašajo na sheme vezij obravnavanega poglavja. Vse elektronske sheme vezij so bile narisane s pomočjo CAD programa Target 3001 V15 discover, več v [7]. Naslednji diagram prikazuje povezavo teh funkcijskih enot v vezju.



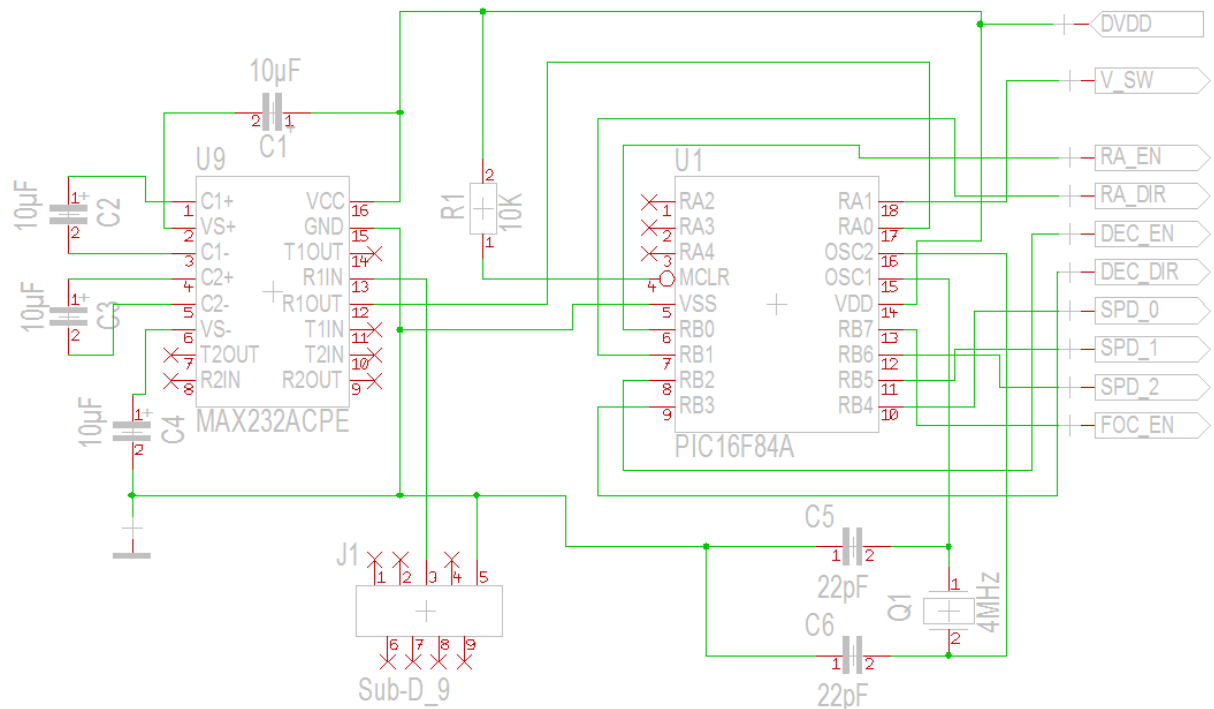
Slika 11. Bločna shema elektronskega vezja.

3.1.1 Vezje za sprejem ukazov

Ta del vezja skrbi za sprejem 8b serijskih ukazov po standardu RS-232 in posredovanje teh naprej delu vezja, ki krmili koračne motorje. Vezje vključuje serijski priključek, integrirano vezje MAX232, mikrokrmilnik PIC16F84A in nekaj ostalih elektronskih komponent, ki omogočajo delovanje vezja. Njihova nujnost je razvidna predvsem iz osnovnih aplikacijskih shem v tovarniških listinah glavnih komponent.

MAX232: integrirano vezje, ki pretvarja napetostne logične nivoje med TTL in nivoji po standardu RS-232 v obe smeri. Če dobimo s strani računalnika npr. +15V, nam MAX232 to napetost pretvori v +5V, če dobimo na liniji -15V, nam MAX232 posreduje 0V. Vhodni in izhodni nivoji seveda lahko odstopajo od točnih vrednosti v intervalih, kot je določeno s standardom RS-232 in določili TTL družine vezij. Več lahko preberete v [8].

PIC16F84A: preprost 8b mikrokrmilnik, ki deluje na najvišji frekvenci 4MHz ob uporabi zunanjega kristala (XT), ima 35 ukazov, 1024 besed prostora za shranjen program (14b ukazi) in dvoje vrat – vrata B z 8b in vrata A s 5b. V nadaljevanju bo posamezen priključek označen z RAx ali RBx, kjer bo x predstavljal bit teh vrat. Vsak priključek lahko nastavimo na vhod ali izhod in premore do 25mA toka. Ima tudi 8b časovnik/števec in več virov prekinitev. Več lahko preberete v [9].



Slika 12. Shema vezja, ki sprejema serijske ukaze.

V tem podsistemu torej MAX232 sprejme serijsko zaporedje bitov na liniji (priključek 13), jih pretvori v TTL nivoje in posreduje (priključek 12) mikrokrmilniku PIC16F84A na RA0 (priključek 17). Mikrokrmilnik paralelno posreduje 8b ukaz na vratih B delu vezja za krmiljenje koračnih motorjev.

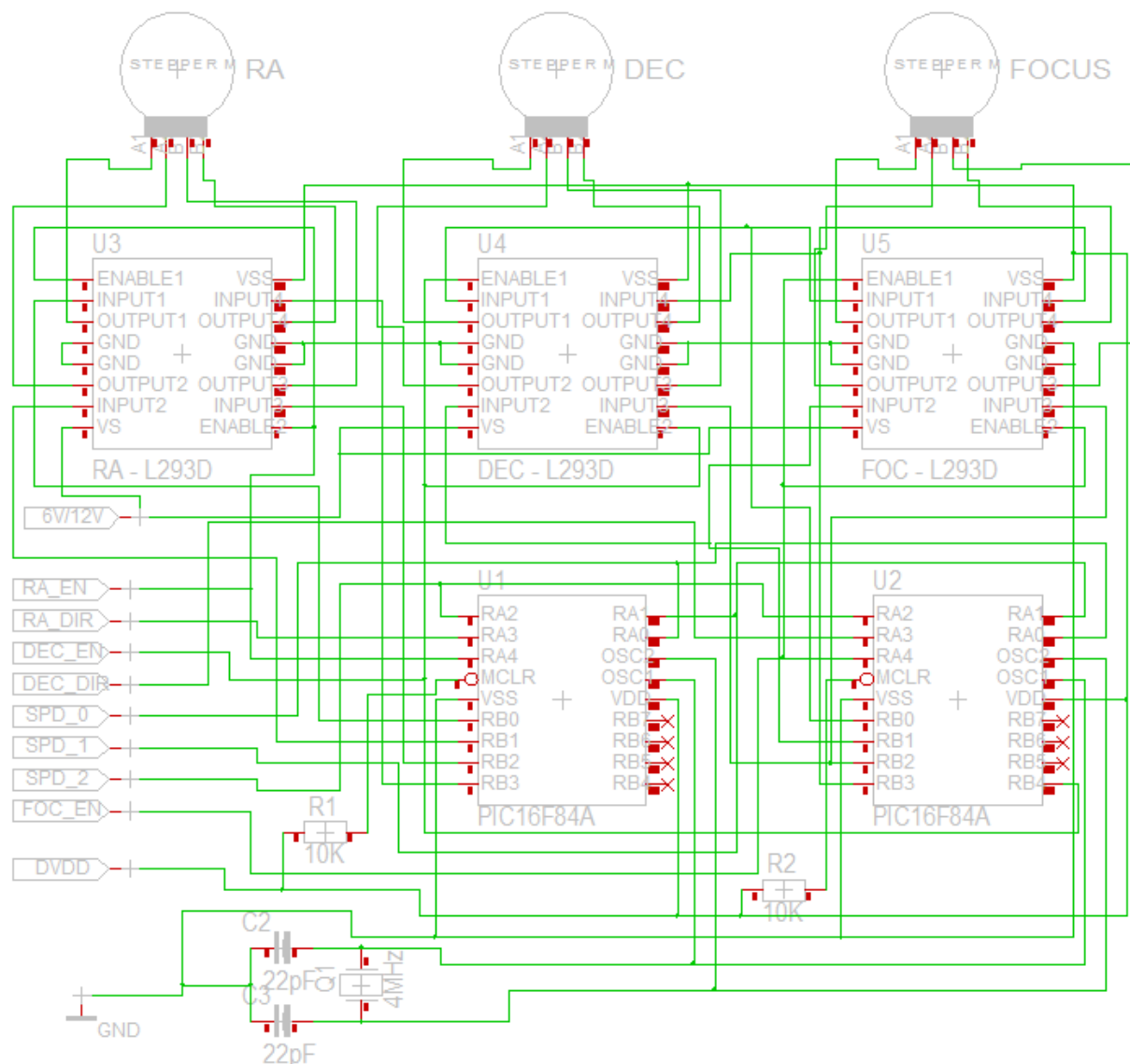
Ta del vezja (mikrokrmilnik s programom) ima poleg sprejema 8b ukaza še tri pomembne funkcije:

- Skrbi, da ni mogoče vklopiti motorja DEC in FOKUS istočasno, kar bi lahko privedlo do napačnega delovanja.
- Prepreči, da bi deloval motor FOKUS istočasno z motorjem RA, ko ta deluje na višjih hitrostih. To je potrebno za preprečitev velike porabe toka in padca napetosti, kar privede do nizkega navora in motorja posledično nista dovolj močna za normalno delovanje.
- Iz prejetega ukaza izlušči hitrost in v primeru 32X, 16X hitrosti ali če je vključen FOKUS motor, postavi RA1 (priključek 18) v visoko stanje. To je signal V_SW na sliki 8, ki ga naknadno obravnava napajalno vezje in vezje za zvišanje napetosti. Ti dve vezji preklapljata napetost na koračnih motorjih med 6V in 12V v skladu s

signalom V_SW. Če tega ukrepa ne bi bilo, motorji ne bi delovali višjih hitrostih. Več o tem sledi v naslednjem poglavju.

3.1.2 Vezje za krmiljenje koračnih motorjev

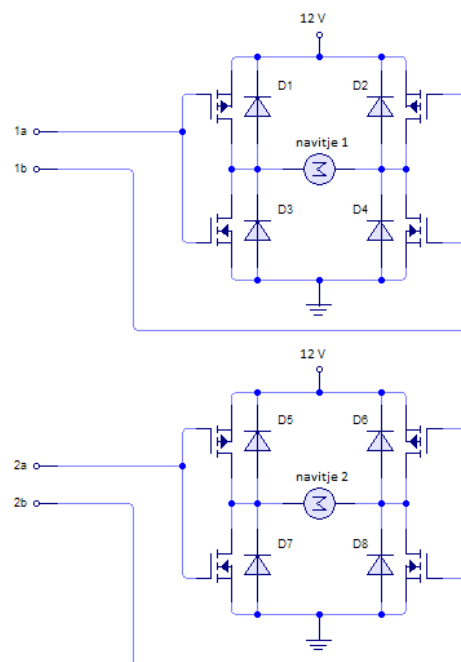
Ta podsistem sprejema signale, izpeljane iz ukazov, in ustrezno krmili koračne motorje. Vezje sestoji iz dveh mikrokrmilnikov tipa PIC16F84A, treh 4-kanalnih gonilnikov L293D in nekaj ostalih komponent, potrebnih za delovanje. Eden izmed mikrokrmilnikov je zadolžen za sprejem dela ukaza, ki se nanaša na motor RA, in kreiranje krmilnega signala za motor RA. Drugi mikrokrmilnik je zadolžen za preostala motorja.



Slika 13. Shema vezja, ki krmili koračne motorje.

Prvi mikrokrmilnik torej prejme signal za vklop RA motorja na RA4 in signal za smer RA motorja na RA3, hitrost pa na RA0 do RA2. Tako so izrabljena celotna vrata A za prejem dela ukaza, potreben za krmiljenje motorja RA. Za gnanje motorja potrebujemo 4 signale, ki jih dobimo na RB0 do RB3. Te generira program v mikrokrmilniku, ki glede na hitrost in smer

natančno določi širino vsakega impulza in sekvenco korakov. Če je motor izklopljen, na izhodu ni aktivnega signala. Ti štirje signali se priključijo na 4 priključke enega od gonilnikov L293D, ki motorjem dovedejo zadostno napetost in tok, česar samo z uporabo mikrokrmilnikov ne bi bilo možno izpeljati. To vezje prav tako prejme signal za vklop/izklop motorja RA. L293D je integrirano vezje, ki vsebuje 4 polovične H-mostove, kar zadostuje ravno za krmiljenje enega motorja. L293D v bistvu vsebuje tranzistorje, ki jih odpiramo s štirimi signali, sami pa dovoljujejo višjo napetost in prepuščajo večji tok kot izhodi na mikrokrmilniku. To vezje prav tako omogoča menjanje smeri toka, kar pravzaprav potrebujemo za delovanje koračnih motorjev. Več o L293D vezju si lahko preberete v [10]. Naslednja shema prikazuje princip delovanja gonilnikov L293 in H-mostov nasploh.



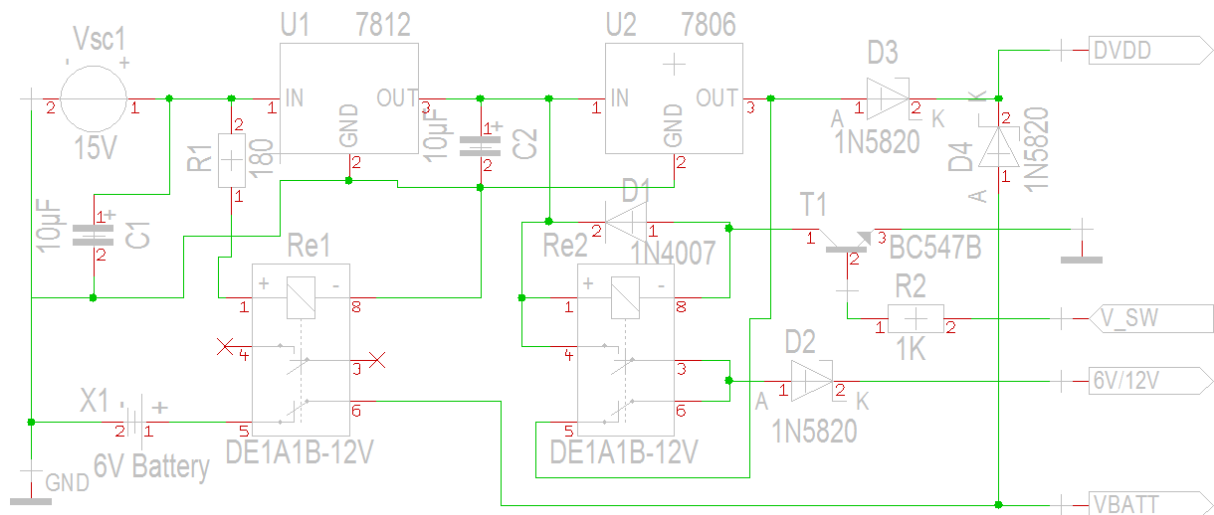
Slika 14. Princip delovanja gonilnika L293.

Drugi mikrokrmilnik prejme signal za vklop/izklop motorja FOKUS na RA4, smer za motor DEC na RA3, na RA0 do RA2 hitrost, na RB4 pa signal za vklop/izklop motorja DEC. Na priključkih RB0 do RB3 program v mikrokrmilniku generira signal za motor DEC ali motor FOKUS, odvisno kateri je vklopljen. Če sta oba izklopljena, na izhodu ni aktivnega signala. Oba hkrati ne moreta biti vklopljena, saj signala za vklop obeh nikoli nista v visokem stanju hkrati, za kar poskrbi že prej omenjeno vezje. Motor DEC deluje v skladu s podano hitrostjo, smerjo in vklopom, motor FOKUS pa ima v programu določeno fiksno hitrost in mu lahko podamo le smer in vklop. Izhod iz tega mikrokrmilnika (4 signali) torej vodijo na dva gonilnika L293D, kateri vsak še posebej prejme signal za vklop/izklop posameznega motorja.

Vsi trije gonilniki L293D so povezani vsak preko 4 linij na motor, ki ga krmilijo. Vsak gonilnik ima napajanje za logiko (5V) in posebej za motorje (6V/12V).

3.1.3 Napajalno vezje

V osnovi celotno vezje potrebuje napetost 5V, saj na tej napetosti delujejo vsa logična vezja: MAX232, PIC16F84A in logični del L293D. Koračna motorja, ki sta vgrajena na postavitvi teleskopa, ne delujeta na tako nizki napetosti. Pri nižjih hitrostih, ko je navor še zadosten, delujeta na 6V, pri višjih pa je potrebno zvišati napetost nad 10V. V tem primeru je napetost nastavljena na 12V. Motor FOKUS prav tako deluje samo na višjem nivoju napetosti. Iz tega sledi, da moramo napajanje logičnega dela (logična napajalna linija) vezja ločiti od napajanja gonilnikov in s tem motorjev (napajalna linija za motorje).



Slika 15. Shema vezja, ki napaja ostala vezja.

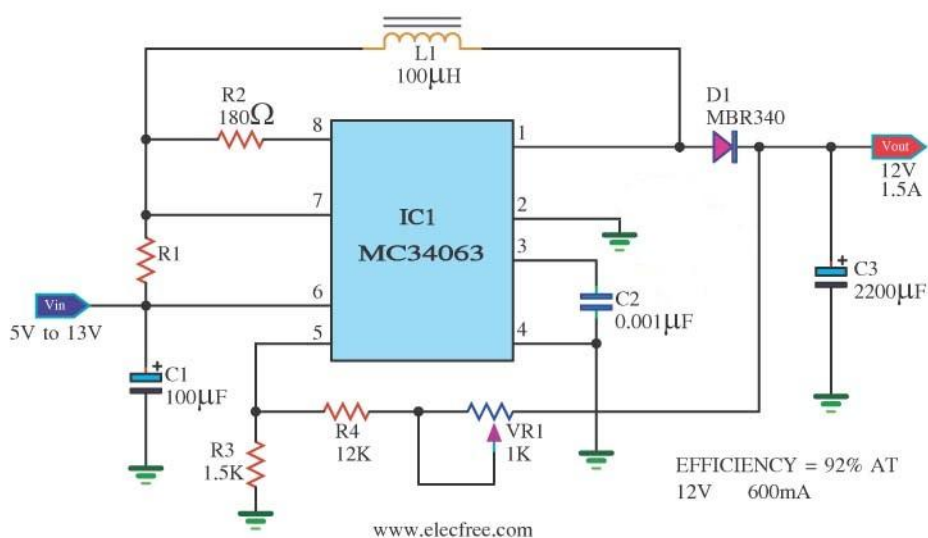
Tako je za napajanje motorjev potrebno posebno vezje, ki preklaplja med napetostnima nivojema 6V pri hitrostih do 16X na 12V pri hitrostih 16X in 32X. Tu nam prav pride signal V_SW iz prvega podvezja (glej sliko 8), ki se postavi na logično enico ob hitrostih 16X in 32X in ob vklopu motorja FOKUS. Ta signal je tako pripeljan na bazo tranzistorja BC547, ki vklaplja/izklaplja rele, ta pa preklaplja med napajanjem 6V in 12V. Potrebna sta le še ta dva nivoja napetosti, ki pa ju ločeno dobimo z uporabo napetostnega regulatorja 7812 za 12V napetost in regulatorja 7806 za 6V napetost. Regulatorja sta precej neučinkovita, ko jima za vhod damo 15V napetost, predvsem 6V regulator, saj vso razliko moči (razlika napetosti pri določenem toku) odvede v toploto. Zaradi tega je potrebno hladilno rebro na obeh regulatorjih, saj se precej grejeta. Oznaka 6V/12V na sliki 11 predstavlja skupno napajalno linijo za motorje, na katero je priklopljen vir napajanja iz tega vezja prek diode. Za zaščito tranzistorja, ki vklaplja rele, je potrebna še povratna dioda na releju.

Ostali del tega podvezja služi za napajanje logičnega dela celotnega vezja. Ko je vezje napajano iz 15V omrežnega adapterja, je zaželeno vgrajen akumulator nekako odklopiti od vezja. Zaradi tega je v vezju prisoten dodaten rele, ki ob vklopu omrežnega adapterja vklopi rele, ki odklopi pozitiven priključek akumulatorja od skupne napajalne linije vezja DVDD, saj 5V napajanje v tem primeru preko diode nudi izhod iz napetostnega regulatorja 7806. Ko pa omrežni adapter odklopimo od vezja, se rele izklopi in priklopi pozitiven priključek akumulatorja na skupno napajalno linijo, ki gre direktno (VBATT) na vezje za zvišanje

napetosti za motorje in na vezje za detekcijo nizke napetosti, prek diode pa na logični del vezja (DVDD).

3.1.4 Vežje za zvišanje napetosti pri baterijskem napajanju

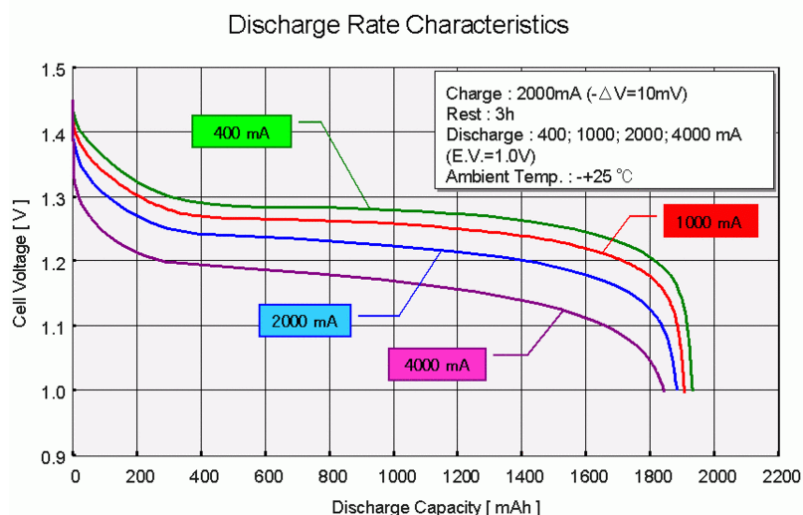
Vežje je zasnovano tako, da omogoča tudi baterijsko napajanje. V ohišju, kjer leži vežje, je prostora za le 4 akumulatorske baterije tipa AA, od tega ima lahko vsaka predvideno najmanj 1.15V in največ 1.4V, kar nanese skupno napetost serijsko vezanih akumulatorjev med 4.6V in 5.6V. V tem napetostnem razponu deluje večina logičnih TTL vezij brez dodatnih ukrepov. Problem nastane pri motorjih, ki potrebujejo 6V/12V napetost. V ta namen je v vežje vključeno podvežje, ki zviša napetost napajalne linije za motorje s približno 5V iz baterijskega izvora VBATT na 6V/12V. Vežje je precej enostavno, saj vsebuje le DC-DC konverter čip MC34063 o katerem lahko preberete več v [11], nekaj uporov, kondenzatorjev in tuljavo. Naslednja slika predstavlja nespremenjeno vežje.



Slika 16. Nespremenjena shema vežja za zvišanje napetosti.

Vežje je v osnovi mišljeno, da na izhodu posreduje konstantno izbrano napetost ob pravilni izbiri upora R_4 (glej sliko 12). Za izhod 12V mora biti R_4 enak 12KOhm, za izhod 6V pa 5.5KOhm. Ta problem je rešen tako, da je vzporedno z 12KOhm uporom vezan upor 10KOhm in rele, ki je ob potrebi 6V napetosti staknil paralelno skupaj upora 12KOhm in 10KOhm, sicer pa ne. Ta rele je krmiljen z istim signalom V_SW preko tranzistorja kot prej omenjeni rele, ki preklaplja med napetostnima nivojema, ko ne gre za baterijsko napajanje. To je prikazano na naslednji shemi.

To vezje deluje le v primeru baterijskega napajanja vezja – oznaka VBATT. Rdeča LED dioda se prižge, ko nivo napetosti pade pod 4.6V. Ta vrednost je bila izbrana s poizkusi. Ustrezno je nastavljen tudi variabilni upor R2 (glej sliko 14). LED dioda lahko zasveti tudi že ob večjih obremenitvah akumulatorja, ko ta še ni popolnoma prazen. Ob uporabljenem tipu akumulatorjev Eneloop in grafa karakteristike praznenja, povzetega iz [13], je ocenjeno, da pri nivoju napetosti 4.6V ostane v akumulatorjih v povprečju še cca. 3.1% uporabne kapacitete pri predvidenem povprečnem toku praznenja okoli 100mA. V tem primeru ima ena akumulatorska celica napetost 1.15V. V praksi je bila preostala kapaciteta potrjena in zadostuje še za 8 do 60 minut delovanja vezja, odvisno od intenzivnosti uporabe.



Slika 19. Karakteristična krivulja praznenja akumulatorjev.

3.2 Poraba energije in čas delovanja

Glede na to, da lahko vezje napajamo iz akumulatorjev, kar prispeva k mobilnosti celotnega sistema, je smiselno vedeti kako potratno je to vezje. Prva obravnavana stvar bo poraba toka, ko je bilo prisotno akumulatorsko napajanje (5V). Tokovi so bili izmerjeni direktno na akumulatorjih v mirovanju, ko je deloval eden od motorjev in ko sta delovala dva. Iz tokov in napetosti je bila izračunana še poraba moči po različnih hitrostih motorjev. Vse to prikazuje naslednja tabela.

Hitrost	RA/DEC [mA]	RA/DEC [W]	RA+DEC [mA]	RA+DEC [W]
mirovanje	56	0.28	56	0.28
1x	94	0.47	133	0.665
2x	103	0.515	152	0.76
4x	121	0.605	191	0.955
8x	160	0.8	230	1.15
16x	210	1.05	310	1.55
32x	270	1.35	450	2.25

Tabela 3. Poraba toka in moči pri delovanju enega ali dveh koračnih motorjev.

Tokovi so bili izmerjeni tudi znotraj vezja na posameznih napajalnih linijah. Prva je linija za napajanje vezja, kjer je napetost 5V, druga pa je linija za napajanje koračnih motorjev, ki ima napetost 6V ali 12V, odvisno od hitrosti motorjev. Naslednja tabela prikazuje porabo toka v vezju po različnih napetostnih linijah ob delovanju enega od motorjev RA ali DEC na baterijskem napajanju (5V).

Hitrost	5V [mA]	6V [mA]	12V [mA]	Na bateriji [mA]
mirovanje	43.7	4.8	0	56
1x	70.8	9.8	0	94
2x	70	14.5	0	103
4x	69	23.9	0	121
8x	67.2	44.5	0	160
16x	102.4	0	128.5	210
32x	99	0	45.9	270

Tabela 4. Poraba toka na posamezni napetostni liniji vezja na baterijskem napajanju.

Naslednja tabela prikazuje porabo toka v vezju po različnih napetostnih linijah ob delovanju enega od motorjev RA ali DEC na napajanju iz adapterja (15V).

Hitrost	5V [mA]	6V [mA]	12V [mA]	Na adapterju [mA]
mirovanje	42.8	4.8	13	75.2
1x	70	9.8	13	109
2x	69.2	14.5	13	113
4x	68.2	23.9	13	122
8x	66.4	44.5	13	141
16x	71.6	0	153.2	270
32x	68.2	0	70.6	162

Tabela 5. Poraba toka na posamezni napetostni liniji vezja ob napajanju iz adapterja.

Zanimivo je tudi, koliko celotne moči porabi vezje za zvišanje napetosti pri baterijskem napajanju in koliko celotne moči porabijo linearni regulatorji napetosti pri napajanju iz adapterja.

Tabela porabe moči in izkoristka linearnih napetostnih regulatorjev, ko gre za 15V napajanje, in izkoristka vezja za povišanje napetosti, ko gre za baterijsko (5V) napajanje:

Hitrost	Baterijsko napajanje (5V)		Napajanje iz adapterja (15V)	
	moč [W]	izkoristek [%]	moč [W]	izkoristek [%]
Mirovanje	0.28	46.83	1.128	35.35
1x	0.47	50.96	1.635	34.54
2x	0.515	53.87	1.695	34.75
4x	0.605	55.38	1.830	34.99
8x	0.8	57.54	2.115	35.70
16x	1.05	59.39	4.05	54.23
32x	1.35	61.73	2.43	48.90

Tabela 6. Poraba moči in izkoristki v vezju.

Izkoristki so bili izračunani tako: $(5/15 * I_{5V} + 6/15 * I_{6V} + 12/15 * I_{12V}) / I_{zunanji}$.

Iz tabele je razvidno, da je izkoristek linearnih regulatorjev v primerjavi z vezjem za višanje napetosti dokaj slab, kar se odraža na gretju teh vezij z odvečno močjo. V ta namen so potrebna hladilna rebra, ki lahko odvajajo do 2W moči v toploti.

Iz teh podatkov in iz predpostavke, da so uporabljeni akumulatorji kapacitete 2000mAh, je bilo tudi izračunano koliko časa bi vezje delovalo na baterijskem napajanju pri delovanju posameznega motorja ali dveh pri določeni hitrosti, kar prikazuje naslednja tabela.

Hitrost	En motor [v urah]	Dva motorja [v urah]
Mirovanje	35.7	
1x	21.28	15.04
2x	19.42	13.16
4x	16.53	10.47
8x	12.5	8.7
16x	9.52	6.45
32x	7.41	4.44

Tabela 7. Čas delovanja vezja pri posamezni hitrosti.

Ti časi so izračunani glede na kapaciteto akumulatorjev 2000mAh, kar pomeni da so povsem teoretični. Časi so bili izmerjeni tudi praktično, ki pa so bili zelo blizu izračunanim. Vezje je namreč delovalo v mirovanju 33 ur in 20 minut, ko je rdeča LED dioda začela počasi svetiti (preračunano 4.76% preostale kapacitete). Polno je svetila po 33 urah in 55 minutah, ko je ostalo še približno 3.1% uporabne kapacitete, za tem pa je vezje delovalo še do konca 35. ure. Iz časa delovanja je bila izračunana tudi praktična kapaciteta uporabljenih akumulatorjev, ki je 1960mAh. Z uporabo boljših akumulatorjev z višjo kapaciteto bi lahko vezje delovalo sorazmerno več časa. Še eden od praktičnih izračunov bi lahko vseboval povprečno hitrost in s tem porabo v celotnem času delovanja in čas delovanja, ki iz tega izhaja. Tako bi na primer pri 75% časa sledenja enega motorja na 1X hitrosti in 25% časa pozicioniranja na 32X hitrosti, pri čemer delata v najslabšem primeru oba motorja, dobili čas delovanja vezja 10.93 ur, kar zadostuje za normalno uporabo.

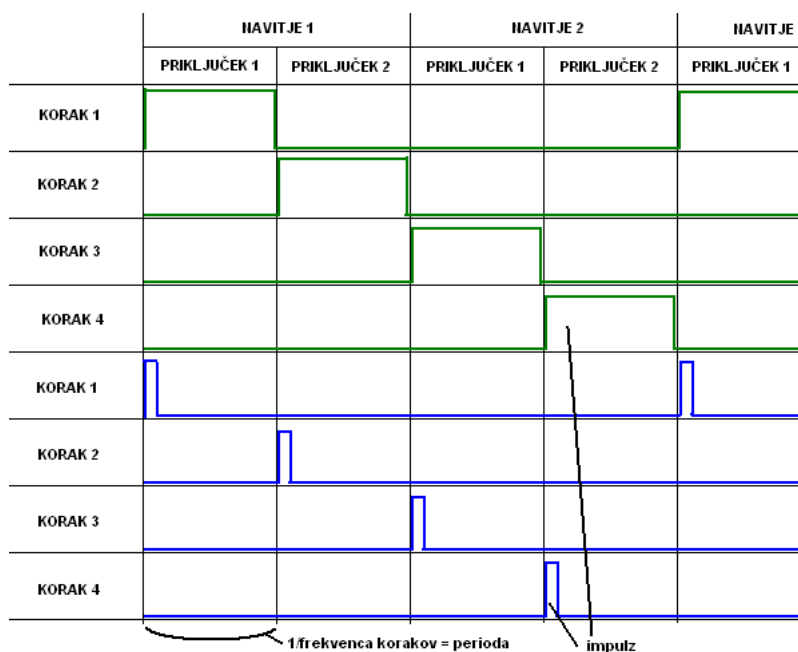
Ko se rdeča LED dioda polno prižge nam baterijsko napajanje omogoča še 3.1% kapacitete, v tem primeru 60.8 mAh. S tako kapaciteto lahko ženemo en motor pri 1X hitrosti še dobro uro, na 32X hitrosti pa 13.5 minut.

3.3 Natančnost pozicioniranja teleskopa

V tem sistemu je natančnost pozicioniranja odvisna od večih dejavnikov. Primarno gre za natančnost in resolucijo same postavitve. Motorja za gnanje osi sta pritrjena na polža, ki vrti zobnik, na katerem je os. Prestavno razmerje na postavitvi je 1:144, v samem koračnem motorju pa 1:120, skupno 1:17280. Za en obrat osi teleskopa se mora motor obrniti 17280-krat. Iz tega sledi, da bi se pri 1X hitrosti osi teleskopa moral motor obračati s frekvenco 1/5 obrata na sekundo. Ker imajo uporabljeni koračni motorji 48 korakov na obrat, morajo narediti 9.6 korakov na sekundo za 1X hitrost. Naslednja tabela prikazuje frekvence korakov za različne hitrosti in frekvence na posameznih priključkih motorja.

Hitrost	Frekvenca koraka	Frekvenca priključka
1x	9.6	2.4
2x	19.2	4.8
4x	38.4	9.6
8x	76.8	19.2
16x	153.6	38.4
32x	307.2	76.8

Tabela 8. Frekvence korakov in impulzov na enem priključku za različne hitrosti.



Slika 20. Impulzi širine cele periode (zelena) in krajši impulzi (modra).

Da bi koračni motorji delovali s pravilno hitrostjo, je potreben natančen program, ki daje na izhodu impulze pravih širin. Sprva je bil napisan tak program, ki je na izhodu dajal impulze takih širin, da je venomer tekel tok na enem navitju v neko smer in da se impulzi niso prekrivali po korakih. Ker je konstantno tekel tok, je bila poraba dokaj velika, zato je bilo potrebno preizkusiti, s kakšno najmanjšo širino impulza motor še dovolj dobro deluje na posamezni hitrosti. Končna ugotovitev je bila, da mora biti za zadovoljiv navor pri hitrostih 1x do 8x impulz širok najmanj 10 milisekund. Pri hitrostih 16x in 32x je bilo treba impulz še skrajšati zaradi višje frekvence. Iz tega sledi, da moramo v splošnem elektromagnete v motorju vsako periodo vzbuhati vsaj 10ms, da lahko vzdržujemo vrtenje motorja. Ta ukrep je zelo zmanjšal porabo vezja ob delovanju motorjev, sploh pri nižjih hitrostih. Zožitev impulza v periodi koraka je grafično predstavljen na sliki 16, numerično za vsako hitrost pa v naslednji tabeli.

hitrost	Frekvenca korakov [Hz]	Perioda korakov [s]	Visoko stanje [s]	Nizko stanje [s]	Delež nizkega stanja v periodi [%]	Delež visokega stanja v periodi [%]
1x	9,6	0,10416667	0,01	0,09416667	90,4	9,6
2x	19,2	0,05208333	0,01	0,04208333	80,8	19,2
4x	38,4	0,02604167	0,01	0,01604167	61,6	38,4
8x	76,8	0,01302083	0,01	0,00302083	23,2	76,8
16x	153,6	0,00651042	0,00651042	0	0	100
32x	307,2	0,00325521	0,00325521	0	0	100

Tabela 9. Širine in deleži visokega in nizkega stanja periode za vsako hitrost.

Ker program v mikrokrmilniku teče s frekvenco 1MHz, je potrebno čase nizkega in visokega izhoda zaokrožiti na 1 mikrosekundo. Čas visokega stanja periode oz. impulza je v večini primerov 10ms, kar lahko nastavimo točno, ostalih časov pa na žalost ne moremo. Razlike med teoretičnimi in praktičnimi časi nizkega stanja so odmiki v urinih periodah zaradi samega izvajanja programa. Tako pridemo do napak pri posamezni hitrosti, ki so prikazane v naslednji tabeli.

Hitrost	Visoko st. [us]	Odmik [us]	Nizko st. [us]	Dejansko n. St.(ali v.st.)	Napaka v n. st. v %	Skupna napaka v %
1x	10000	45	94121,67	94122	-0,0003506100	-0,000316801
2x	10000	39	42044,33	42044	0,0007848858	0,000633595
4x	10000	33	16008,67	16009	-0,0020613829	-0,001267226
8x	10000	27	2993,83	2994	-0,0056783451	-0,001305674
16x	6510,42	43	0	6467	0,0064960888	0,006452763
32x	3255,21	33	0	3222	0,0065172660	0,006450776

Tabela 10. Napake pri različnih hitrostih.

Tu je za predstavo ustrezno navesti, da se zaradi napake pri 1X hitrosti os teleskopa ne obrne v celoti v 24 urah ali 86400 sekundah, ampak zamuja za 0,027372 sekunde. Pri 32X hitrosti bi os v 24 urah prehitevala za 0,557366 sekunde. To je dokaj majhna napaka, za znižanje katere je odgovorna natančna programska koda v mikrokrmilniku. Ta napaka je v praksi tako majhna da se je ne zazna.

3.4 Programska oprema v mikrokrmilnikih

V vezju so prisotni trije mikrokrmilniki od katerih ima vsak svoj namen in programsko kodo, ki teče na njih. Vsa programska oprema je bila napisana v zbirnem jeziku za PIC mikrokrmilnike v programskem okolju MPLAB IDE v. 8.63 podjetja Microchip. Zaradi enostavnosti in lažjega razumevanja bo programska koda na vseh mikrokrmilnikih opisana v psevdokodi.

3.4.1 Mikrokrmilnik, ki sprejema ukaze

V tem mikrokrmilniku se nahaja približno 120 vrstic kode v zbirniku, psevdokoda sledi:

- Nastavitve mikroprocesorja, vhodov/izhodov, spremenljivk, hitrosti sprejema.
- Klic podprograma za sprejem serijskega bajta.
 - Čakanje na začetni bit (nizek napetostni nivo na vhodu).
 - Sprejem 8b in pomik v bajt v zanki.
- Zaščita 1: fokus motor dela le, če dela RA motor na 1X hitrosti ali je izklopljen.
- Zaščita 2: izmenično delovanje fokus motorja in DEC motorja.
- Pisanje sprejetega ukaza na izhodne priključke PIC-a – vrata B.
- Postavitev RA1 (za preklop s 6V na 12V), ko gre za 16X ali 32X hitrost ali vklop FOKUS motorja.

Koda v tem mikroprocesorju je precej enostavna. Obrazložiti velja le dve t.im. zaščiti, ki sta bili dodani naknadno. Prva zaščita služi praktičnemu namenu in sicer preprečuje preobremenitev vezja zaradi velikega toka, ki steče ob vklopu fokus motorja in še enega na višji hitrosti. Pri večji obremenitvi namreč pade napetost in navor na obeh motorjih postane prenizek. Druga zaščita je že bila omenjena v poglavju, kjer je opisana struktura ukazov, vključena pa je zato, ker krmilnik za FOKUS motor za krmiljenje vzame del ukaza, ki je sicer namenjen za DEC motor. Ta zaščita je tu predvsem zaradi kratkega ukaza in praktičnosti, saj FOKUS in DEC motorja nikoli ni potrebno krmiliti hkrati.

3.4.2 Mikrokrmilnik, ki krmili RA motor

V tem mikrokrmilniku se nahaja okoli 380 vrstic kode, vključno s komentarji, psevdokoda sledi:

- Nastavitve mikroprocesorja, vhodov/izhodov, spremenljivk.
- V zanki se čaka na vklop motorja (omogočimo preko RA4).
- Ko jemotor omogočen, se glede na smer (RA3) postavi na CW ali CCW zanko.
- V CW ali CCW zanki se piše signal na 4 izhode vrat B:
 - Na izbran izhod se postavi logična 1 in skok v podprogram.
 - Branje hitrosti na vhodih vrat A.
 - Če gre za hitrosti nižje od 16X se čaka v izbrani zanki: 10ms – vmesni ukazi v us.
 - Če gre za hitrosti 16X ali 32X, se čaka v izbrani zanki celo periodo.
 - Na isti izhod se piše logična 0 in čaka ostanek periode v podprogramu glede na hitrost.
 - Branje hitrosti na vhodih vrat A.
 - Če gre za nižjo hitrost od 16X, skok v izbrano zanko, katere čas izvajanja ustreza razliki: perioda-10ms-trajanje vmesnih ukazov.
 - Če gre za 16X ali 32X hitrost, se ne čaka, skok iz podprograma.
 - Branje, če je motor omogočen - če ni, skok v prvo vrstico programa (ne zanke).
 - Branje smeri vrtenja motorja in nadaljevanje v tej zanki (npr. CW) ali pa skok v drugo (npr. CCW).
 - Prejšnje 4 točke se ponovijo za vse 4 izhode za kreiranje sekvence korakov, ki jih motor potrebuje za delovanje.

Program v mikrokrmilniku, ki krmili RA motor, vsebuje dve glavni zanki, za vsako smer vrtenja, kjer se preverja hitrost in generira signal za vrtenje koračnega motorja. Program je sestavljen tudi iz osmih zank, ki predstavljajo »čakanje« mikrokrmilnika za določen čas glede na vhodno hitrost. Tako bi se naprimer pri 1X hitrosti najprej postavil eden od 4-ih izhodov na enico, ki bi bila prisotna 10ms (čaka se v zanki), nato bi na isti izhod pisali ničlo in glede na hitrost v pripadajoči zanki čakali preostanek periode.

3.4.3 Mikrokrmilnik, ki krmili DEC in FOKUS motorja

Program v tem mikrokrmilniku je dolg okoli 560 vrstic (vključno s komentarji) in je zelo podoben prejšnjemu programu. Izjema je, da ima dva glavna dela, eden je za DEC motor in eden za FOKUS motor. Del programa za DEC motor je enak prejšnjemu programu (in vsebuje CW in CCW zanko), le da pred vsakim preverjanjem vklopa motorja preveri še, če je vklopljen FOKUS motor. V tem primeru se izvajanje iz tega dela programa (bodisi CW ali CCW) prestavi v del programa za FOKUS motor. Krmiljenje DEC motorja je enako krmiljenju RA motorja, krmiljenje FOKUS motorja pa je poenostavljeno. Tu namreč motor deluje fiksno na 4X hitrosti in ni potrebno venomer brati bitov na vhodu za hitrost, pa še skokov je manj.

3.5 Možne optimizacije vezja

3.5.1 Manjše število integriranih vezij

Trije mikrokrmilniki tipa PIC16F84 so bili za vezje izbrani predvsem zato, ker se je projekt izdeloval po delih. Drug razlog je cena in dostopnost teh relativno starih mikrokrmilnikov. Manj bi jih lahko uporabili le, če bi imel izbran mikrokrmilnik več vhodno-izhodnih priključkov. Poleg manj mikrokrmilnikov bi se lahko znebili tudi integriranega vezja MAX232, če bi uporabili zmogljivejši mikrokrmilnik.

3.5.2 Znižanje porabe vezja

Če bi bili mikrokrmilniki sprogramirani tako, da bi ob mirovanju preklopili v stanje spanja, bi se nekoliko prihranilo pri porabi toka v vezju, vendar ne veliko. Prav tako bi se veliko prihranilo z učinkovitejšo zasnovo napetostnih regulatorjev (brez linearnih vezij) in učinkovitejšim vezjem za zviševanje napetosti.

3.5.3 Uporaba USB komunikacije namesto serijske po standardu RS-232

Za tako nadgradnjo bi se odločili izključno zaradi potreb kompatibilnosti, saj je serijske priključke dandanes že res težko zaslediti na modernejših računalnikih. Sicer pa trenutni način komuniciranja in sama hitrost popolnoma zadoščata za ta sistem.

3.5.4 Zmogljivejši gonilniki za zmogljivejše motorje

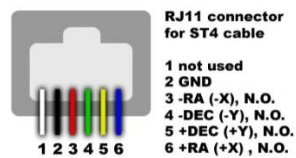
S tem vezjem ni mogoče krmiliti koračnih motorjev, ki trajno porabijo več kot 600mA toka, kar izhaja iz omejitev gonilnikov L293. Če bi bili primorani krmiliti močnejše motorje bi bila primerna alternativa za obstoječe gonilnike gonilniki tipa L298, ki zmorejo do 2A trajnega toka.

3.5.5 Drugačna zasnova ukazov

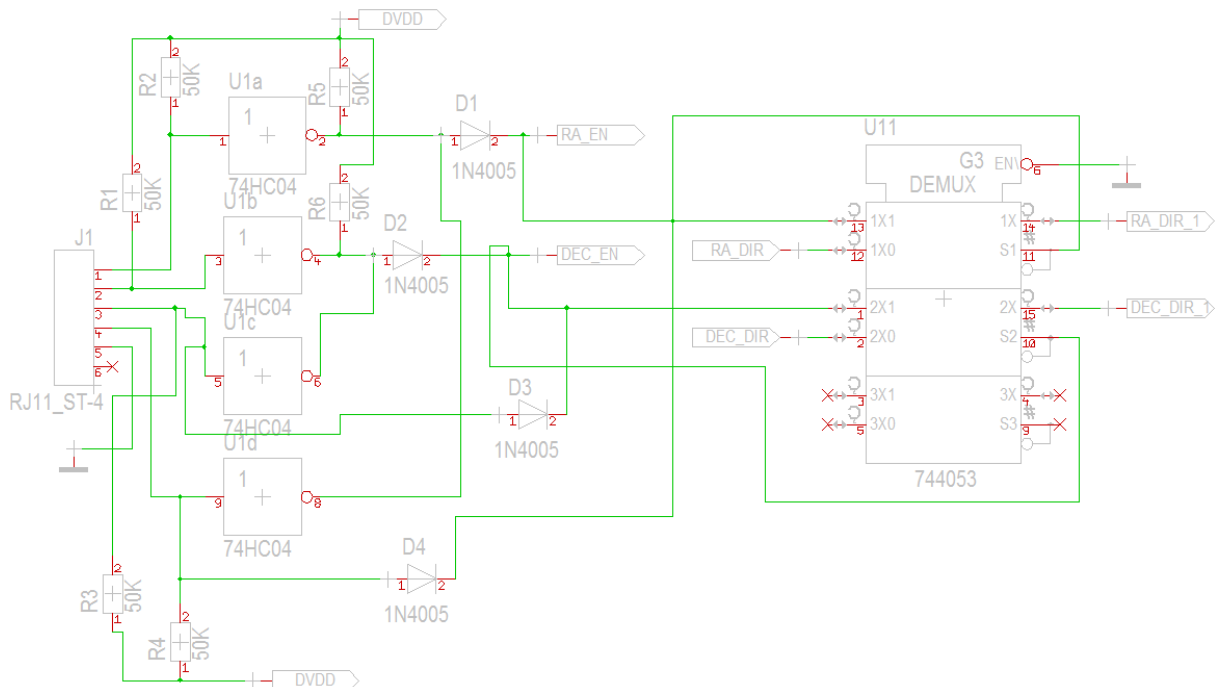
Če bi hoteli spreminjati hitrosti in smeri za vse tri motorje neodvisno, bi morali poseči po drugačni zasnovi ukazov. Tako bi bilo 8b premalo in bi bilo potrebno pošiljati več zaporednih ukazov, ki bi skupno vsebovali informacijo o namenjenih spremembah v krmiljenju.

3.5.6 Dodano vezje za priklop tipkovnice ali autoguiderja

Vežju za krmiljenje teleskopa bi bilo z malo truda mogoče dodati podvezje, ki bi omogočalo priklop tipkovnice s tipkami za vklop posamezne osi v določeni smeri. Istočasno bi tako vezje omogočalo priklop »autoguiderjev«, ki podpirajo ST-4 povezavo po specifikacijah proizvajalca autoguiderjev SBIG.



Slika 21. ST-4 priključek.



Slika 22. Shema vezja, ki omogoča priklop »autoguiderja« v obstoječi sistem.

4 Programski del krmiljenja teleskopa z računalnikom

4.1 Programski jezik in dodatne knjižnice

Program za vodenje teleskopa sem napisal v programskem jeziku Java. V trenutni verziji program obsega okoli 6000 vrstic kode. Za pravilno delovanja vseh sklopov programa je potrebna dodatna knjižnica DSJ oz. DirectShow podpora za Javo, ki je za nekomercialne namene ob registraciji brezplačna, več v [14]. Ta knjižnica poleg ostalih njenih funkcionalnosti programu omogoča delo s priključenimi kamerami. Tako lahko izbiramo med različnimi kamerami v sistemu, jih nastavljamo in najvažneje, program lahko prikazuje sliko s kamere in zajema slike. Zajete slike lahko shranjujemo na disk v poljubnem formatu in s poljubno frekvenco, ki je nižja ali enaka frekvenci zajemanja slik same kamere, prav tako pa lahko sam program zajema slike za potrebe vodenja teleskopa. Ta program je bil napisan izključno za krmiljenje obravnavanega vmesnika za teleskop in ne podpira ostalih vmesnikov in postavitve teleskopov na trgu, prav tako ne podpira ASCOM.

4.2 Uporabniški vmesnik in osnove upravljanja s programom

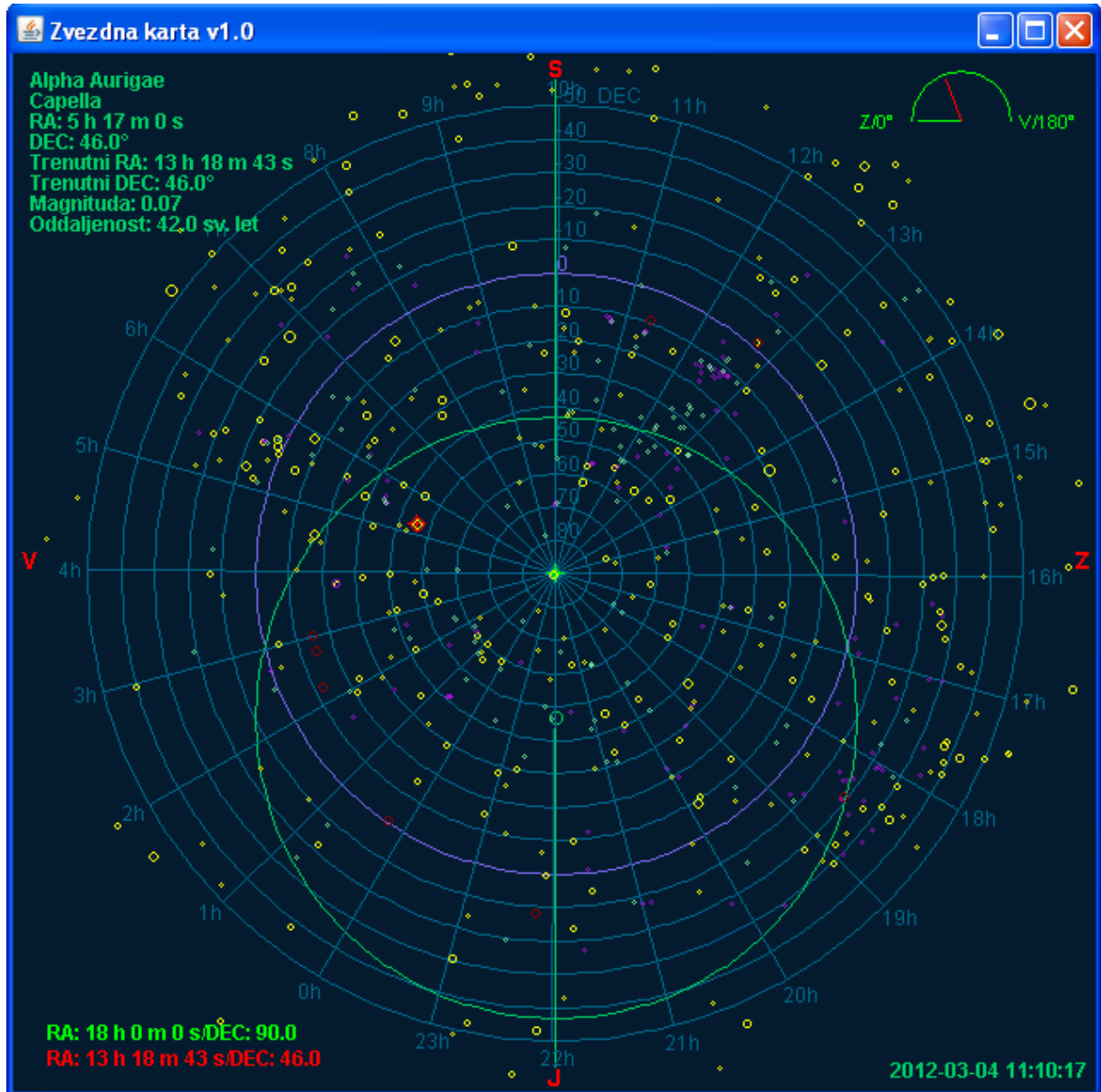
Celoten program je plod mojega dela. Uporabniški vmesnik programa je sestavljen iz zvezdne karte in kontrolnega programa. Vsak del je napisan v lastnem razredu. Najprej se zažene kontrolni del, ki požene zvezdno karto s katero nato komunicira.

4.2.1 Zvezdna karta

Zvezdna karta je bila narejena po vzoru fizičnih vrtljivih zvezdnih kart. Ta del programa v oknu izrisuje nebesne objekte v polarnem nebesnem koordinatnem sistemu in tako simulira nebo na geografski širini Slovenije, ki je okoli 46° . Velikost karte je privzeto 640X640, vendar jo je mogoče poljubno povečati ali pomanjšati, ob čemer se celotna slika relativno skalira. V trenutni verziji zvezdna karta izrisuje 300 najsvetlejših zvezd, 110 Messierjevih nebesnih objektov, 110 izbranih NGC objektov in planete, skupno 528 objektov. Položaji objektov se osvežujejo glede na čas in predstavljajo realno stanje na našem nebu. Vidno polje določa zelena krožnica v spodnjem delu zvezdne karte, prisoten pa je tudi indikator zenita (najvišja točka na nebu). V središču zvezdne karte je 90° po deklinacijskih koordinatah, kjer se približno nahaja Severnica oz. Polaris. Če program pomika trenutno pozicijo k izbranemu objektu v zvezdni karti, ki je bolj ali manj oddaljen od izhodišča, se vklaplja motor DEC. Če program trenutno pozicijo vrti okoli izhodišča, skozi katerega gre polarna os, pa se vklaplja motor RA. Pozicioniranje na izbran objekt je navadno sestavljeno iz premikov obeh motorjev. Koncentrične krožnice na zvezdni karti torej predstavljajo nebesno širino oz. deklinacijo (DEC), ki je izražena v stopinjah. Vijolična krožnica predstavlja nebesni ekvator. Črte, ki gredo iz izhodišča predstavljajo nebesno višino oz. desni pomik (RA), katera je izražena v urah.

Zvezde so na karti prikazane z rumeno barvo, Messier-jevi objekti z vijolično, NGC objekti z zeleno in planeti z rdečo barvo. Vsi objekti se na zvezdni karti premikajo v skladu s trenutnim

časom, njihovo gibanje pa je trivialno in predvidljivo in odvisno samo od časa. Izjema so planeti, saj so našemu planetu in posledično gledišču sorazmerno blizu. Planeti so nam bližje in za njih bi bilo za natančnejšo simulacijo potrebno dodati posebne preslikave njihovih tirov v nebesni koordinatni sistem, vendar te funkcionalnosti v tej verziji programa še ni, zato je treba koordinate planetov vsake toliko časa ročno popravljati v tekstovni datoteki. Podatki o koordinatah planetov so na voljo npr. v programu Stellarium. Koordinate planetov nato zvezdna karta enako osvežuje kot pri zvezdah in ostalih objektih.



Slika 23. Zvezdna karta.

Ob kliku na zelen objekt se v levem zgornjem kotu izpiše ime objekta, koordinate glede na nebesni koordinatni sistem in relativne koordinate glede na trenutni čas, magnituda in pa oddaljenost. Na tej karti lahko kliknemo kamorkoli v območju vidnega polja in tja nas teleskop tudi popelje ob kliku na tipko Start v kontrolnem programu.

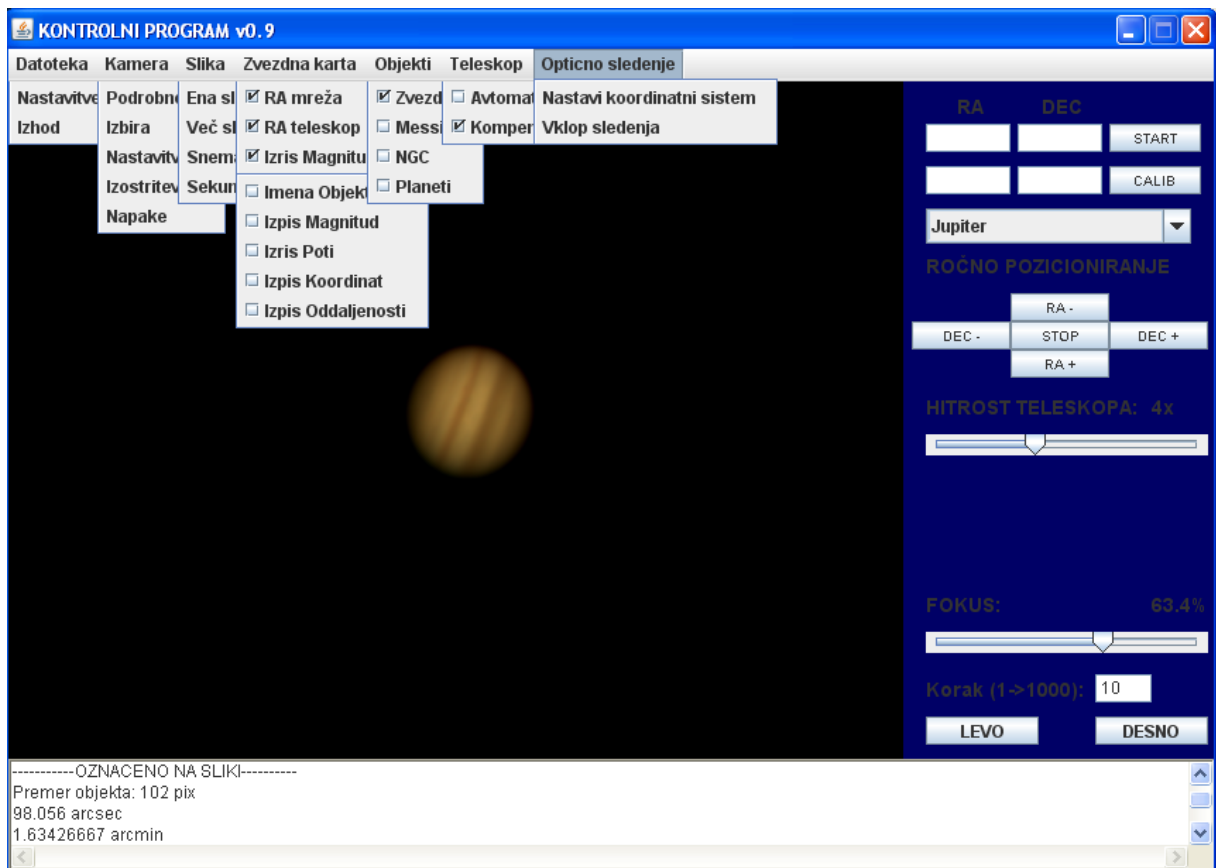
V zgornjem desnem kotu je simuliran pomik RA osi teleskopa. Zelena barvo predstavlja trenutni položaj RA osi teleskopa, rdeča barva pa zelen položaj RA osi.

Spodaj levo so še enkrat prikazane koordinate trenutne pozicije in željenega cilja in spodaj desno trenutni čas. Ob stranicah okna so z rdečo barvo prikazane strani neba.

Na zvezdni karti se med pozicioniranjem z rumeno krivuljo izrisuje tudi simulacija poti teleskopa po nebu in desno spodaj čas do cilja.

4.2.2 Kontrolni del programa

Kontrolni del programa je sestavljen iz več sklopov. V zgornjem delu se nahaja meni v katerem izbiramo med različnimi nastavitvami in vklopjamo in izklapljamo določene funkcije. Na desni strani je okvir, namenjen kontroli pozicioniranja in nasplošno vseh treh motorjev. V sredini je okvir s sliko, ki jo posreduje USB kamera. Spodaj se nahaja tekstovni okvir, kjer se izpisujejo kontrolni izpisi. V nadaljevanju si bomo podrobneje ogledali vsakega od teh sklopov.

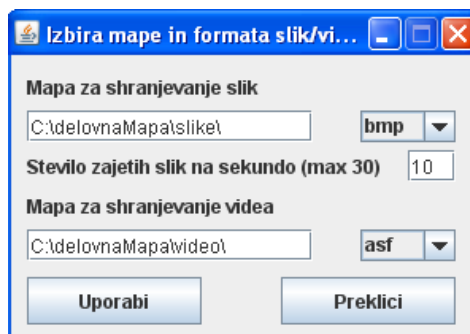


Slika 24. Kontrolni vmesnik.

ZGORNJI MENI

Ta meni vsebuje različne kategorije. Prvi meni se imenuje Datoteka. Prva možnost tega menija so Nastavitve, kjer se nahajajo nastavitve imenikov za zajemanje posameznih slik in

snemanje. Prav tako je mogoča izbira med tipi datotek in število zajetih slik na sekundo. Druga možnost, Izhod, zapre kontrolni program in zvezdno karto.



Slika 25. Okno z osnovnimi nastavitvami

V meniju Kamera se kot prva nahaja možnost Podrobnosti, ki izpiše podrobnosti o priključeni kameri v spodnjem tekstovnem okvirju. Druga možnost je Izbira, kjer lahko izbiramo med prikljčenimi kamerami in formati zajemanja slike. V tem meniju se nahaja tudi Sekundarni video, ki nam odpre dodatno okno z videom druge, neizbrane kamere, če je ta priklopljena v sistem. Naslednja opcija je Avtomatsko ostrenje. Ob kliku se preko namenskega algoritma za ostrenje krmili fokus motor, istočasno pa se preverja ostrino slike. Tako se samodejno nastavi optimalna ostrina slike. Naslednja opcija je Izris ostrine, s klikom na katero se v posebnem oknu izrisujejo z belo barvo ostrini robovi slike. Ta funkcija nam je lahko v pomoč ob ročnem nastavljanju ostrine, saj se v tekstovnem okvirju izpisuje tudi število »ostrih« pikslov. Zadnja opcija v tem meniju je Napake, ki nam ob kliku označi napake na sliki, ki prihaja s kamere. To so v večini piksli, ki so veliko svetlejši od povprečja, ti pa ponavadi nakazujejo napako na slikovnem senzorju ali previsoko nastavljenim ojačanjem slike (gain) v možnosti Nastavitve.



Slika 26. Okno, namenjeno izbiri kamere in formata

Tretji meni je Slika, kjer se nahaja izbira Ena slika, ki nam ob kliku zajame bitno sliko s kamere in jo shrani v imenik, ki smo ga nastavili pod Datoteka/Nastavitve. Ime slike nosi informacijo o položaju teleskopa in času. Druga izbira je Več slik, ki ob kliku zajame več slik s kamere s frekvenco in v imenik, ki smo ju nastavili v Datoteka/Nastavitve. Na začetku zajemanja slik se v izbranem imeniku ustvari podimenik, katerega ime nosi informacijo o času začetka zajemanja slik, sama imena slik pa nosijo informacijo o položaju teleskopa, času in pa zaporedno številko slike. Zajemanje končamo z zaprtjem dodatnega okvira s sliko. S klikom na izbiro Posnetek se začne zajemanje slike v video datoteko takega tipa in v tak imenik, kot ga izberemo v Datoteka/Nastavitve. Snemanje končamo z vnovičnim klikom na to izbiro.

V meniju Zvezdna Karta se nahajajo opcije za prikazovanje podrobnosti na zvezdni karti. Prva izbira je RA mreža, katera, ko je omogočena, izrisuje razmejitev RA osi na 1h. Druga izbira je RA teleskop, ki v zgornjem desnem kotu zvezdne karte izrisuje simulacijo dejanske absolutne pozicije RA osi na teleskopu, ki je namenjena, da se premika med vzhodom (0°) in zahodom (180°). Tretja izbira, Izris Magnitud, omogoči prikazovanje nekaterih objektov v zvezdni karti ne le kot točke, vendar jih izrisuje po velikosti sorazmerno z njihovimi magnitudami. Naslednje izbire v tem meniju poleg objektov izpisujejo dodatne lastnosti.

V meniju Objekti se nahajajo izbire za izris posameznih skupin objektov na zvezdni karti.

Meni Teleskop vsebuje nastavitve Avtomatsko RA, ki ob kliku samodejno vklopi RA motor, katerega hitrost je nastavljena na hitrost kroženja Zemlje. To nastavitve želimo vklopiti, ko teleskop ročno pozicioniramo na nek objekt, katerega bi radi obdržali v vidnem polju kamere. Ob programskem pozicioniranju na nek objekt se ta opcija sama postavi in ni nam treba skrbeti, da bi objekt odplaval iz slike. Druga opcija v tem meniju je Kompenzacija vrtenja Zemlje, katera v izračunih za programsko pozicioniranje upošteva vrtenje Zemlje med časom samega pozicioniranja in natančno popravi krivuljo potovanja teleskopa na željeno točko v koordinatnem sistemu. Zemlja se namreč med samim pozicioniranjem vrti in izbrana točka čez nekaj časa ne bo več na istem mestu.

Meni Optično sledenje vsebuje funkcijo Nastavi koordinatni sistem, ki ob kliku premakne enega od motorjev in odčitava premike na zajetih slikah. Tako se ugotovi za kakšen kot je zasukana kamera glede na premike teleskopa in realnega koordinatnega sistema. S pomočjo te funkcije lahko nato vklopimo naslednjo funkcijo v meniju z imenom Vkllop Optičnega Sledenja, ki periodično preverja premike objektov v zajetih slikah in ustrezno popravlja pozicijo teleskopa s krmiljenjem motorjev. Tako so objekti na sliki vedno statični. S to metodo popravljamo manjše napake v postavitvi teleskopa oz. osi RA proti vrtilšču nebesnega koordinatnega sistema, ki je blizu Severnice.

DESNI MENI IN TEKSTOVNI OKVIR

V tem meniju se zgoraj nahajajo polja za vnos RA in DEC koordinat izbranega objekta, na katerega bi radi pozicionirali teleskop. Še pred tem je potrebno vnesti koordinate trenutnega stanja teleskopa in pritisniti tipko Kalibriraj. Koordinate lahko v polja vnašamo v formatu stopinje_minute_sekunde ali pa v formatu stopinje.decimalnaMesta. Če sta prvi dve polji ob pritisku na tipko Start prazni, program vzame za ciljno pozicijo izbran objekt v zvezdni karti, ki je označen z rdečim krogcem, sicer vzame vrednosti iz polj. Naslednji element v tem meniju je seznam za izbiro ciljnega objekta. Z izbiro objekta v tem seznamu ima ta prednost pred izbranim objektom v zvezdni karti in vpisanimi koordinatami v prvih dveh poljih. Ob kliku na Start se teleskop v tem primeru pozicionira na objekt izbran v seznamu. V tem seznamu lahko izberemo tudi ciljni poziciji, ki je enaka trenutni; v tem primeru se s Klikom na Start ne zgodi nič, saj ciljna pozicija že ustreza trenutni. Prav tako lahko v tem seznamu izberemo objekt, ki ustreza ciljni poziciji izbranega objekta v zvezdni karti.

Naslednji element menija je skupina tipk za ročno krmiljenje teleskopa, ki vsebujejo vklope obeh smeri za oba motorja in izklop vseh motorjev. Pod tem menijem lahko z drsnikom nastavljamo hitrosti obeh motorjev hkrati, kjer je najmanjša hitrost 1x in ustreza hitrosti vrtenja Zemlje in največja hitrost 32x.

Pod tem drsnikom se nahaja še en drsnik, s katerim nastavljamo absolutno pozicijo položaja fokuserja na teleskopa, katerega premika fokus motor z natančnostjo 1/1000 celotnega hoda fokuserja. Fokuser lahko natančneje nastavljamo s tipkama Levo in Desno, ki prav tako premikata fokuser, vendar s korakom, ki je izbran poljubno med 1 in 1000. S tema dvema tipkama lahko fokuser premikamo tudi izven absolutnih vrednosti, ki jih omejuje drsnik.

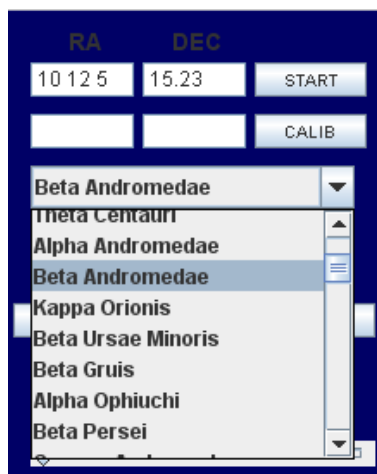
V spodnjem delu okna kontrolnega programa se nahaja tekstovni okvir, kjer se izpisujejo statusi vklopov/izklopov določenih funkcij in ostali kontrolni izpisi, namenjeni tudi naprednejšim uporabnikom. Kar se izpisuje v tem oknu se vpisuje tudi v dnevniško datoteko posamezne seje, ki se shrani v izbran imenik.

OKVIR S SLIKO

Najvidnejši del kontrolnega programa je okvir s sliko, ki jo pošilja priključena USB kamera. Ker je priključena kamera omejena na velikost 640x480 pikslov, je tudi ta okvir omejen z isto velikostjo, prikazuje pa lahko tudi manjše velikosti. Ob kliku na sliko se v spodnjem tekstovnem okvirju izpiše barva izbranega piksla. Če z miško kliknemo in povlečemo čez del slike, se izpiše navidezni premer objekta v pikslih in v ločnih stopinjah. To je seveda odvisno od povečave, v tem primeru pa je prednastavljeno na predvideno goriščno razdaljo 1200mm in okularni ekvivalent uporabljene CCD kamere, ki znaša 6mm. Iz tega sledi 200x povečava, 1 piksel na sliki pa ustreza 0.96 ločnim sekundam (1 sekunda je 1/3600 stopinje). To sliko uporabljajo tudi drugi deli programa in sicer za določanje rotacije koordinatnega sistema, avtomatsko sledenje in za avtomatsko ostrenje.

4.3 Opis delovanja programskega pozicioniranja

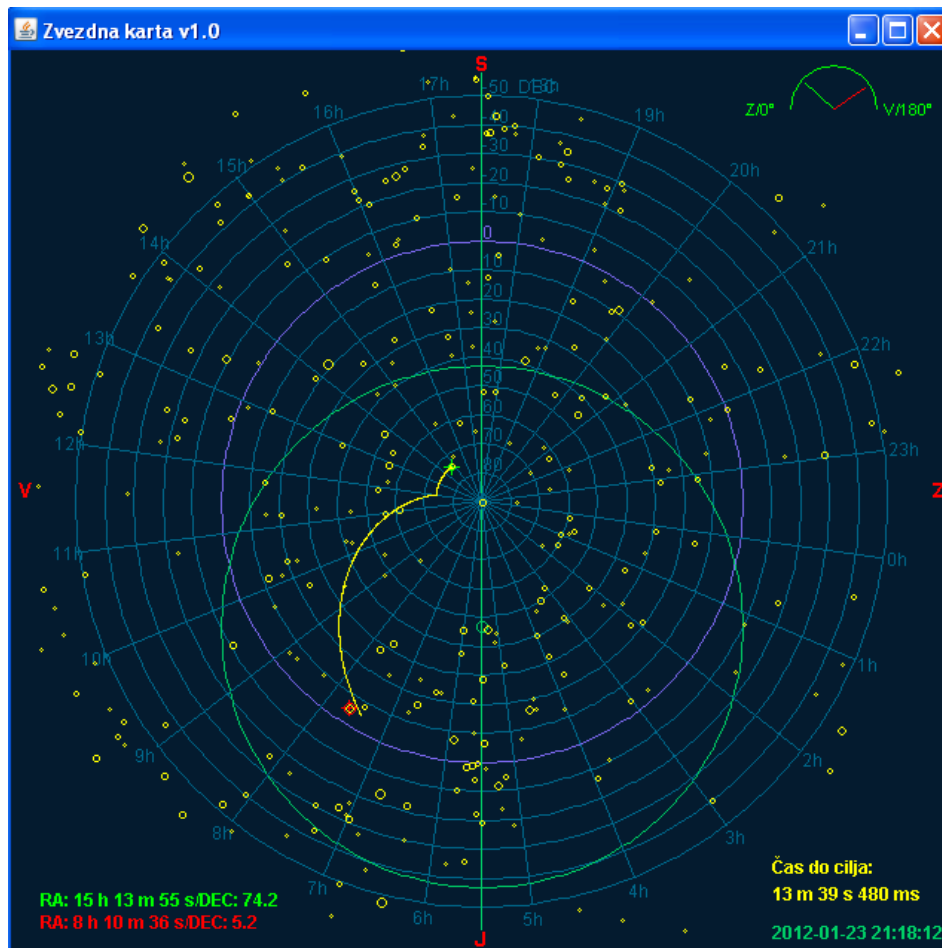
Prvi korak pri postavitvi teleskopa na željeno točko v nebesnem koordinatnem sistemu je izbira ciljnih koordinat. Kot je bilo omenjeno v prejšnjem poglavju lahko to storimo na tri načine. Prvi je izbira objekta ali klik na poljubno mesto v vidno polje zvezdne karte. Drugi način je vpis koordinat v za to namenjena polja v kontrolnem programu. Tretji način je izbira objekta iz seznama objektov. Zadnja možnost ima najvišjo prioriteto, prva pa najnižjo.



Slika 27. Seznam za izbiro željenega objekta.

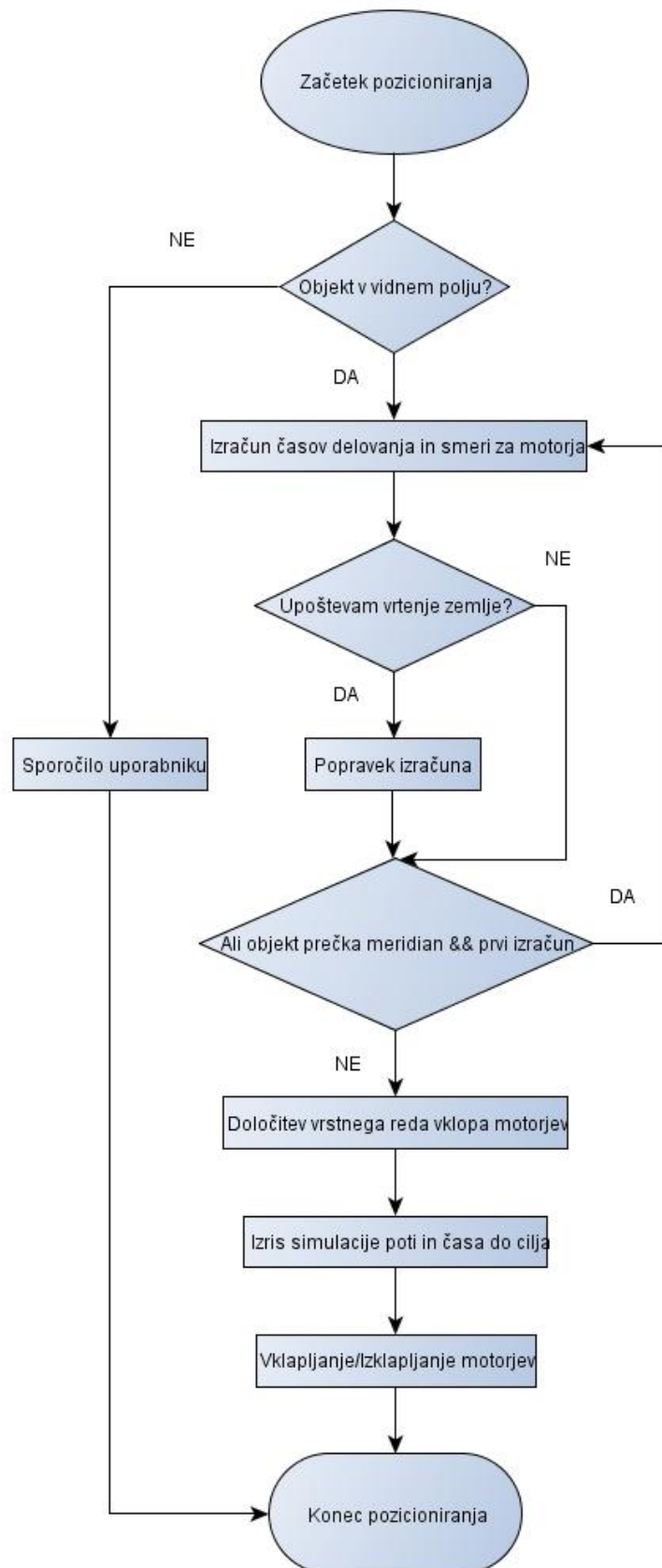
Ob kliku na tipko Start se najprej preveri, če so ciljne koordinate znotraj vidnega polja. Če niso, nas na to opozori kontrolni izpis v tekstovnem okvirju. Nato se ciljne koordinate preberejo iz izbranega vira, dodajo se trenutne koordinate in s temi podatki se pokliče nova nit (nitPozicioniranje), ki vzporedno z delovanjem programa nadzira pozicioniranje teleskopa. V tej niti se najprej pokliče funkcijo (ObjectToTelescope), ki iz izbranih izvornih in ciljnih koordinat izračuna kateri motor bo deloval koliko časa in v kateri smeri, da bo teleskop dosegel ciljne koordinate. V tej funkciji se tudi upošteva faktor vrtenja Zemlje in ustrezno popravi čase in smeri motorjev. Ta funkcija rešuje nemalo problemov. Prvi problem je določiti relativno razliko med koordinatami v polarnem koordinatnem sistemu in določitev časa delovanja za vsak motor. Druga stvar, ki jo je potrebno določiti so smeri delovanja motorjev, ki pa se spremenijo ob prehodu DEC osi čez izhodišče. Tretji izziv je izračun končnih časov delovanja motorjev, na katere vpliva vrtenje Zemlje. Tu je bilo potrebno izbrati čas motorja, ki najdlje teče in glede na tega določiti časovni odmik in točno končno pozicijo. Zadnji večji izziv v tej funkciji pa je bil izračun smeri in časov motorjev, če bi ciljna pozicija v času pozicioniranja prečkala nebesni meridian, ki potuje med severom in jugom. V tem primeru je RA os teleskopa že na 180° , kar je njena omejitev. Če ta funkcija ne bi predvidela prehoda objekta čez meridian med pozicioniranjem, bi teleskop nekaj minut porabil za pozicioniranje nakar bi moral RA os postaviti nazaj na 0° in nadaljevati. To bi vzelo dodaten čas, izračun končne pozicije objekta pa bi bil še veliko bolj zapleten.

Nit za pozicioniranje nato rešuje prvi izziv, ki se pojavi. Zaradi časovne učinkovitosti je potrebno, da motorja RA in DEC delujeta istočasno, če je mogoče. Določiti je potrebno kateri motor se prvi požene in kdaj se vklopi drugi. V določenih primerih se pripeti, da teleskop med pozicioniranjem začasno izstopi iz področja vidnega polja. Temu se izognemo s pametno izbiro zagona motorjev glede na smer vrtenja RA in glede na čase delovanja vsakega motorja. Nato se v zvezdni karti z rumeno krivuljo izriše simulacija poti do cilja, ki se navidezno ne ujema z izbranim ciljem.



Slika 28. Zvezdna karta med pozicioniranjem.

Temu je tako, ker pozicioniranje potrebuje ravno toliko časa, kot izbran objekt, da pride do navideznega cilja. Sledi vklop obeh motorjev ali motor, katerega čas delovanja je največji. Po preteku časa delovanja za motor, katerega čas je krajši ali po preteku razlike časov delovanja obeh motorjev se izklopi/vklopi motor s krajšim časom delovanja. Od tu naprej se čaka še razliko časov delovanja ali krajši čas od obeh, dokler se še motor z daljšim časom ne izklopi oz. v drugem primeru oba od motorjev. Ob pozicioniranju se v zvezdni karti osvežuje zeleni krogec s križcem, ki ponazarja trenutno pozicijo, prav tako pa se spodaj levo izpisujejo koordinate cilja in izvora. Spodaj desno se izpisuje čas do konca pozicioniranja. Ob koncu pozicioniranja je teleskop obrnjen proti izbranemu cilju, rumena krivulja v zvezdni karti izgine, ciljna pozicija pa sovpada s trenutno pozicijo, prav tako pa koordinate spodaj levo. Med pozicioniranjem je ročno pozicioniranje v desnem meniju onemogočeno, prav tako je onemogočeno fokusiranje. Pozicioniranje lahko ustavimo s klikom na tipko Stop. Diagram poteka programskega pozicioniranja je prikazan na naslednji sliki.



Slika 29. Diagram poteka programskega pozicioniranja.

4.4 Opis delovanja avtomatskega sledenja

V principu se avtomatsko sledenje nastavi v meniju Teleskop z izbiro Avtomatsko sledenje RA. Ta opcija požene motor RA, ki premika postavitev skupaj s teleskopom s hitrostjo vrtenja Zemlje. Tako obdržimo teleskop vedno na opazovanem objektu v vesolju. Težava se pojavi, če RA os postavitve teleskopa ne prebada točno nebesnega koordinatnega sistema, ki je blizu Severnice. Usmeritev RA osi na to zvezdo nam da dovolj natančno avtomatsko sledenje za krajše čase sledenja, poleg tega pa redko lahko točno nastavimo RA os na Severnico. Zaradi tega pride ob daljšem sledenju do lezenja, kjer nam opazovan objekt uhaja iz vidnega polja teleskopa. Temu se izognemo z dodatnimi popravki sledenja, kar dosežemo s krmiljenjem motorjev za obe osi glede na lezenje.

Najprej je potrebno zagnati funkcijo (CameraCoord), ki določi zasuk koordinatnega sistema glede na sliko iz kamere. Ta funkcija najde v zajeti sliki izbrano število najsvetlejših točk, nato premakne DEC motor v določeno smer in iz nove zajete slike zopet odčita najsvetlejše točke. Nato primerja izvirne koordinate svetlih točk s koordinatami svetlih točk, ko je bil izveden premik in izračuna vse možne minimalne razdalje med njimi. Iz teh izlušči najbolj podobne razdalje in jih povpreči. Nato algoritem izračuna vse možne koeficiente premic med točkami in glede na minimalne razdalje med njimi izbere najustreznejše koeficiente in jih povpreči. Istočasno se izračunajo še povprečni odmiki na X osi in Y osi. Tako na koncu dobimo odmik od izvirne pozicije, preden se je vklopil DEC motor. Iz odmika in iz vedenja, da se je vklopil DEC motor v določeni smeri, lahko določimo zasuk osi koordinatnega sistema.

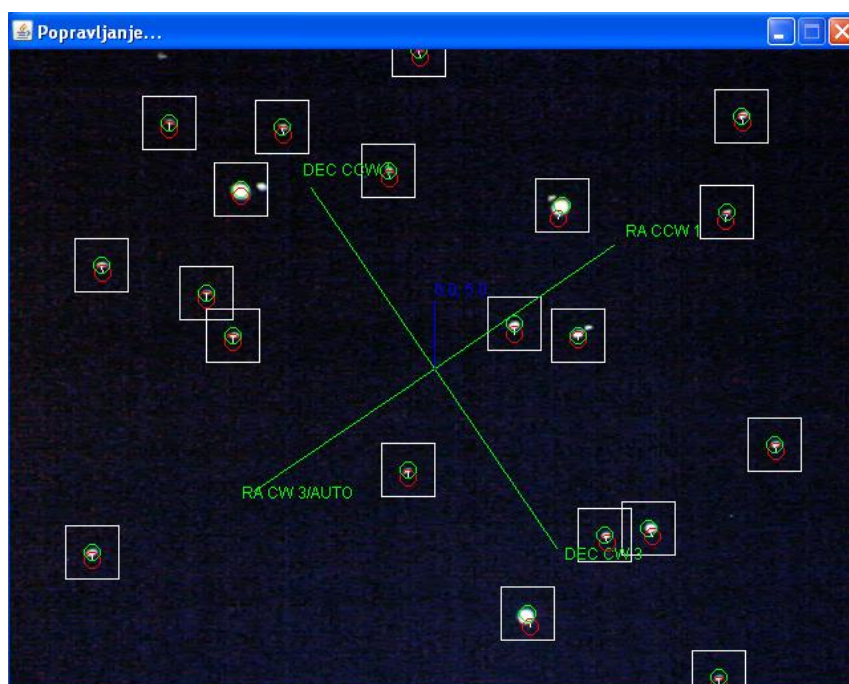


Slika 30. Izris premika teleskopa v oknu med določanjem zasuca koordinatnega sistema.

Ko poznamo zasuk lahko poženemo funkcijo (nitSledenje), ki periodično preverja sliko iz kamere in določa odmike med sosednjimi slikami. Najprej iz prve zajete slike določi nekaj najsvetlejših točk v sliki nato pa v vseh naslednjih zajetih slikah primerja koordinate

najsvetlejših točk z izvirnimi in tako določa odmik. Algoritem je do tu enak kot v prejšnji funkciji za določanje zasuka koordinatnega sistema, le da tu zajemamo sekundarne slike periodično in ne ene same.

Ko so odmiki izračunani, se ve katera os se mora premakniti v katero smer za koliko, vendar moramo upoštevati zasuk koordinatnega izhodišča. Tu torej potrebujemo še rezultate prejšnje funkcije, s pomočjo katerih se naposled določi katera os mora delovati koliko časa in v katero smer, glede na zasuk. Zatem se po potrebi pokliče nit, ki krmili motorje, ta funkcija pa lahko zopet zajame novo sliko in začne znova. Ob klicu te funkcije se odpre nov okvir, kjer se izrisuje zajeta slika skupaj s premaknjenim koordinatnim sistemom, kot ga je določila funkcija za določanje zasuka. V tem okviru se izrisujejo koordinatne osi z zeleno barvo, rdeča barva osi pa ponazarja, da motorji poganjajo to os. Modra črta, ki izhaja iz izhodišča, ponazarja smer povprečnega odmika najsvetlejših točk trenutne slike v primerjavi z izvirno sliko ob začetku sledenja. Najsvetlejše točke so v tem okviru označene z zelenimi krogi, izvorne najsvetlejše točke pa z rdečo. Z belimi kvadrati je označena okolica najsvetlejših točk, v kateri se računa odmik od izvirnimi točk.



Slika 31. Izris premikov objektov in ustreznih popravkov.

4.5 Opis delovanja avtomatskega ostrenja

Avtomatsko ostrenje vklopimo v zgornjem meniju v Kamera/Avto. ostrenje. Ob kliku se pokliče nit, ki najprej zajame prvo sliko pred spremembo ostrine, nato pa fokus motor pomakne fokuser v izhodiščno pozicijo. Zatem se iz prej zajete slike določijo koordinate najsvetlejše točke in povprečna svetlost slike. Iz povprečne svetlosti in izbranega faktorja (1.2) se nato najde še ostale točke, ki presegajo povprečno svetlost za ta faktor. Iz števila svetlih točk se izračuna domnevni radij svetlega objekta na sliki, ki pa določa območje slike kvadratne oblike, na katerem se bo preverjala ostrina slike med samim avtomatskim ostrenjem. Če je na prvi zajeti sliki ostrina zelo slaba, svetlih pikslov, ki bi bili svetlejši od povprečja za nek faktor, ne bo zaznani. V tem primeru se za ostrenje slike vzame območje celotne slike in ne območja okoli svetlega objekta, saj ne vemo kje se objekt na sliki nahaja in če sploh se.

V algoritmu avtomatskega fokusiranja se najprej požene fokus motor, ki pomika vodilo fokuserja. Ob tem se zajemajo slike iz kamere in iščejo se spremembe v ostrini. Te se zaznajo na podlagi primerjave svetlosti sosednjih pikslov v sliki.

Prva metoda je hitrejša in primerja le vertikalno razliko med posameznimi piksli in šteje piksele, ki imajo prejšnje vertikalne sosedne za določen faktor (6) svetlejši oz. temnejši. Druga metoda je počasnejša in okoli vsakega piksla pregleda vseh osem sosednjih pikslov, če so za določen faktor svetlejši oz. temnejši. Obe metodi torej vrmeta vsoto pikslov, kjer se pojavljajo večje razlike v svetlosti. Vsota teh pikslov na trenutno zajeti sliki se primerja s povprečno vsoto, ki se popravlja tekom algoritma, medtem ko se fokuser premika.

Če je trenutna vsota »ostrih« pikslov višja od povprečne vsote takih pikslov v sliki za določen faktor (0.2), se trenutna vsota shrani kot maksimalna vsota, čas zajetja prve take slike pa se shrani. Ko se ne najde več nobena vsota, ki je višja od prejšnje, začne motor pomikati fokuser nazaj proti optimalni ostrini, ki jo je prečkal. Izračuna se na kateri poziciji fokuserja je bila optimalna ostrina. Prva metoda pomakne motor fokuser nazaj na pozicijo, kjer je bila odčitana maksimalna ostrina. Druga metoda pomakne fokuser nazaj na pozicijo, ki ustreza sredini intervala, kjer so se pojavljale ostrine, ki so občutno odstopale od povprečja.

4.6 Natančnost programa in možne izboljšave

Edini del programa, katerega natančnost je nujna, je programsko pozicioniranje. Tu je natančnost krmiljenja motorjev na ravni nekaj milisekund, kar je zagotovljeno z večkratnim odčitavanjem trenutnega časa med izvajanjem programa in popravljanjem čakalnih časov niti, ki izvajajo samo pozicioniranje in vklop/izklop motorjev.

Da procesor ne bi bil preveč obremenjen, gre ta nit v stanje spanja in se vsake toliko zbudi in preveri časovne odmike in izvede ustrezno akcijo. Za optimalno delovanje je program nastavljen, da preverja časovne odmike na $200000/(\text{frekvenca procesorja v MHz})$ milisekund. Torej, če je frekvenca procesorja 2GHz, nit preverja čase z resolucijo 100 milisekund. V tem primeru je izraba procesorja s strani te niti optimalna, intenzivnost pa se da po potrebi zvišati.

Če predpostavimo, da je programsko pozicioniranje natančno na 100 milisekund, lahko iz tega podatka in iz hitrosti motorjev izračunamo napako v ločnih stopinjah, ki jo zagreši postavitve teleskopa in s tem teleskop. V milisekundi se teleskop premakne po eni osi pri 32x hitrosti za 0,000133 ločnih stopinj ali 0,48 ločnih sekund. Kot je bilo izračunano v prejšnjih poglavjih je pri uporabi standardne kamere in teleskopa piksel na zajeti sliki velik 0,96 ločnih sekund.

Če je napaka programa torej resnično 100 ms, je to ekvivalentno napaki natanko 50 pikslom na zajeti sliki, kar je dovolj dobro. Tu je nato poleg same natančnosti programa treba omeniti tudi zakasnitve, da se serijski ukaz pošlje v sprejemni mikrokrmilnik v vezju, ta pa ga posreduje preostalima mikrokrmilnikoma, ki sta zadolžena za premik motorjev. Ker se sam ukaz pošilja s hitrostjo 4800 bps, dolg pa je 8b, je tu zakasnitev pošiljanja 1,875ms, če upoštevamo tudi start bit. Stop bita ne upoštevamo, saj se ukaz v vezju interpretira že ob prejemu vseh osmih bitov.

Izboljšava natančnosti programa je mogoča z uporabo funkcij iz Java knjižnice za natančnejše merjenje časa, z uporabo hitrejšega procesorja, z nastavitvijo višje intenzivnosti delovanja niti za pozicioniranje in pa s hitrejšim pošiljanjem ukazov preko RS-232. Slednje zahteva tudi modifikacije programske kode v sprejemnem mikrokrmilniku v vezju.

Zadnja večja izboljšava bi bila dodatek okna v kontrolnem vmesniku, kjer bi bilo mogoče nastavljati parametre, povezane z delovanjem pozicioniranja, avtomatskega sledenja in avtomatskega ostrenja.

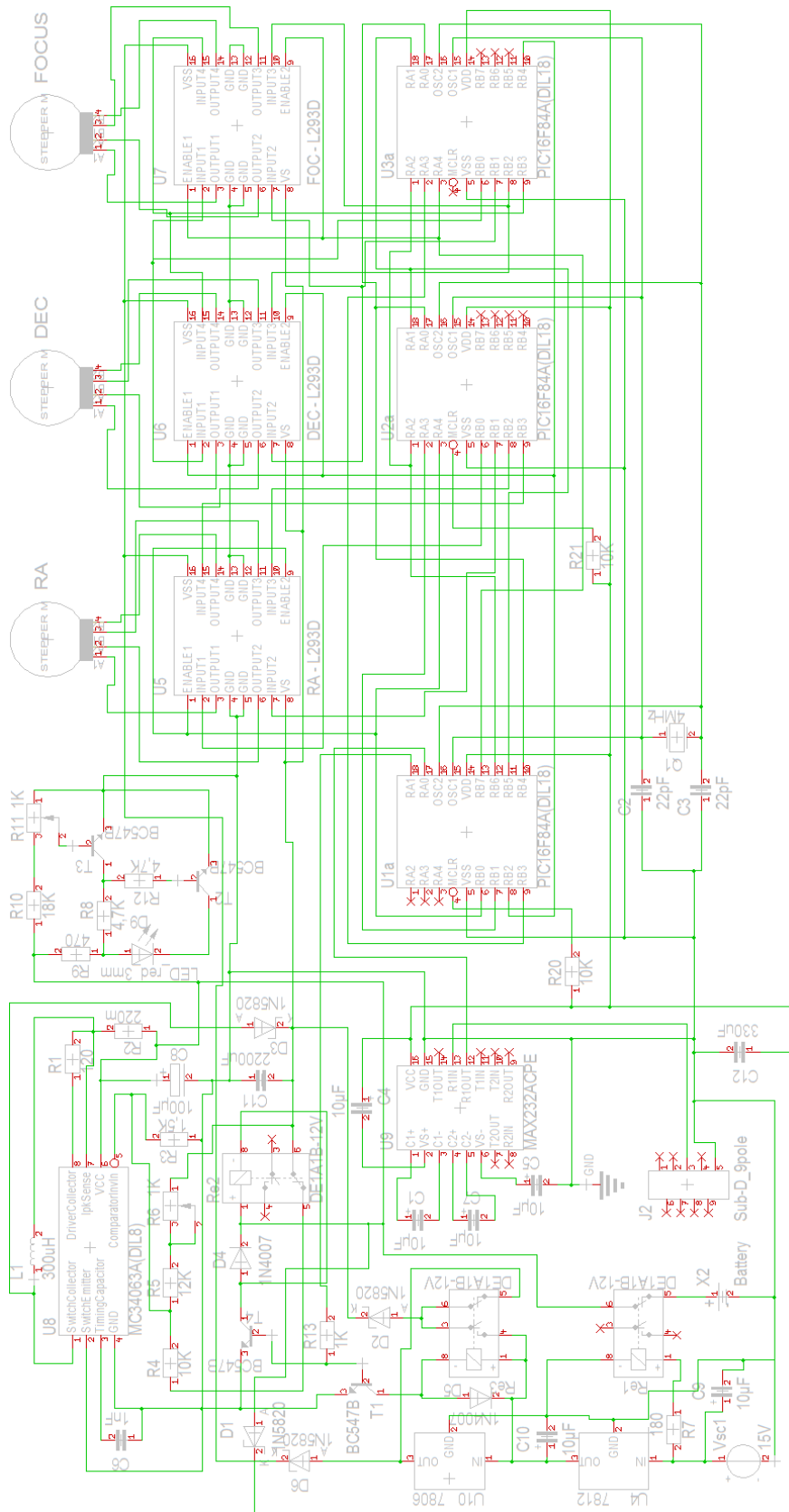
5 Sklepne ugotovitve

Končni izdelek, ki je obravnavan v diplomski nalogi, je plod mojega zanimanja za astronomijo, računalništvo in elektroniko. Menim, da sem izdelal uporabno napravo, ki služi svojemu namenu in je mobilna, saj deluje tudi na baterije. Vezje je zgrajeno tako, da uspešno krmili vse standardne koračne motorje, ki so vgrajeni v ekvatorialne postavitve tipa EQ5. Poleg tega je vezje dokaj varčno. Program za krmiljenje teleskopa sem napisal sam in vsebuje vse nujne funkcionalnosti za krmiljenje obravnavanega vezja, poleg tega pa vsebuje zvezdno karto, ki olajša pozicioniranje in izboljša uporabniško izkušnjo.

Ker sem želel napraviti končni izdelek, sem naletel tudi na nekaj izzivov. Glavna med njimi sta bila mikrokrmilnik tipa PIC, katerega nisem poznal prav dobro, in delovanje koračnih motorjev. Ko sem to osvojil, sem moral sprogramirati delujoč in natančen program, ki teče na mikrokrmilnikih, kar mi je vzelo nekaj časa. Naslednji problem je bil izbira ostalih komponent v vezju, izdelava in spajkanje samega vezja. Na koncu sem se ukvarjal še s testiranjem vezja, optimiziranjem porabe in vstavljanjem vezja v ohišje.

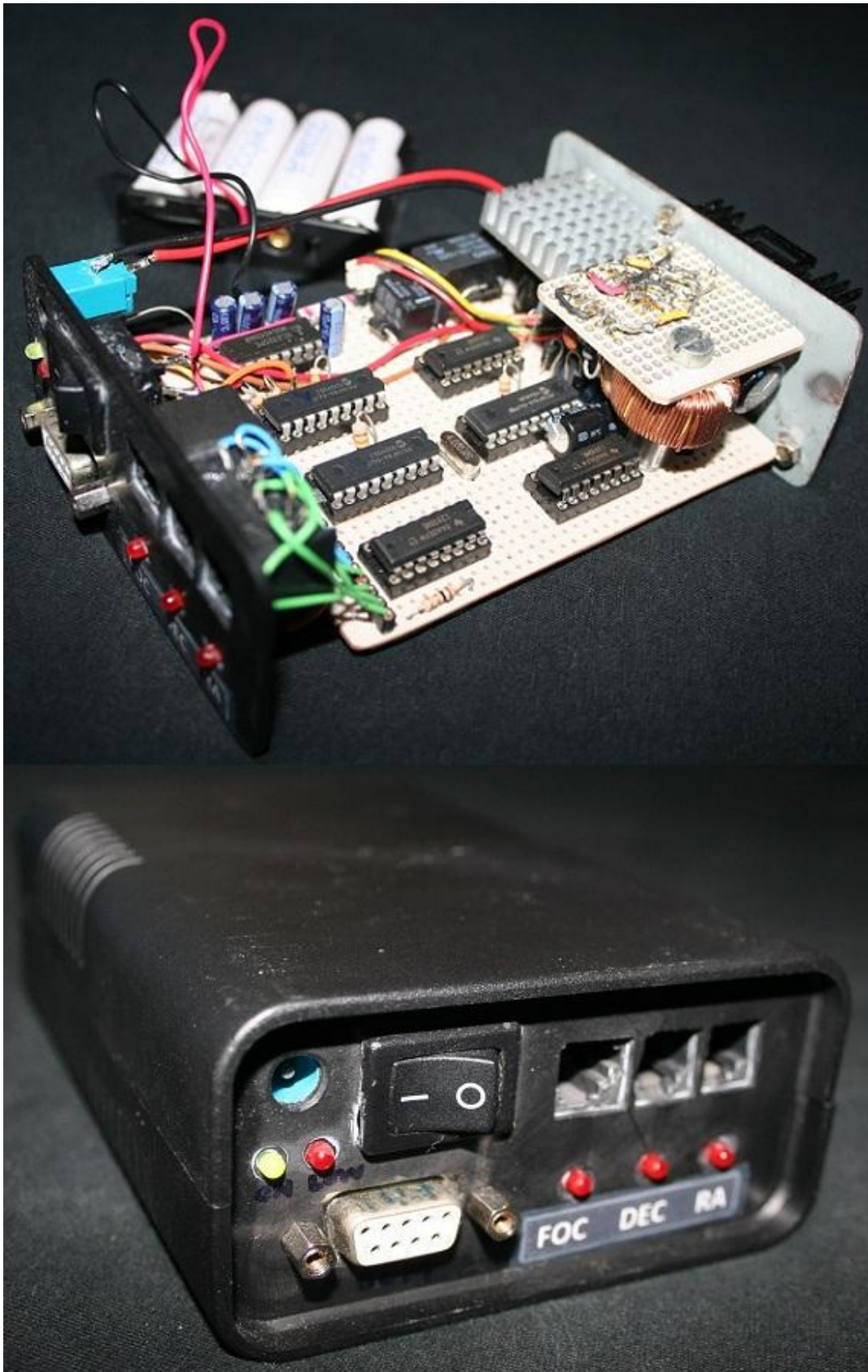
To delo je nastajalo počasi čez daljše obdobje in je prešlo čez več stopenj optimizacij in sprememb v sistemu in programu. Samo vezje ni najoptimalneje zasnovano kar se tiče porabe komponent in energije, saj je bil primarni cilj diplomske naloge delujoč in uporaben izdelek. Tako se mi je med in po izdelavi porajalo nekaj idej v zvezi s spremembami sistema, ki pa jih nisem uresničil iz praktičnih razlogov. Ti so bili pomanjkanje časa, nezahtevnost same aplikacije in pa morebitna prezahtevnost nekaterih idej.

Dodatek A



Slika 32. Shema celotnega vezja.

Dodatek B



Slika 33. Končni izdelek

Kazalo slik

Slika 1. Sistem krmiljenja teleskopa.	3
Slika 2. Osnovni princip delovanja zrcalnih teleskopov tipa Newton.....	4
Slika 3. Prikaz delovanja ekvatorialne postavitve.	5
Slika 4. Osnovni princip delovanja koračnega motorja.....	5
Slika 5. Notranjost koračnega motorja.	6
Slika 6. Serijska povezava z vezjem.....	7
Slika 7. Motorizirana ekvatorialna postavitve (levo), go-to ekvatorialna postavitve (desno). 11	
Slika 8. Modificirana ročna kontrola (levo), računalniški autoguide sistem (desno).....	12
Slika 9. Go-to nadgradnja za motorizirane ekvatorialne postavitve.....	12
Slika 10. Prednosti ASCOM implementacije.	14
Slika 11. Bločna shema elektronskega vezja.	15
Slika 12. Shema vezja, ki sprejema serijske ukaze.	16
Slika 13. Shema vezja, ki krmili koračne motorje.....	17
Slika 14. Princip delovanja gonilnika L293.	18
Slika 15. Shema vezja, ki napaja ostala vezja.	19
Slika 16. Nespremenjena shema vezja za zvišanje napetosti.	20
Slika 17. Shema vezja, ki zviša napetost iz 5V na 6V/12V.	21
Slika 18. Shema vezja, ki zazna nizko napetost baterijskega napajanja.....	21
Slika 19. Karakteristična krivulja praznenja akumulatorjev.	22
Slika 20. Impulzi širine cele periode (zelena) in krajši impulzi (modra).	25
Slika 21. ST-4 priključek.....	29
Slika 22. Shema vezja, ki omogoča priklop »autoguiderja« v obstoječi sistem.....	29
Slika 23. Zvezdna karta.	31
Slika 24. Kontrolni vmesnik.....	32
Slika 25. Okno z osnovnimi nastavitvami.....	33
Slika 26. Okno, namenjeno izbiri kamere in formata.....	33
Slika 27. Seznam za izbiro željenega objekta.....	36
Slika 28. Zvezdna karta med pozicioniranjem.	37
Slika 29. Diagram poteka programskega pozicioniranja.....	38
Slika 30. Izris premika teleskopa v oknu med določanjem zasuka koordinatnega sistema.	39
Slika 31. Izris premikov objektov in ustreznih popravkov.....	40
Slika 32. Shema celotnega vezja.	44
Slika 33. Končni izdelek.....	45

Kazalo tabel

Tabela 1. Signal, potreben za delovanje bipolarnega koračnega motorja.	6
Tabela 2. Zgradba ukaza.....	8
Tabela 3. Poraba toka in moči pri delovanju enega ali dveh koračnih motorjev.	22
Tabela 4. Poraba toka na posamezni napetostni liniji vezja na baterijskem napajanju.	23
Tabela 5. Poraba toka na posamezni napetostni liniji vezja ob napajanju iz adapterja.	23
Tabela 6. Poraba moči in izkoristki v vezju.	23
Tabela 7. Čas delovanja vezja pri posamezni hitrosti.	24
Tabela 8. Frekvence korakov in impulzov na enem priključku za različne hitrosti.	25
Tabela 9. Širine in deleži visokega in nizkega stanja periode za vsako hitrost.	26
Tabela 10. Napake pri različnih hitrostih.	26

Literatura

- [1] P.Moore, »Atlas vesolja«, Mladinska knjiga, Ljubljana 1999
- [2] (2012) Stepper motors and control. Dostopno na:
<http://www.stepperworld.com/Tutorials/pgBipolarTutorial.htm>
- [3] (2012) RS-232 standard. Dostopno na:
http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html
- [4] (2012) Ursa Minor. Dostopno na <http://ursaminor.hu>
- [5] (2012) Hints for autoconstruction. Dostopno na:
<http://www.astrosurf.com/comolli/strum07e.htm>
- [6] (2012) ASCOM Standards. Dostopno na: <http://ascom-standards.org/>
- [7] (2012) Target 3001 CAD. Dostopno na:
http://server.ibfriedrich.com/wiki/ibfwikien/index.php?title=Main_Page
- [8] (2012) MAX232 Datasheet. Dostopno na:
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/max232.pdf>
- [9] (2012) PIC16F84A Datasheet. Dostopno na:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/35007b.pdf>
- [10] (2012) L293D Datasheet. Dostopno na:
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/1330.pdf>
- [11](2012) MC34063 Datasheet. Dostopno na:
http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/2300/501448_DS.pdf
- [12] (2012) Electronic circuit projects. Dostopno na: <http://www.elecfree.com>
- [13] (2012) Eneloop discharge current. Dostopno na:
<http://www.eneloop.info/home/performance-details/discharge-current.html>
- [14] (2012) DirectShow for Java. Dostopno na: <http://www.humatic.de/htools/dsj.htm>