

Opazovanja s teleskopom na daljavo

Bojan Dintinjana

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Izvleček

V članku sta opisana sestava in delovanje šolskega robotskega teleskopa. Teleskop uporabljamo za izvajanje študentskih vaj iz astronomskih predmetov na fakulteti. Opisani so delo s teleskopom na daljavo in uporabljene programske rešitve. Predstavljene so praktične eksperimentalne naloge iz astronomije in astrofizike.

Ključne besede: robotski teleskop, opazovanja na daljavo

Remote Observations with Telescope

Abstract

The article describes the structure and operation of the school's robotic telescope. The telescope is used for carrying out practical classes in astronomy courses at the faculty. The article describes remote observing with the telescope and the applied software solutions. It presents practical experimental exercises in astronomy and astrophysics.

Keywords: robotic telescope, remote observations

Slika 1: Meglica Mehurček, znana tudi kot NGC 7635, je bila posneta na daljavo z robotskim teleskopom 4. 11. 2021. Pri velikosti komaj 10 svetlobnih let drobno meglico Mehurček ženejo močni zvezdni vetrovi in sevanje masivne zvezde v centru. Nahaja se znotraj večjega območja oblakov medzvezdnih plinov in prahu oddaljenih okoli 11.000 svetlobnih let.

Uvod

Na Astronomskem observatoriju Fakultete za matematiko in fiziko smo si zastavili cilj postaviti šolski robotski teleskop, ki bi ga lahko na daljavo upravljali študentje in dijaki. Celoten projekt smo izvedli z uporabo cenovno najugodnejših komponent. Pri tem so nam pomagale izkušnje z razvojem večjega teleskopa Vega, ki je bil skoraj v celoti zgrajen v fakultetni delavnici in laboratorijih. Za novi šolski teleskop smo izbrali operacijski sistem Windows in prosto dostopne ter odprtokodne programe za upravljanje teleskopa in obdelave slik. Za to smo se odločili predvsem zaradi domačnosti sistema pri študentih in tudi dobre pokritosti programskih gonilnikov za naprave, ki jih uporabljamo. V prvem koraku smo zagotovili, da vse funkcije teleskopa digitaliziramo, to je, da jih upravljamo z nadzornim računalnikom. V drugem koraku smo upravljanje nadzornega računalnika prenesli na daljavo z uporabo oddaljenega namizja. V tretjem koraku pa smo skupino študentov opazovalcev povezali še v aplikaciji Zoom in dodali spletno učilnico »AGO Mali teleskop« za pomoč pri pripravi opazovanja.

Opis teleskopa

Na travniku observatorija smo na betonski temelj 3,5 m x 3,5 m postavili kupolo premera 3 m, (slika 2). Kupolo

smo kupili pri podjetju Scope Dome iz Poljske [1]. Prišla je razstavljena v kontejnerju, vključno z vso električno napeljavo, elektroniko, krmilniki, senzorji in inverterji z motorji za odpiranje in vrtenje kupole. Kontroler kupole z releji omogoča tudi vklop teleskopa, kamere, luči in prezračevalnih ventilatorjev ter priklop dodatnih senzorjev. V celoti je izdelava kupole zelo kakovostna



Slika 2: Kupola Scope Dome premera 3 m na betonskem podstavku na travniku observatorija na Golovcu. V kupoli je 25-centimetrski teleskop na ekvatorialni nastavitvi, opremljen s CCD-kamero in pripravljen za opazovanja na daljavo.

in premišljena, vsebuje tudi senzorje in ogrevanje kritičnih delov proti zamrzovanju v mrzlih zimskih nočeh. Za glavni teleskop smo izbrali 25-centimetrski teleskop SkyWatcher tipa Newton z goriščno razdaljo 1200 mm. Ekvatorialno stojalo AZ-EQ6 GT je opremljeno s koračnimi motorji in postavljeno na doma izdelano stojalo, pritrjeno v betonski pod.

Na steber smo namestili tudi 230-voltno vtičnice za napajanje naprav neposredno iz omrežja in vtičnice, ki so krmiljene z releji iz kontrolerja. Na steber teleskopa smo namestili tudi mini računalnik Intel NUC v vodotesni omarici, ki varuje pred vlago. Teleskop je opremljen s slikovno CCD-kamero SBIG ST-8300 in filtrskim kolesom za osem filtrov premera 36 mm. Postavitev teleskopa je prikazana na sliki 3. CCD-detektor ima 8,3 megapikslov in meri 18,1 mm x 13,7 mm. V konfiguraciji s teleskopom pokriva na nebu polje velikosti 52 x 39 ločnih minut. Ekvatorialno stojalo in fokuser teleskopa priključimo prek zbirnega vmesnika Skycenter v nadzorni računalnik. V nadzorni računalnik so priključene še kupola, CCD-kamera in sledilna kamera. Vse naprave so priključene z USB-priključkom. Ker vodenje teleskopa ni dovolj natančno za daljše osvetlitve, smo dodali še manjši 50-milimetrski teleskop vodnik z goriščem 200 mm in manjšo planetarno, nehlajeno kamero QHY5III178 za natančno sledenje teleskopa. Za upravljanje teleskopa, fokuserja, CCD-kamere in filtrov uporabljamo program APT – Astro Photography Tool [2]. Za upravljanje sledilne kamere in natančno sledenje teleskopa pa program PHD2 – Open PHD Guiding [3].



Slika 3: Teleskop SkyWatcher na ekvatorialnem stojalu, opremljen z astronomsko CCD-kamero, optičnimi filtri R, G, B, L in H-alfa ter teleskopom za natančno sledenje.

Opazovanja na daljavo

Opisani sistem: kupolo, teleskop, slikovno kamero, fokuser teleskopa, optične filtre in sledilno kamero upravljamo z nadzornim računalnikom, nameščenim v kupoli (slika 4). Na računalnik smo namestili programski strežnik za oddaljeni dostop. Izbrali smo protokol VNC (Virtual Network Computer) in odprtokodni program TightVNC [4]. Ta nam omogoča, da se na nadzorni računalnik priključi več opazovalcev, skupina do 3–8 stu-

dentov. Vsak študent dobi vstopno geslo, ki je časovno omejeno. Vsi vidijo in si delijo isto namizje, tipkovnico in miško. Zaradi internetne varnosti smo nadzorni računalnik namestili za požarni zid, v katerem smo odprli samo vrata do protokola VNC. Študent si mora na svoj računalnik namestiti različico VNC-klient. Delujejo programi različnih ponudnikov, svetujemo TightVNC ali RelatVNC. Program strojno ni zahteven, zadostuje cenejši ali starejši prenosnik. Program VNC deluje tudi v operacijskem sistemu Linux in na OSX, tako da lahko sodelujejo vsi študenti ne glede na operacijski sistem, ki ga uporabljajo.



Slika 4: Nadzorni mini računalnik teleskopa je Intel NUC, ki deluje v operacijskem sistemu Windows 10. Računalnik ima 4 GB pomnilnika in 120 GB SSD-disk, deluje kot strežnik VNC za oddaljeno namizje. Na računalnik smo priključili vse naprave in senzorje, ki jih potrebujemo v opazovalni kupoli za daljinsko upravljanje.

Za koordinacijo med opazovalci v skupini in demonstratorjem smo vzpostavili še sejo v aplikaciji Zoom. Sejo odpre asistent, ki ima licenco za aplikacijo. Študenti se na seji med seboj dogovorijo, kako bodo izvajali opazovanje, tipka in premika miško pa samo eden oziroma se izmenjujejo.

Za podporo pri pripravi opazovanj smo pripravili spletno učilnico, ki smo jo imenovali »AGO Mali teleskop«. Vanjo smo vnesli navodila za uporabo teleskopa in opreme, navodila za uporabo osnovnih programov in vzorčne primere opazovanj. Skupina študentov najprej pripravi prijavnico za opazovanje. V njej opiše, kaj bodo opazovali, kaj bodo iz opazovanj in zajetih slik izmerili. Pri sestavljanju opazovalnega načrta si pomagajo z vprašanji v forumu spletne učilnice. Diskusijo v forumu tudi moderiramo in spodbujamo medsebojno sodelovanje skupin študentov. Prijave za opazovanje pregledamo, komentiramo in svetujemo morebitne popravke ali spremembe. Potem projekt opazovanja skupini odobrimo in ji dodelimo termin v urniku teleskopa. Ko zaradi slabega vremena opazovanja niso mogoča, dobi skupina nadomestne termine. Zaradi zapletenosti sistema je pri prvih opazovanjih na Zoomu vedno prisoten demonstrator ali asistent. Po koncu opazovanja v spletni učilnici izpolnijo dnevnik, v katerem na kratko, v nekaj stavkih, opi-

šejo vremenske razmere in morebitne druge zabeležke ter opombe, ki jim kasneje pomagajo pri obdelavi slik. Posnete neobdelane slike in dnevnik hranimo v digitalnem arhivu, ki je javno dostopen [5].

Rezultati opazovanj in obdelava podatkov

Opisani teleskop redno uporabljamo že več let pri astronomskih predmetih na Fakulteti za matematiko in fiziko. Študentje na teleskopu opravljajo redne praktične vaje, to je opazovalne projekte. Pri tem se naučijo načrtovati eksperiment in pripraviti opazovalni načrt, ki ga potem tudi izvedejo. Seveda pri opazovanjih ni vedno vse idealno, občasno meritve pokvarijo ali prekinijo oblaki, včasih lahko pride tudi do okvare ali izpada kake naprave. Ob tem se naučijo, kako ukrepati v takšnih primerih, naučijo se kritično ovrednotiti dobljene slikovne podatke. Posnete slike prenesejo na svoj računalnik ali na računalnike v računalniški učilnici. Pri projektu se naučijo uporabljati različne programe, kako se podatki prenašajo iz programa v program, kako se predstavijo rezultati v grafih, tabelah, in na koncu pripravijo poročilo.

Obdelava slik najprej zajema osnovno obdelavo astronomskih slik. To je korekcija temne slike, korekcija ničle in izravnava polja. Osnovna obdelava odpravi vroče piksele, vinjetiranje polja, to je neenakomerno osvetljenost polja in morebitne sledi prašnih delcev na optiki. Osnovna obdelava močno izboljša kakovost posnetkov. Naslednja stopnja pri obdelavi je kalibracija koordinat, ki v sliko vpiše natančne nebesne koordinate posnetka. To program naredi z iskanjem ujemanja pozicije zvezd na sliki in v digitalnem zvezdnem katalogu. Izračun ustrezne transformacije se potem tudi vpiše v glavo slike. Tako opremljene slike lahko uporabimo za znanstveno obdelavo podatkov, glede na zastavljeno nalogo študenta.

Opazovalni projekti, ki jih izvajamo s teleskopom, so različno zahtevni. Začnemo z enostavnim slikanjem nebesnih teles, kot so Luna, zvezdne kopice, galaksije, kometi in asteroidi. Slike lahko zlagamo v mozaike, ki pokrivajo večje megličaste objekte, slike lahko računalniško ostrimo. Na primer na slikah Lune izmerimo višino gora in velikost ter globino kraterjev. Primer iz opazovanja Lune je prikazan na sliki 5. Pri asteroidih in kometih spremljamo gibanje objekta med zvezdami in z astrometrijo izračunamo orbito. Opazujemo lahko tudi rotacijo asteroida s časovno meritvijo sija. Iz oblike svetlobne krivulje določimo periodo rotacije in sklepamo o njegovi obliki. Zelo pogosto izbrana in tudi ena najzahtevnejših meritev je opazovanje eksoplanetov, kjer opazujemo prehode planetov, ki krožijo okoli drugih zvezd v naši Galaksiji. Rezultati opazovanja prehoda planeta v drugem osončju so prikazani na sliki 6. Podobna meritev je tudi opazovanje eklipsnih dvojnih zvezd.

Projekti z bolj astrofizikalno vsebino obsegajo ploskovno razporeditev svetlobe v galaksijah, porazdelitev zvezd v

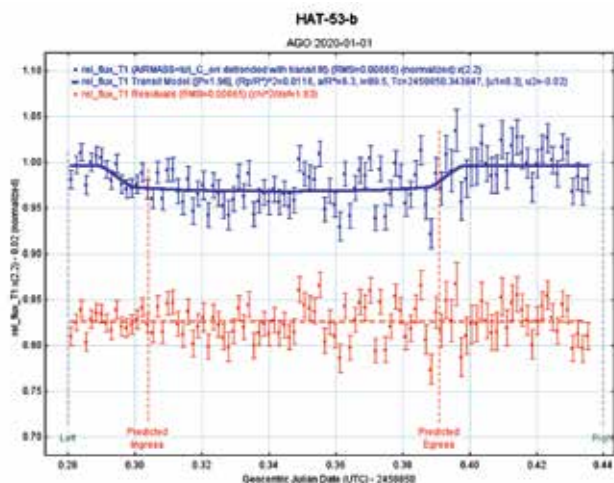
kroglastih kopicah, ki lahko kaže na prisotnost črne luknje v njenem središču, fotometrijo spremenljivih zvezd tipa kefeid, določitev oddaljenosti zvezdnih kopic, barve zvezd, barvni Hertzsprung-Russellov diagram, s katerim določimo starost in oddaljenost zvezdnih kopic. Meritev svetlobne krivulje zvezde kefeide je prikazana na sliki 7. Programska oprema, ki jo uporabljamo pri teh projektih, sta programa AstroImageJ [8] in ASTAP [9]. Za ogled slik in identifikacijo objektov s pomočjo astronomskih katalogov uporabljamo program SAOImageDS9 [6]. Pri izvedbi projektov študenti pogosto tudi sami napišejo krajše programe v programskem jeziku Python.



Slika 5: Lunina površina okoli kraterja Copernicus je bila posneta na daljavo z robotskim teleskopom 25. 4. 2018. Na sliki so lepo vidne sence gora, sence kraterjev in radialne bele proge okoli 93 km velikega kraterja. Iz dolžine senc na Luni, s pomočjo pravokotnega trikotnika, izračunamo višino gora. Posnetek je dodatno izostren s programom Registax [7].

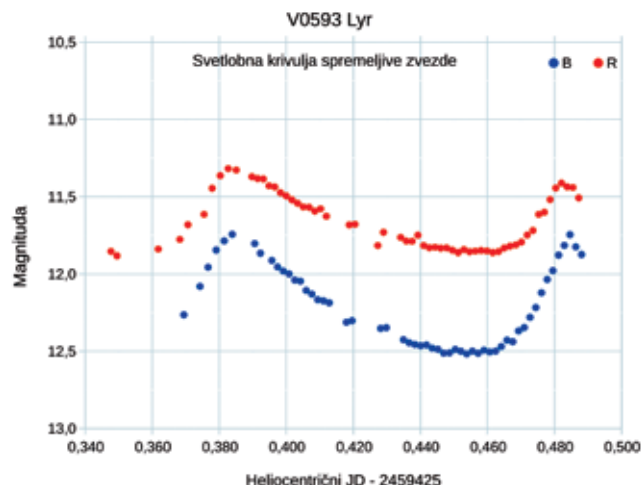
Zaključek

Z izvedbo projekta šolskega robotskega teleskopa smo pokazali, kako se na razmeroma enostaven in cenovno ugoden način omogoči študentom ali dijakom opazovanja na daljavo s pravim raziskovalnim teleskopom. Opazovanje na daljavo, v primerjavi z opazovanjem v observatoriju, študentom omogoča bistveno lažji dostop do vrhunske astronomske opreme. Imajo manj logističnih težav, saj lahko opazujejo od doma in bolje izkoristijo razpoložljivi čas. Internetno opazovanje s teleskopom tudi poveča izkoristek teleskopa, saj lahko za opazovanja izkoristimo skoraj vsako jasno noč. V Ljubljani imamo v povprečju 70 jasnih noči, kar pomeni, da lahko teleskop obratuje 500 ur letno. Če povprečno opazovanje za študentski projekt traja tri ure, to pomeni, da je zmogljivost teleskopa vsaj 150 opazovanj letno. Teleskop si lahko deli tudi več skupin, ki delajo na različnih opazovalnih projektih. Tipičen primer je opazovanje dol-



Slika 6: Mrk zvezde HAT-53, izmerjen ob prehodu planeta HAT-53- b. Modre točke so meritve sija iz slik, posnetih na daljavo z robotskim teleskopom 1. 1. 2020. Modra krivulja je model osončja HAT-53, rdeče točke prikazujejo ujemanje med modelom in meritvijo. Iz časa ponovitve sredine mrka določimo orbitalno periodo planeta, iz dolžine trajanja mrka kot naklona tirnice in iz globine mrka velikost planeta. Slike so bile obdelane s programom AstrolmageJ [8].

goperiodičnih spremenljivk, kjer je treba narediti samo nekaj meritev na noč, preostali čas pa lahko teleskop uporablja druga skupina za svoj projekt. Velika prednost postavljenega robotskega teleskopa je tudi, da se študent osredotoči na izvajanje svojega opazovalnega programa in se mu ni treba ukvarjati z zahtevnimi nastavitvami teleskopa, opreme in programa. Vse to pripravi skupina usposobljenih strokovnjakov, ki teleskop tudi vzdržuje. Ne nazadnje je v času pandemije in pogostega šolanja na daljavo robotski teleskop idealno didaktično orodje za izvajanje praktičnih vaj v astronomiji.



Slika 7: Rezultat meritev svetlobne krivulje pulzirajoče spremenljive zvezde V0593 Lyr. Spremenljivka je tipa delta Scuti, poimenovana tudi pritlikava kefeida. Periode pritlikavih kefeid so kratke, tipično nekaj ur, tako da lahko celotno krivuljo posnamemo v eni noči. Pri slikanju sta bila uporabljena modri filter B in rdeči filter R. Ustrezni krivulji sta prikazani na grafu. Zvezda radialno pulzira in posledično spreminja sij ter temperaturo, kar je tudi vidno iz razlike sija. Na osi X je datum v dnevih, na osi Y je navidezna magnituda. Zvezde kefeide so za astronome zelo pomembne, saj zanje velja zveza perioda-izsev, torej z meritvijo periode spremenljivke določimo izsev zvezde, to je absolutno magnitudo, in z meritvijo navideznega sija zvezde dobimo modul oddaljenosti, iz katerega potem izračunamo oddaljenost. S to metodo so izmerili oddaljenost kroglastih kopic in bližnjih galaksij, torej za razdalje, ki jih ne moremo izmeriti geometrijsko s paralakso. Meritve so bile opravljene na daljavo z robotskim teleskopom 29. 7. 2021 in obdelane s programom ASTAP [9], graf smo narisali v preglednici LibreOffice.

Viri

- [1] <https://www.scopedome.com> (23. 10. 2021)
- [2] <https://astrophotography.app> (20. 10. 2021).
- [3] <https://openphdguiding.org> (20. 10. 2021).
- [4] <https://www.tightvnc.com> (20. 10. 2021).
- [5] <http://astro.ago.fmf.uni-lj.si/podatki> (21. 10. 2021).
- [6] <https://sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9> (20. 10. 2021).
- [7] <https://www.astronomie.be/registax> (21. 10. 2021).
- [8] <https://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej> (20. 10. 2021).
- [9] <https://www.hnsky.org/astap.htm> (20. 10. 2021).