

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 19 (1991/1992)

Številka 4

Strani 194-198

Tomaž Zwitter in Bojan Dintinjana:

SLIKANJE ASTRONOMSKIH OBJEKTOV S CCD KAMERO

Ključne besede: astronomija, detektorji.

Elektronska verzija:

<http://www.presek.si/19/1094-Zwitter-Dintinjana.pdf>

© 1992 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

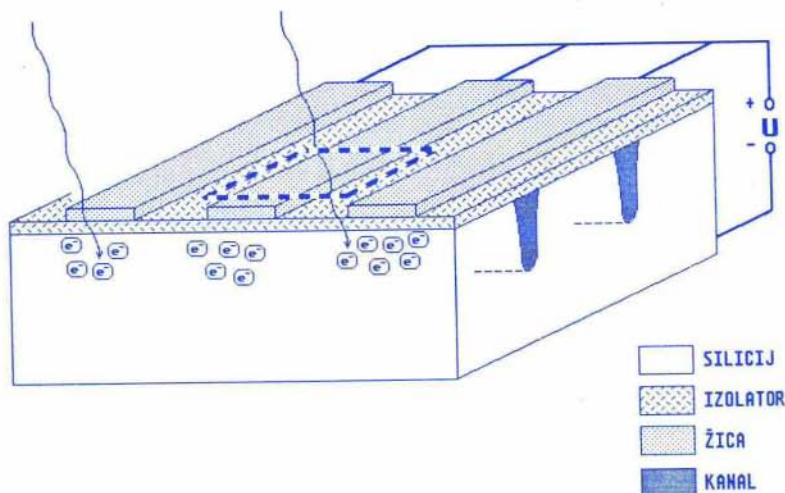
ASTRONOMIJA

SLIKANJE ASTRONOMSKIH OBJEKTOV S CCD KAMERO

Ob vprašanju, kakšen detektor uporabljamo v običajni pa tudi v astronomski fotografiji, bi najbrž takoj pomislili na film. Kot kaže, pa smo pri fotografiranju objektov vseh vrst priča velikim spremembam: tradicionalni kemijski zapis slik na filmu vedno odločneje izpodriva elektronska tehnologija, ki jo srečamo v vsaki sodobnejši video kameri. Detektor je v tem primeru CCD kamera, ki temelji na fotoefektu v trdni snovi. V tem sestavku bomo predstavili uporabo tega detektorja pri slikanju astronomskih objektov. Omenili bomo tudi ostalo opremo, ki jo potrebujemo za učinkovito delo; med to sodi tudi astronomski teleskop s popolnoma avtomatiziranim upravljanjem.

Osnova elektronskega beleženja slik je tako imenovani CCD čip, ki ga namestimo v goriščno ravnino teleskopa. Fotoni z astronomskih objektov skozi prozoren zgornji pokrov čipa vstopajo v silicijevo rezino in tam povzročajo fotoefekt (slika 1). Izkoristek tega procesa je dokaj dober, saj do 80% fotonov z valovnimi dolžinami med 400 in 1100 nm povzroči prehod elektrona v prevodni pas. To je mnogo bolje kot pri filmu, kjer je izkoristek največ nekaj odstotkov. Mesto nastanka elektrona nam pove izvor ustreznega fotona. Število elektronov na določenem mestu je sorazmerno s tokom vpadlih fotonov in tako s sijem ustreznega objekta. Za kvantitativne meritve astronomskih objektov v goriščni ravnini moramo med ekspozicijo preprečiti izgubljanje ali morebitno potovanje elektronov po čipu. Elektronom moramo onemogočiti, da bi se vrnili nazaj v prejšnje vezano stanje. Poleg tega ne smemo dopustiti, da bi se razlezli po čipu in tako zmazali sliko. Za oboje poskrbi napetost, ki jo priključimo med žicami na zgornji strani in med spodnjo stranjo silicijeve rezine. Elektroni se nabirajo v potencialnih jamah pod žicami, mesta, kamor bi se elektroni lahko vezali, pa električno polje potisne v notranjost silicija. Kanali, ki so zapolnjeni s snovjo, po kateri se prosti elektroni ne morejo gibati, so nanizani v pravokotni smeri glede na žice in elektronom preprečujejo tudi potovanje vzdolž žic. Tako dosežemo, da nas elektroni v prevodnem pasu "počakajo" na mestu svojega nastanka vse do trenutka, ko ekspozicijo končamo in preberemo, koliko in kje se jih je nabralo. To je dalo detektorju tudi ime: CCD je kratica za angleško skovanko Charge Coupled Device; v tem primeru je naboj vezan na električno polje žic. Po koncu ekspozicije s preklapljanjem napetosti na žicah elektrone najprej "zapeljemo" na rob silicijeve rezine, tam pa naboj s kondenzatorjem spremenimo v napetost, ga digitaliziramo in po hitri povezavi sporočimo računalniku. Informacija o osvetlitvi posamezne točke, to je pravokotnega območja med sosednjima

kanaloma in pod ustrezno žico, je tako takoj po branju že zapisana v računalnikov spomin. CCD detektor je torej ploskovni detektor z nekaj sto tisoč točkami, ki pokrivajo površino okrog 2 cm^2 .

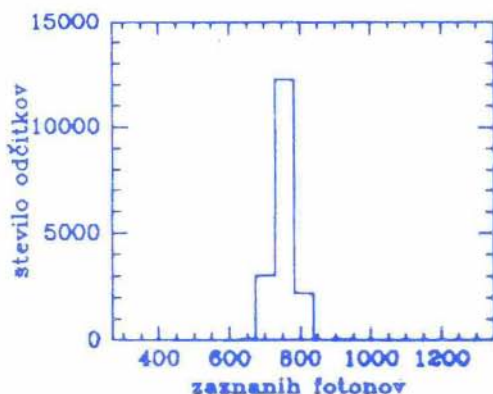


Slika 1. Shematski prerez CCD čipa. Z debelo prekinjeno črto je označena velikost ene za svetlobo občutljive točke.

Prednosti CCD detektorja v primerjavi s filmom je veliko. Računalnik prebere naboj na CCD čipu v nekaj sekundah (v video kameri, kjer je potrebna manjša točnost pri branju, celo v $1/25$ sekunde). Sliko lahko takoj prikažemo na zaslonu in se odločimo, če sta bili dolžina ekspozicije in centriranje objekta pravšnji, ali pa bomo posnetek takoj ponovili. Zamudno razvijanje filma tako odpade. Poleg te možnosti ima CCD še druge prednosti, ki si jih bomo najlažje ogledali na primeru.

Na naslovnici je posnetek meglice M 42 v ozvezdju Oriona. To je emisijska meglica, ki seva zaradi prehajanja atomov vodika iz višjih v nižja vzbujena stanja. Energijo za vzbujanje vodikovih atomov seva četrverica svetlih in vročih zvezd v središču meglice, ki so jim nadeli ime Trapez. Vzhod je na posnetku zgoraj in sever desno. Barve na posnetku niso prave, ampak označujejo področja, ki so približno enako svetla. Svetlost raste od črne proti beli barvi. Številke ob barvni skali pomenijo število zaznanih fotonov. Povečan osrednji del meglice je v drugi svetlostni skali narisana v okvirčku v desnem spodnjem kotu.

Število elektronov v prevodnem pasu je sorazmerno številu vpadlih fotonov, zato je za razliko od filma odziv CCD detektorja linearen. Ob tem ima CCD detektor zelo velik dinamični obseg, to je razmerje med najmanjšo in največjo možno zabeleženo intenziteto. Na posnetku Oriona je to razmerje kar 1:15000. Tako lahko na istem posnetku zabeležimo temne robne dele meglice ter zelo svetel osrednji Trapez. Kaj takega na filmu zaradi mnogo manjšega dinamičnega obsega ne bi bilo mogoče; če bi hoteli slikati celo meglico, bi bil Trapez presvetljen, ob dovolj kratki ekspoziciji za slikanje Trapeza pa ne bi videli temnih zunanjih delov meglice.



Slika 2 Število pozameznih odčitkov za kos neba ob desnem robu slike na naslovnici. Majhna razmazanost odčitkov okrog povprečne vrednosti pomeni, da ima CCD detektor zelo nizek šum.

Slika na naslovnici je zelo veren posnetek Orionove meglice. Predel v temnem spodnjem kotu slike meglice nam to nazorno kaže (slika 2). Zabeleženi odčitki kolebajo le zaradi relativno majhnega števila fotonov, ki so med ekspozicijo zadeli detektor. Prihajanje fotonov na detektor je naključen proces. Pri 100 pričakovanih fotonih na določeni točki jih pri posamezni ekspoziciji preštejemo nekaj več ali manj, vendar je razlika do 100 redkokdaj večja od $\sqrt{100} = 10$. Tej vrsti napak, ki jim pravimo fotonski šum, se ne moremo izogniti pri nobenem detektorju. Ostalim vrstam napak, kot je neželena vzbujanje elektronov v prevodni pas zaradi previsoke temperature detektorja ali napakam zaradi nenatančnega branja zbranega naboja, pa se izognemo tako, da detektor hladimo z več zaporednimi Peltierovimi členi na približno 200° K ter da naboj beremo dovolj počasi.

Do sedaj smo govorili le o prednostih CCD detektorja. Ima pa tudi eno pomanjkljivost: CCD čipi imajo relativno majhno površino, ki je občutljiva za svetlobo, tako da pokrijejo le majhen del goriščne ravnine teleskopa. Zato še vedno uporabljajo fotografske plošče, kadar želijo hkrati posneti velik kos

nebesnega svoda. Ne smemo pa pozabiti, da je slika, dobljena s CCD detektorjem, takoj na voljo v digitalni obliki in jo takoj lahko začnemo obdelovati: sliki lahko povečamo kontrast, zmerimo sij, pozicijo in velikost objektov na sliki, seštejemo in kvantitativno primerjamo posamezne slike istega objekta med seboj. Vse to gre pri filmu veliko težje: po razvijanju moramo z zamudnim postopkom digitalizirati sliko, ki je na filmu zapisana kot počrtnitev zrnca. Tudi po digitalizaciji imamo precej težav zaradi majhnega dinamičnega obsega zapisa in zaradi pogostih napak v zrnatosti filma. Tako tudi objekte, ki na nebu zavzemajo relativno velik prostorski kot, raje "pokrijejo" z mozaikom več CCD posnetkov, kot pa da bi uporabili film.

S CCD kamero se tudi manjšim teleskopom odpirajo možnosti slikanja zelo temnih nebesnih objektov, ki so bili prej dostopni le velikim teleskopom. Vendar uspeha ne bo, če tudi teleskop ne bo prilagojen večji natančnosti, ki jo zahteva delo s CCD kamero. Zatakne se lahko že na začetku: ker so objekti opazovanja lahko mnogo temnejši kot pri delu s filmom, imamo le malo možnosti, da jih bomo uspeli opaziti v iskalnem daljnogledu. Z nekaj smole lahko dober del večera zapravimo za to, da objekt sploh najdemo. Zato je neizogibno, da ima teleskop avtomatsko upravljanje. V računalnik, ki kontrolira gibanje teleskopa, vtipkamo koordinate objekta na nebesni krogli. Računalnik nato izračuna čas in pospešek vrtenja motorjev na teleskopovih oseh ter obrne teleskop. Avtomatski 25 centimetrski teleskop, ki smo ga razvili na Astronomsko geofizikalnem observatoriju (AGO), se je izkazal kot zanesljiv tovrstni instrument (glej astronomske efemeride Naše nebo 1992). Pri zasukih teleskopa večjih od 90° je napaka okrog $5'$, pri zasukih manjših od 1° pa le do $10''$. Ker je vidno polje CCD detektorja na tem teleskopu precej večje ($10' \times 15'$), je problem iskanja objektov na nebu rešen.

Temni objekti zahtevajo kljub veliki občutljivosti CCD detektorja dolge ekspozicijske čase. Med trajanjem osvetlitve sledi teleskop navideznemu vrtenju neba, tako da se slika astronomskih objektov na CCD detektorju ne razmaže. Pri polurni osvetlitvi se mora teleskop obrniti za 7.5° , to je za $7.5 \times 60 \times 60'' = 27000''$. Slika bo ostra, če teleskop pri tem zasuku ne bo zgrešil za več kot kako ločno sekundo. Take natančnosti ne zmorejo še tako natančno izdelani mehanski deli. Zato je potrebno napake pri sledenju sproti preverjati in odpravljati. Najenostavnejša rešitev je, da pravilnost sledenja spremljamo s pomožnim daljnogledom, ki je pritrjen na glavnega. Kako svetlo zvezdo v bližini opazovanega objekta nastavimo na nitni križ, napake pri sledenju pa sproti popravljamo s komandami motorjema na obeh teleskopovih oseh. Nerodno je le, da moramo ves čas ekspozicije stati ob

okularju, pa še naša sodba o velikosti potrebnega popravka sledenja je precej negotova. Sodobnejši način aktivnega sledenja, ki ga uporabljamo na AGO, je mnogo natančnejši in za opazovalca manj naporen. Namesto opazovalca opravi nalogo manjša CCD kamera, ki jo namestimo v goriščno ravnino pomožnega teleskopa. Med trajanjem osvetlitve na glavnem teleskopu naredimo z manjšim teleskopom dolgo serijo nekajsekundnih CCD posnetkov neba okrog svetle zvezde. Po vsakem posnetku računalnik analizira, ali je slika svetle zvezde še vedno na istem mestu ter po potrebi pošlje ustrezne ukaze motorjem.

Avtomatski teleskop današnjega časa je precej zapleten: dva CCD detektorja, dva računalnika, dva koračna motorja, računanje pozicij objektov v danem trenutku, sprotna analiza in popravljanje napak pri sledenju, . . . , pravzaprav je avtomatski teleskop vrsta natančnega robota. *Natančen* v tem primeru pomeni, da bi iz Ljubljane lahko slikali Aljažev stolp na Triglavu (ob dobrem vremenu, seveda).

Tomaž Zwitter, Bojan Dintinjana