

# Havaitsevan tähtitieteen peruskurssi I, syksy 2024

## Mallit 4

1.

- *Overscan-alue*

Alue joidenkin CCD kameroiden kennolla jota ei valoteta lainkaan. Tätä aluetta voidaan käyttää kuvien bias-tason määrittämiseen. Näin saadaan helposti huomioitua mahdolliset muutoksen bias-tasossa yön aikana, mutta ei muutoksia eri pikseleiden välillä.

- *Dekonvoluutio*

Dekonvoluutiolla pyritään korjaamaan laitefunktio eli instrumentin CCD-kuvaan aiheuttamat vääristymät, jotta kuvaa saataisi terävämmäksi. Tähän on olemassa erilaisia menetelmiä, kuten Maximum Entropy Method (MEM) ja Richardson-Lucy-algoritmi (RL).

- *Lucky imaging*

Käyttäen nopeasti luettavaa CCD:tä voidaan ottaa kohteesta hyvin lyhyellä valotusajalla ( $< 10$  ms) suuri määrä kuvia. Osassa kuvissa ilmakehän häiriöt jäävät pieniksi ja yhdistämällä parhaat kuvat voidaan kohteesta saada kuva, jonka terävyys on lähellä teleskoopin diffraktion rajoittamaa erotuskykyä.

- *Unsharp masking*

Menetelmällä terävöitetään CCD-kuvia. Alkuperäinen kuva konvoloidaan vaikkapa Gaussin funktiolla. Konvoloitu kuva vähennetään ensin alkuperäisestä. Kun saatu kerrotaan sopivalla vakiolla ja erotus lisätään takaisin alkuperäiseen kuvaan, saadaan terävöitetty kuva.

- *Point spread function (PSF)*

Laitefunktio joka kertoo miltä äärettömän terävä pistemäinen valolähde näyttää teleskoopin ja instrumentin kuvaamana.

- *Strehlin suhde*

Optisen systeemin laatua mittaava suhde  $R = I_0/I_0^d$ , jossa  $I_0$  on pistemäisen kohteen kuvan havaittu keskusintensiteetti ja  $I_0^d$  on laitteen teoreettisesti lasketun diffraktiokuvion keskusintensiteetti.

2.

Arvioi kuinka pitkä valotusaika tarvitaan NOT:n ALFOSC-instrumentilla jotta 18 magnitudin tähdestä jonka korkeus taivaalla on  $60^\circ$  saadaan V-filterillä  $S/N = 300$ , pimeällä taustataivaalla. Kokeile myös mikä vaikutus on, jos muutat taustataivaan kirkkauden arvoksi  $B$  (=“bright”, eli täysikuu). Mistä muutos/muuttumattomuus johtuu?

(NOT-linkki ALFOSC-instrumentiin: <https://www.not.iac.es/observing/forms/signal/index.php>)

Lasketaan ilmamassa  $X \approx 1/\cos z$ , jossa  $z$  on zeniittietäisyys. Korkeus  $60^\circ$  antaa  $z = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ . Saamme  $X = 1/\cos(30^\circ) \approx 1.15$ .

Kokeilemalla eri valotusajan arvoja näemme, että taustataivaan ollessa pimeä (D),  $t = 95$  s antaa  $S/N \approx 300$ .

Kokeilemme tämän jälkeen mitä tapahtuu jos taustataivaan kirkkaus muutetaan arvoksi “B”.

Huomaamme että jälkimmäisessä tapauksessa  $S/N \approx 185$ , eli huomattavasti alhaisempi.  $S/N \approx 300$  saamme nyt valotusajan arvolla  $t = 249$  s. Eron syy on, että taustataivaan kirkkaus on tällöin paljon lähempänä kohteen kirkkautta. Tämä heikentää  $S/N$  -arvoa alla annetun mukaisesti

$$\frac{S}{N} = \frac{N_\star}{\sqrt{N_\star + n_{\text{pix}}(N_S + N_D + R^2)}}$$

$N_\star$  = tähden signaali [ $e^-$ ]

$n_{\text{pix}}$  = tähden peittämät pikselit [dimensioton]

$N_S$  = tausta taivaan taso per pikseli [ $e^-$ ]

$N_D$  = pimeävirta per pikseli [ $e^-$ ]  
 $R$  = lukukohina [ $e^-$ ]

**3.** Otetaan flat-field kuvia CCD-kameralla, jonka vahvistuskerroin on  $G = 1.0e^-/ADU$  ja lukukohina  $R^2 = 10e^-$ . Oletetaan, että kuvien keskimääräinen intensiteetti on  $I = 32000ADU$  ja että halutaan tutkia 1%:n muutoksia CCD:llä. Kuinka monta flat-field -kuvaa pitää ottaa, jotta yhdistetyssä "master" flat-field -kuvassa kokonaiskohina olisi viidesosa vaaditusta tarkkuudesta?

Kun yhteenlasketaan  $n$  flat-field kuvaa, pitää lopputuloksen signaalikohinan suhteen olla viisi kertaa parempi kuin 1% eli

$$S/N \approx \frac{5}{0.01} = 500$$

Kaikki laskut suoritetaan yksiköissä  $e^-$  [elektronit]. Koska  $G = 1.0e^-/ADU$ , vastaa yhtä elektronia  $e^-$  yksi ADU. Yhden flat-fieldin lukukohina on

$$\sigma_A = R = \sqrt{10}e^{-1}$$

Yhden flat-fieldin intensiteetti on  $I = 32\,000ADU$ , mikä vastaa  $N_{ff} = 32\,000e^-$  elektronia. Kaikki muuttujat on nyt yksiköissä  $e^-$  [elektronit], joten yksiköitä ei enää tarvitse kirjoittaa näkyviin.

Yhden flat-fieldin fotonikohina on

$$\sigma_B = \sqrt{N_{ff}}$$

Yhden flat-fieldin kokonaiskohina on

$$\sigma_1^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 \Leftrightarrow \sigma_1 = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} = \sqrt{R^2 + N_{ff}}$$

Kun lasketaan yhteen  $n$  flat-fieldiä, on kokonaiskohina

$$\sigma_n^2 = n(\sigma_A^2 + \sigma_B^2) \Leftrightarrow \sigma_n = \sqrt{n(\sigma_A^2 + \sigma_B^2)} = \sqrt{n} \sigma_1 = N = \text{NOISE}$$

Kun lasketaan yhteen  $n$  flat-fieldiä, on signaali

$$nN_{ff} = S = \text{SIGNAL}$$

Signaalikohina suhde on

$$S/N = \frac{nN_{ff}}{\sqrt{n} \sigma_1} = \sqrt{n} \frac{N_{ff}}{\sqrt{R^2 + N_{ff}}}$$

Tästä voidaan ratkaista tarvittava  $n$  arvo

$$n = \left( \frac{S/N}{\frac{N_{ff}}{\sqrt{R^2 + N_{ff}}}} \right)^2 = \left( \frac{500}{\frac{32000}{\sqrt{10+32000}}} \right)^2 = 7.81494$$

Tarvitaan siis ainakin  $n = 8$  flat-fieldiä.

**4.** Tarkastellaan yhtä pikseliä CCD kuvassa. Raakakuvassa tämän pikselin arvo on  $R = 5000$ . Sinulla on myös redusoidut master-bias ( $B$ ), master-dark ( $D$ ) ja master-flat-field ( $F$ ) kuvat, joissa tämän pikselin arvo on  $B = 100$ ,  $D = 200$  ja  $F = 1.1$ . Valotusajat kuville ovat  $t_R = 1200$  s,  $t_B = 0$  s,  $t_D = 600$  s ja  $t_F = 10$  s. Mikä on tämän pikselin arvo lopullisessa, redusoidussa kuvassa?

aakakuvien redusointi tapahtuu siten että vähennetään raakakuvasta bias-kuva sekä valotusajan suhteen skaalattu dark-kuva, minkä jälkeen tämä jaetaan ykkösen ympärille normalisoidulla flat-fieldillä. Saamme siis tiedekuvaan  $T$ :

$$T = \frac{R - B - D \frac{t_R}{t_D}}{F}.$$

Sijoittamalla arvot saamme  $T = 4090$ .

**5.** *Olet tekemässä havaintoja CCD-kameralla. Laadi muistilista havaintoihin liittyvistä toimenpiteistä.*

Muistilista:

1. Havaintojen suunnittelu: Laaditaan aikataulu valotusaikoihin (arvio) havaittavista kohteista.
2. CCD:n jäähdytys: Aloitetaan viimeistään päivällä ennen havaintoyötä.
3. Kalibrointikuvat: Dark, Bias ja Flat field -kuvat otetaan viimeistään auringonlaskun aikaan. Flat field -kuvat otetaan erikseen jokaiselle käytettävälle instrumentille ja konfiguraatiolle (esim. eri suotimille). Joskus saatetaan tarvita kalibrointikuvia myös kohteiden havaintojen välissä ja lisää kuvia voi ottaa aamuhämärässä.
4. Teleskoopin fokusointi: Tehdään heti kun taustataivas on riittävän tumma. Fokus muuttuu mikäli vaihdetaan filtriä tai instrumenttia ja lisäksi se on lämpötilan funktio. Joissakin teleskoopeissa jälkimmäinen korjataan automaattisesti.
5. Kohteiden havaitseminen.
6. Suljetaan teleskooppi: Pysäytetään seurantamoottori, asetetaan teleskooppi "lepoasentoon", kate-taan peili ja apuputket, suljetaan kupu, sammutetaan valot ja lukitaan torni.