



CCD technika

Sötétkép — világoskép

Az alábbiakban visszatérünk egy kis időre az alapvető képfeldolgozási eljárásokhoz: a sötétképpel (dark frame) és a világosképpel (flat field) elvégzendő korrekciókat vizsgáljuk meg tüzetesebben.

Sötétképek készítése

A sötétképek készítésénél, mint arról már említést tettünk, a következő alapvető szabályokat kell betartani, hogy a korrekció elvégzésekor valóban javítsunk a képen:

- A sötétképeket ugyanolyan integrációs idővel kell készíteni, mint amivel a korrigálni kívánt képet készítjük.
- A kamerának ugyanazon a hőmérsékleten kell lennie az egyes képek készítésekor.

Ezáltal mindkét felvételen a sötétáram mértéke jó közelítéssel megegyezik. Az amatőr kameráknál általában, ha egyáltalán a kamera hőmérsékletét kijelzi a szoftver, az nem abszolút értéket mutat, hanem a környezettől való eltérést. Vagyis éjszakáról éjszakára más lehet a chip hőmérséklete, annak ellenére, hogy a hűtés mértéke ugyanakkora (pl. a szoftverben beállított -20 fok, vagy, ha nem szabályozható a hűtés, akkor a kamera leírásában megadott érték). Így a sötétképek elkészítése lehetőleg az egyes képek előtt/után történjék. Célszerű az észlelés megkezdése előtt elkészíteni több sötétképet, majd később ezeket használni. Ügyeljünk azonban arra, hogy a kamera az hűtés bekapcsolása után várjuk meg, amíg beáll az „üzemi hőmérséklet”. Ez általában 2-5 percet vesz igénybe. Rövid integrációs idejű sötétképeket készítve kb. fél perces különbséggel megállapíthatjuk, hogy valóban stabilizálódott-e a hőmérséklet. Amennyiben a két képen a pixelek átlagos intenzitása megegyezik, úgy elkezdhetjük a felhasználni kívánt sötétképek készítését, majd/vagy az észlelést. Amennyiben a hőmérséklet-szabályzás nem abszolút, úgy pár óra elteltével készítsünk újabb sötétkép-sorozatot, ugyanis a külső hőmérséklet jelentősen változik ez idő alatt! Ha abszolút hőmérséklet-szabályzással rendelkezik a kamera, általában az aktuális hőmérsékletet ki is jelzi a vezérlő szoftver (pl. SBIG ST-6-os CCD). Ne ijedjünk meg, ha a kijelzett érték (gyorsan) változik, „ugrál”, akár egy fokkal is eltér a beállított értéktől. A hőmérséklet mérésének pontossága sem nagyobb 1 fokonál (gyakorlati okok miatt), így a kijelzés gyors fluktuációja nem valós változásokat tükröz. Ne tévesszen meg bennünket, hogy esetleg a kijelzés akár két tizedesjegy pontosságú!

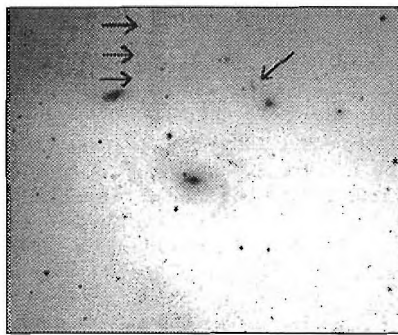
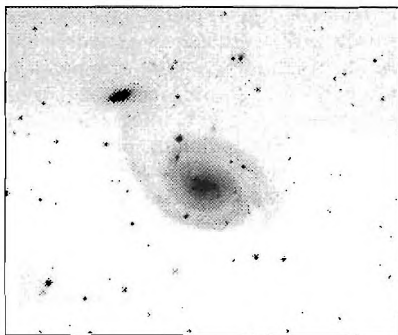
Több sötétkép készítésére azért van szükség, mert a sötétáram nagysága a helytől (pixelelről pixelre) és időtől függően is változik, ez a sötétzaj. Mivel ennek a zajnak az eloszlása véletlenszerű, vagyis egy adott érték körül ingadozik valamekkora eltéréssel, a valódi sötétáram-érték nagy pontossággal meghatározható. Ehhez minél

több sötétképre van szükségünk, amiket átlagolva kiszűrhetjük a zajt. Csakhogy az egyszerű átlagolás nem mindig ad helyes értéket! Pl. legyen egy adott pixel értéke a különböző sötétképeken 102, 97, 110, 112, 105, 85, 100 és 987. Nyilvánvalóan az utolsó egy hibás érték, vagy kozmikus sugár okozta a beegést, vagy valamilyen elektronikai hiba. (A kozmikus sugarak a sötétképeken is előfordulhatnak, hiszen az ezeket okozó nagyenergiájú részecskék szinte akadálytalanul hatolnak át a kameratesten, távcsövön, csak épp a chipen való áthaladásuknak maradandó nyoma van.) Ha egyszerűen a képek átlagát képezzük, akkor 212,25-öt kapunk, holott láthatóan 101–102 körül szórnak a helyes értékek. Sokkal jobb eredményt szolgáltat a medián átlagolás. Ha sorbarendezzük az értékeket, akkor a 85, 97, 100, 102, 105, 110, 112, 987 sorozatot kapjuk. Vegyük ennek a sorozatnak a középső elemét, vagy ha nincs ilyen (mint ebben a példában), akkor a két középsőnek, jelen esetben 102-nek és 105-nek az átlagát. Így 103,5-et kapunk, ami jól láthatóan közelebb áll a valós értékhez.

Az igényesebb képfeldolgozó szoftverek ezt az eljárást alkalmazzák a képek átlagolásakor (vagy még körültekintőbb eljárásokat), de érdemes utánanézni a szoftver leírásában, hogy valóban így van-e. Illetve, ha valaki maga próbálkozik egy egyszerű kis program írásával, akkor a medián átlagolást válassza.

Világosképek

Mindenekelőtt lássunk egy képpárt (1. és 2. ábra, invertált képek), mely jól illusztrálja, mi történik akkor, ha nem a megfelelő világosképpel végezzük a korrekciót! A 2. ábrán kissé eltúlozva kerültek ábrázolásra az eltérések, melyek közül néhányat nyílak jelölnek. A három vízszintes nyíl egy belógó sötét sávra, míg a negyedik egy nem valódi, pusztán a rossz korrekció miatt megjelent sötét foltra mutat. Az is jól látszik, hogy a 2. kép tetején és bal oldalán elsötétedett, ami (több más okkal együtt) lehetetlenné teszi a galaxis részleteinek az 1. ábrához hasonló kiemelését.



1–2. ábra. Egy jó és egy nem megfelelő világosképpel elvégezve a korrekciót igencsak szembetűnő lehet az eltérés

A világosképek készítésénél sokkal több szempontot kell figyelembe venni. Először is ne felejtszünk el arról, hogy általában a flat-field képek már olyan integrációs idővel készülnek, ahol nem hanyagolható el a sötétáram menynyisége, vagyis a fent leírtak alapján a megfelelő sötétkép korrekciót el kell végezni. (Kb. 1–2 másodpercnél hosszabb integrációs idők esetén.) Először is nézzük meg, miért van szükség a világoskép korrekcióra!

Az egyes képek a következő hibákkal lehetnek terhelve:

- Az optikai rendszerben fellépő vignettálás, vagyis az optikai tengelytől távolodva csökkenő intenzitás hamis fényességárányokat eredményez a kép belső és külső részei között.
- Az érzékelőn, vagy a szűrőkön, a detektorhoz közel a fényútban lévő porszemek sötét foltokat eredményeznek a képen.
- Az esetleg alkalmazott mechanikai zár egyenetlen mozgása során nem ugyanakkora a megvilágítási idő minden pixelre.
- A pixelek különböző érzékenysége hamis mintázatot vihet a képre.

Ezen hibák korrigálására egy egyenletesen megvilágított felületről kell felvételeket készíteni, s azokat a fent leírtak szerint és miatt átlagolni, medián átlagolással. Ezután a képet lenormáljuk, azaz az átlagos intenzitással (a pixelek össz-intenzitása osztva a pixelek számával) minden pixel intenzitását leosztjuk. Így a kapott képen az 1-es érték körül szóró fényességértékek lesznek. Ahol a világosképen sötét pixelek voltak, ott 1 alatti, ahol „fényesek”, ott 1 fölötti értékek lesznek. Ha ezzel a képpel leosztjuk a korrigálni kívánt képet, úgy a hibák miatt (pl. porszem, vignettálás) sötét területek kivilágosodnak (hiszen 1-nél kisebb számmal osztunk), a világosabb (érzékenyebb pixelek) területek elsötétednek (1-nél nagyobb számmal osztunk). Vegyük észre, hogy a korrekció során a kép átlagos intenzitása nem változik.

A világosképek készítésénél azonban sok tényezőt kell figyelembe venni (amennyiben ez nem történik meg, úgy az 1. és 2. ábrán látható módon elronthatjuk a képet):

- A korrigálni kívánt kép és a flat-field kép készítése között a detektornak és a távcsőnek egymáshoz képest nem szabad elmozdulniuk, és az optikai rendszerben sem történhet változás.
- Amennyiben pl. színes felvételek készítése, vagy fotometriai mérések miatt szűrőváltót alkalmazunk, úgy győződjünk meg arról, hogy a szűrők pozícionálása megfelelő pontosságú-e. Különben a szűrőkön lévő porszemek okozta árnyék, vagy egyéb hibák „vándorolnak” a képen, korrigálásukra nem lesz lehetőség, sőt, a világoskép korrekció hamis eredményt ad!
- Minden egyes alkalmazott szűrőhöz külön világosképeket kell készíteni. Ennek oka egyrészt a különböző szűrők eltérő szennyezettsége (esetleges egyenetlenség az átérésztőképességben, vagyis pl. az egyik szűrő a közepén jobban átenged, mint a pereme felé), ill. az a tény, hogy a világoskép szerkezete színtfüggő.
- Mivel a CCD-k spektrális érzékenysége hőmérsékletfüggő, így a flat-field és a korrigálni kívánt képek azonos hőmérsékleten kell hogy készüljenek.
- Törekedjünk minél nagyobb jel/zaj viszonyra.

Utóbbi becslésre jól alkalmazható az elmúlt alkalommal megismert $S^{1/2}$, azaz a mért jel négyzetgyöke. Vagyis ha egy világoskép átlagos intenzitása 2500, ami a kamera erősítési tényezőjét 4-esnek feltételezve (4 elektron = 1 ADU, ADU = Analogue Digital Unit, vagyis a képen mért intenzitás egy egysége) 10 000 elektront jelent, akkor a jel/zaj viszony 100, ami már jó érték. De fényesebb célpont választásával akár 300-as jel/zaj viszonyt is elérhetünk. A minél világosabb felület választása azonban nem mindig célravezető, elsősorban a nagyobb látómező esetén (pl. teleobjektívra szerelt CCD kamera) kell körültekintőnek lenni. Ez jól látszik az alábbiakból, ahol a lehetséges világoskép célpontokat tekintjük át.

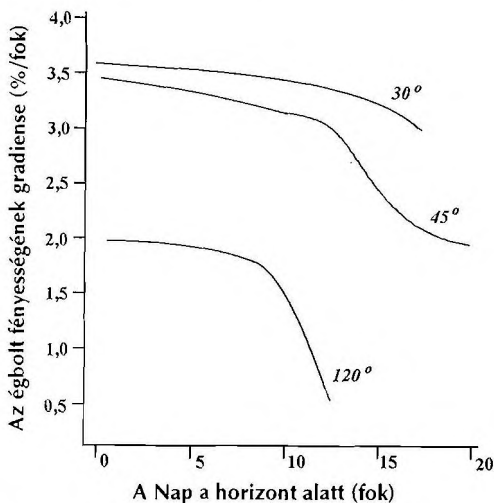
(Megjegyzendő, hogy a világoskép szerkezete bizonyos mértékben intenzitásfüggő. Ez jól látható, ha a következőkben ismertetésre kerülő objektumokról készített felvételeket összehasonlítjuk. Egy világos célpontot választva más képet kapunk,

mint ha egy sötét, egyenletesen megvilágított felületről készítünk képet. Ilyenkor az egyes képeket előbb lenormáljuk, majd utána átlagolunk, s így kapjuk meg a korrigáláshoz szükséges képet.)

Szűrőkületi égbolt. A szűrőkületi égbolt naplemente után, vagy napkelte előtt nem sokkal, igen jó flat field célpontnak kínálkozik. Könnyen találhatunk megfelelően fényes területet a nagy jel/zaj arányú felvételek készítéséhez. A CCD azonban igen érzékeny eszköz, és még ott is rögzíthetünk csillagokat, ahol nem is várnánk! Mozgassuk tehát a távcsövet térkép alapján egy csillagszegény területre, majd az egyes világosképek között egy-egy ívpercnyit „lökjük” arrébb. Így, ha minden igyekezetünk ellenére mégis találunk pár csillagot a képeken, akkor azok helyzete változni fog, és a medián átlagolás teljesen eltünteteti a nem kívánt fényes pontokat (hiszen azok egy adott pixel esetében csak egyszer jelennek meg).

Nagyobb fókusz távolság esetén a CCD chipék kis mérete miatt kicsi a látómező, 10–15 ívperc körüli. Ha azonban pl. tele- vagy alapobjektívvel akarunk képet készíteni (pl. egy üstökösről), akkor az előző esettel szemben nem mindegy, hogy az égbolt melyik részén készítjük a világosképeket!

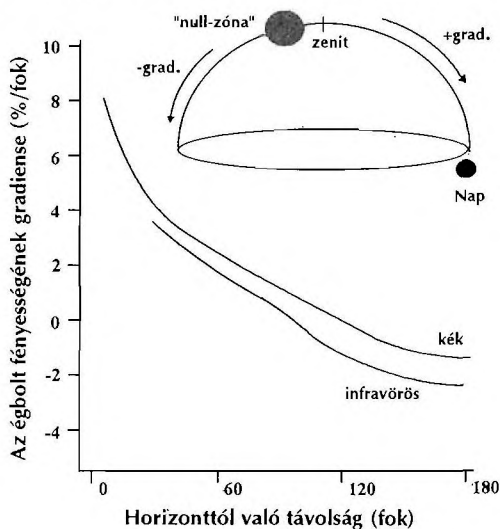
Már szabad szemmel is jól látható, hogy a szűrőkületi égbolt fényessége változik, a horizonthoz közel nagy, attól néhányszor tíz fokra hirtelen csökken, majd a zenithez közeledve szabad szemmel szinte észrevehetetlenné válik a változás. Az, hogy hol milyen mértékben változik az égbolt fényessége, függ attól, hogy a Nap mennyivel van a horizont alatt. Ennek fokokban kifejezett értéke olvasható le a 3. ábra vízszintes tengelyén. A függőleges tengelyen a fényességváltozást láthatjuk, melynek mértekegysége %/fok, azaz azt mutatja, hogy egy fokon belül hány százalékpontot változik az égbolt fényessége (ez az égbolt fényességének az ún. gradiense).



3. ábra. A szűrőkületi égbolt fényességének változása a Nap horizonttól való távolságának függvényében. Az egyes görbék a különböző naptávolságokhoz tartoznak

Egy másik ábráról jól leolvasható, hogy van az égboltnak egy olyan pontja, ahol a gradiens 0, azaz széles látószögön belül egyenletesnek tekinthető az égbolt fényessége. A 4. ábrán egy olyan kör mentén mért gradiens értékeket tüntettünk fel, amely kör áthalad a már horizont alatt lévő Napon, és a zenitén. A vízszintes tengelyen az ezen a „főkörön”, a horizonttól mért foktávolságot (a Nap felőli oldalról kiindulva), a másik tengelyen a gradiens ábrázoltuk, a már megismert %/fok mértékegységben. Az, hogy a gradiens negatív értékekbe megy át 120 fok után, azt jelenti, hogy megfordul a fényesedés iránya. Vagyis közeledve a naplemente helyé-

vel szemközti ponthoz már nem a Nap felőli oldal lesz világosabb, hanem a horizonthoz közelebb eső oldal. Ez nem meglepő, ha körbenéziünk egy naplemente utáni tiszta égbolton. Nagyobb látómező esetén tehát ezen a „főkörön”, a zenittől kb. 15 fokra készítsünk világosképeket, mert ekkor elkerülhető a képek egyik oldalának hamis kifényesedése a flat-field korrekció során. (Kb. fél fok, vagy annál nagyobb látómező esetén már érdemes erre is figyelni.)



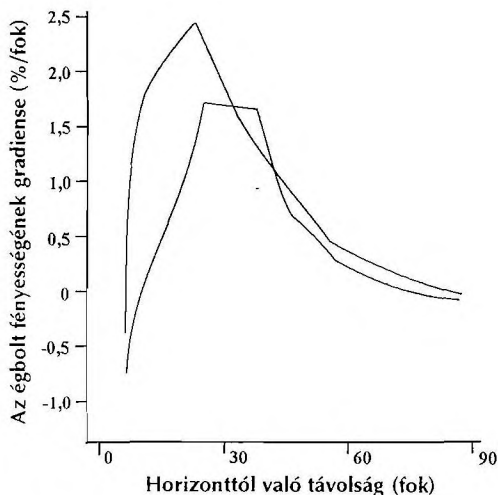
4. ábra. A sötét égbolt fényességének gradiense két különböző helyszínen. Jól látható a különbség, ami a különböző környezetből (város, páratartalom stb.) ered

tott vászon, melyről visszaverődő fényt a távcső tubusa elé helyezett fehér papírlap még jobban homogenizálja, vagy egyszerűen a szűrületi égbolt által, esetleg erősen diffúz napfényrel megvilágított papírlap, fehérre festett fal is kiváló célpont stb. Lehetőleg igyekezzünk természetes fényforrást használni (szűrületi égbolt szórt fénye), ugyanis mint említettük, a világoskép szerkezete színtől függő, vagyis a fényforrás színe, sugárzásának spektrális eloszlása is nagy hatással van a kialakult kép szerkezetére.

Sötét égbolt. Bármilyen meglepő, de a már majdnem teljesen sötét égbolt is lehet világosképeink célpontja. Mivel az égbolt színe változik, ahogy sötétebb lesz, ezzel a flat-field képek is kissé változnak. Valójában az éjszaka készült felvételekhez a hasonló színű, vagyis hasonlóan sötét égboltot kellene célpontnak választani a világosképekhez, vagyis bizonyos szempontok szerint ez a módszer (bár jóval körülményesebb) adja a „legelőthűbb” eredményt. Mivel azonban az eltérés nem túl jelentős, és a sötét égbolton igen nehéz elérni a megfelelő jel/zaj viszonyt (több tucat, esetleg 100-nál is több világosképet kellene készíteni), ezért nem sok helyen alkalmazzák. Ha azonban a lehető legpontosabban akarunk eljárni, mert pl. század-, ezred-

„Dome flat”. Angolul így nevezik azokat a világosképeket, amiket a kupolán (dome) belüli célponttól készítenek. Egyik nagy előnye, hogy tudjuk kontrollálni a megvilágítás erősségét, azaz egy adott, kipróbált beállítás mellett lehet készíteni a flat-field képeket, nem kell állandóan a megfelelő fényességű égboltterületet és/vagy a megfelelő integrációs időt keresgelnünk. Általában kifeszített fehér vásznat, sűrű szövésű selymet, vagy sima, egyenletesen fehér (fal)felületet alkalmaznak, melyet lámpákkal világítanak meg. Nagy (több méteres) távcsöveknél nehéz az egyenletes megvilágítást így elérni, kisebb műszereknél azonban több egyszerű és megfelelő lehetőség ajánlkozik. Ilyen pl. a diavetítővel megvilágí-

magnitúdós fénygörbéket akarunk kapni, akkor érdemes ezzel a módszerrel próbálkozni. Ez azonban többnyire nem az amatőrök területe. Amiért mégis említésre került, annak oka az 5. ábrán látható: a fényesség változásának gradiense sokkal kisebb, mint a szűrületi égbolt esetében. A bemutatott görbe alakja azonban jelentősen függ a helyi fényszennyezési, időjárási viszonyoktól (l. a két görbe eltérését, amely két különböző helyen történt mérések eredményeit mutatják), mégis, nagy látómező esetén érdemes kísérletezni ezzel az eljárással.



5. ábra. Fényesség gradiens a zeniten és a Napon áthaladó főkör mentén, a kék és az infravörös tartományban

Ezen ismeretek birtokában már meg tudjuk tervezni CCD-s észleléseinket. Tudunk becslést adni az elérhető határmagnitúdóról, az esetleges mérés pontosságáról, el tudjuk készíteni megfelelően a szükséges korrekciós képeket és megfelelően tudjuk feldolgozni, használni azokat. Ezek után jöhet az észlelés, melynek során nem csak szép képeket, de tudományos eredményeket is produkálhatunk. Az elkövetkezendőkben két témát, nevezetesen a kisbolygók pozíció- és fényességmérését, illetve a csillagok fényességének, majd ezen keresztül csillagok, csillaghalmazok fizikai paramétereinek meghatározását mutatjuk be hazai példákon keresztül.

*Michael V. Newberry: Pursing the ideal flat field (CCD Astronomy, 1996, tél) és
Frederick R. Chromney: Special considerations for flat fielding
(CCD Astronomy, 1996, őszi) cikkek felhasználásával:*

FŰRÉSZ GÁBOR

A DÉMA Csoport a Varázsvárosban!

CD-ROM-ok, csillagászati fotók, könyvek a
Vörösmartý téri karácsonyi vásáron. Keresse a
DÉMA-házikót a Vörösmartý téri lemezbolt előtt!