

ELTE Haladó labor, Piskéztető

Szakáts Róbert, Sódor Ádám

2020. április 16.

Tartalomjegyzék

1. Előfeltételek	2
2. Bevezetés	2
3. Fits fájlok kezelése	3
4. Redukálás	4
4.1. Master bias	5
4.2. Master dark	6
4.3. Master flat	8
4.4. Az objektumképek feldolgozása	9
5. Az objektumképek regisztrációja	9
5.1. Csillagkeresés	9
5.2. Képtranszformációk kiszámítása	11
5.3. A képek összetolása	11
6. Fotometria	12
6.1. Az XX Cyg azonosítása	12
6.2. Apertúra fotometria	13
6.3. Differenciális fotometria	17
7. Jegyzőkönyv	18

1. Előfeltételek

- Saját otthoni gépen futó, modern linux operációs rendszer, pl. Debian 10.
- bash (<http://www.tldp.org/LDP/Bash-Beginners-Guide/html/>)
- FITSH (<https://fitsh.net/>)
- Gnuplot (<http://www.gnuplot.info/>)
- awk (<https://www.linuxtechi.com/awk-command-tutorial-with-examples/>)
- ds9 (<http://ds9.si.edu/site/Home.html>)
- xpatools (<http://hea-www.harvard.edu/saord/xpa/>)

A labor során piszkéstetői archív méréseket fogunk feldolgozni. A méréseket, illetve a laborhoz szükséges szkripteket, fájlokat a labor honlapjáról lehet letölteni: <https://konkoly.hu/staff/szakats.robert/>

A felsorolt szoftvereket próbáljuk meg még a labor előtt feltelepíteni. Egy részük (bash, awk, gnuplot) sok esetben már az alaprendszerrel feltelepül. A **FITSH** telepítése a honlapján elég jól le van írva, illetve bizonyos disztribúciókban (pl. Debian) elérhető repóból is, mint ahogy a ds9 is.

A szoftverek telepítése után töltsük le az adatfájlokat és az egyéb fájlokat a gépünkre egy munkakönyvtárba. Kb. 10GB szabad helyre lesz majd szükség. Tömörítsük ki a data.tar.bz2 fájlt:

```
tar -xvf data.tar.bz2
```

Az *imexam* és a *tvmark* szkripteket másoljuk át a \$HOME/bin/ mappába és tegyük végrehajthatóvá:

```
chmod +x imexam
```

Ha még nem lenne benne a \$HOME/.bashrc-ben a következő sor, akkor írjuk bele:

```
export PATH="$PATH:$HOME/bin/"
```

2. Bevezetés

A labor során egy pulzáló változócsillagról (XX Cyg) készült méréseket fogjuk feldolgozni. A mérések a piszkéstetői Schmidt távcsővel készültek.

Linuxos környezetben fogunk dolgozni, így az alapvető linuxos parancsok és valamilyen ismertebb linux alapszintű felhasználói ismerete előny.

A feldolgozás során elvégezzük az alapvető képkorrekciókat, úgy mint bias, dark és flat, majd megcsináljuk a fotometriát (fényességmérés) és végül ábrázoljuk a csillag fénygörbét, azaz a (jelen esetben relatív) fényességváltozását az idő függvényében. Végül pedig házi feladat keretében a jegyzőkönyvnek kell elkészülnie.

Az alapvető képkorrekciókról és a CCD kamerák működéséről a feltöltött *ccd.pdf*-ből készüljünk fel.

Az apertúra fotometriához jó bevezető a következő dokumentum: http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro_refs/aperture_phot2.pdf

A többi használt szoftverhez az előző fejezetben található linkeken lehet információt szerezni.

A következő feladatok során a parancsok kiadása minden esetben linux parancssorban történik, kivéve ott, ahol ez jelezve van.

3. Fits fájlok kezelése

Ebben a feladatban megismerkedünk a fits fájlformátummal és hogy hogyan tudunk ezekből a fájlokból információt kinyerni, illetve hogyan tudjuk megjeleníteni.

Maga a formátum a Flexible Image Transport System rövidítése. Ez egy standard, digitális formátum, amelyben adatokat tudunk tárolni. Ez lehet kép információ is, de táblázat is. Akár több dimenziós, úgynevezett datacube-ok is lehetnek fits fájlokban.

A mi esetünkben az összes fájl egy-egy csillagászati felvétel, vagy ahhoz kapcsolódó kalibrációs kép. Minden fájlunk két részből áll: egy header, vagy fejlécből és magából az adatból. A fejlécben mindenféle hasznos információk és kommentek találhatók, amihez többféleképpen is hozzáférhetünk. A FITSH csomag fiheader task-jal tudja olvasni és írni a header részt. Pl.:

```
fiheader bias_1x1_0001_bias.fits --get date-obs
```

melynek kimenete:

```
2018-10-13T04:18:17.8266
```

Ez az adott felvétel készítési ideje, UT-ban, ISOT formátumban. Ebben a példában a date-obs egy fejléc keyword, vagy kulcsszó volt, a `--get` pedig az, hogy olvasni akarjuk az adott kulcsszó értékét.

A `--set` paranccsal írni is tudunk a fejlécbe, pl.:

```
fiheader bias_1x1_0001_bias.fits --set teszt='Teszt proba'
```

Majd nézzük meg, hogy sikerült-e:

```
fiheader bias_1x1_0001_bias.fits --get teszt
```

Feladat: A következő fájlokból olvassuk ki az alább felsorolt kulcsszavak értékét és jegyezzük fel:
Fájlok:

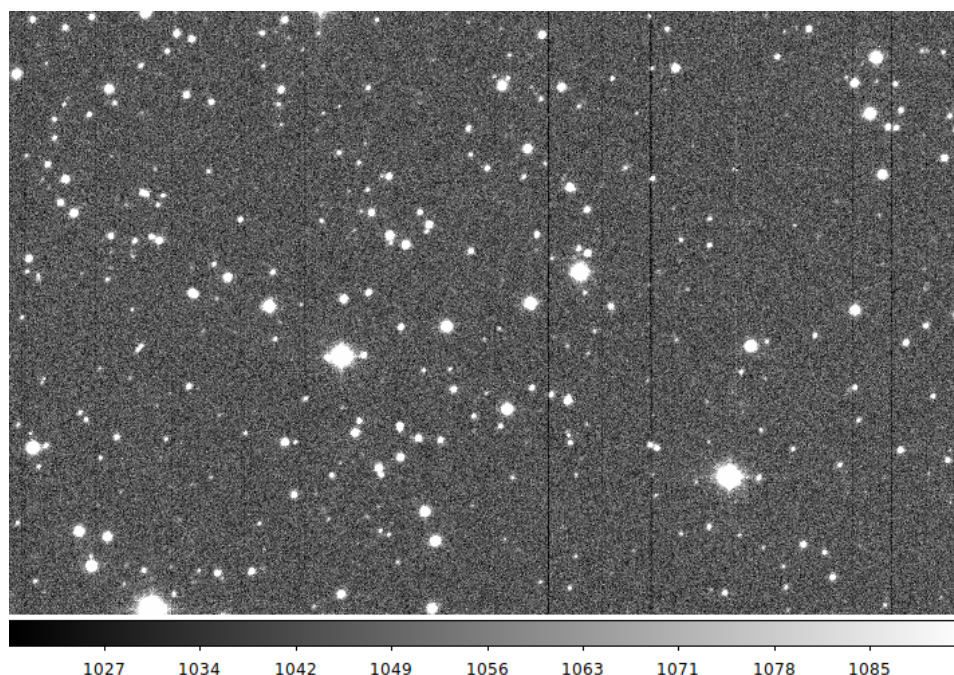
- bias_1x1_0001_bias.fits
- dark-30sec_1x1_0001_dark.fits
- domeflatr_0001_R.fits
- XX_Cyg-20181012_0001_R.fits

Kulcsszavak:

- date-obs
- imagetype
- filter
- ccdtemp

A képek megjelenítéséhez a ds9 nevű programot fogjuk használni. Nyissunk meg egy objektumképet a ds9-ben. Írjuk be a parancssorba:

```
ds9 XX_Cyg-20181012_0001_R.fits -scale zscale&
```



1. ábra. Megnyitott objektumkép a ds9-ben.

Láthatjuk, hogy a képen rengeteg csillag található. A zoom menüben zoomolhatunk, vagy az egérgörgővel is. A felvételek a Schmidt távcsővel készültek, aminek a látómezeje az égen majdnem 1.1×1.1 fok. Összehasonlításképpen, a telihold fél fok átmérőjű. A képen látszanak még hibás pixel oszlopok, amik a kamera előrecedése miatt jelentek meg. Ezeknek a nagy részét remélhetőleg a bias és dark korrekció kiszedi majd. Ha már fut a ds9, akkor a File menüben megnyithatunk másik fits fájlt is.

Feladat: Hasonlítsuk össze a bias, dark, flat és objektumképeket. A ds9 Frame menüjében nyithatunk új frame-et. Ezek mindegyikében egy-egy külön fits fájlt tudunk megjeleníteni. Váltani köztük a TAB gomb lenyomásával tudunk. Nyissuk meg külön framekben az előző feladatban szereplő fájlokat. Írjuk le a szemmel végzett összehasonlítások tapasztalatait. Csináljunk képeket a jegyzőkönyvbe: File - Save image - PNG...

A ds9 nem csak a kép adatrészét tudja megjeleníteni, de a fejléct is. Ezt a File - Header gomb megnyomásával tudjuk megtenni. Egy új ablakban megjelenik a teljes fejléc. Ellenőrizzük az előző feladatban kinyert kulcsszavak értékét.

Tipp: A képeket egymás mellett is meg tudjuk jeleníteni. Ekkor a Frame - Tile gombot kell megnyomni, majd Frame - New és File - Open.

4. Redukálás

Mint láttuk, a nyers csillagászati felvételek nem alkalmasak tudományos mérések elvégzésére. Ehhez először az alapvető képredukciós lépéseket kell megtennünk, azaz a bias, dark és flat korrekciót. Nagyon fontos, hogy az eredeti fájlokat ne írjuk felül! Ehhez hozzuk létre az alábbi alkönyvtárakat a

munkakönyvtárunkban:

- master
- reduced

Tipp: használjuk az mkdir parancsot.

4.1. Master bias

Először a master, azaz átlagolt bias képet készítjük el. Ehhez a FITSH ficalib és ficombine taskjait fogjuk használni.

Először a szaturációra és a gain-re korrigáljuk a fájlokat. A FITSH taskjai sok esetben elfogadnak listákat, így mi is azt fogunk használni most, egy bash változó képében.

A fájlokat a fejlécek alapján fogjuk szétválogatni. Sajnos a gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy a fájlnevek nem mindig utalnak a mérés típusára. A mi esetünkben ez nem így van szerencsére, de mindenesetre most a biztosabb megoldást fogjuk használni.

Adjuk ki a következő parancsot ott, ahol a fájljaink vannak:

```
fiheader *.fits --get imagetyp | awk '$2=="bias"{print $1}'
```

Itt az awk-ot használtuk arra, hogy egy adott feltételre leszűrjük a fájlneveket. A | jel a pipe, ezzel tudjuk az egyik parancs kimenetét egy másik bemenetére irányítani. **Feladat:** Futassuk le a fenti parancsot a pipe és az awk nélkül. Látjuk, hogy a második oszlop az imagetyp kulcsszó értéke, míg az első a fájlnev. Az awk a \$1, \$2, stb. módon hivatkozik az oszlopok sorszáma. A számozás egytől indul. A \$0 a teljes sort kiírja.

Ez simán a konzolba írja ki a fájlokat, de nekünk most jobb lenne egy változóban eltárolni őket.

Bash változónak a következő módon adhatunk értéket:

```
biaslist=$(fiheader *.fits --get imagetyp |\nawk '$2=="bias"{print $1}')
```

Írassuk ki a változó értékét:

```
echo $biaslist
```

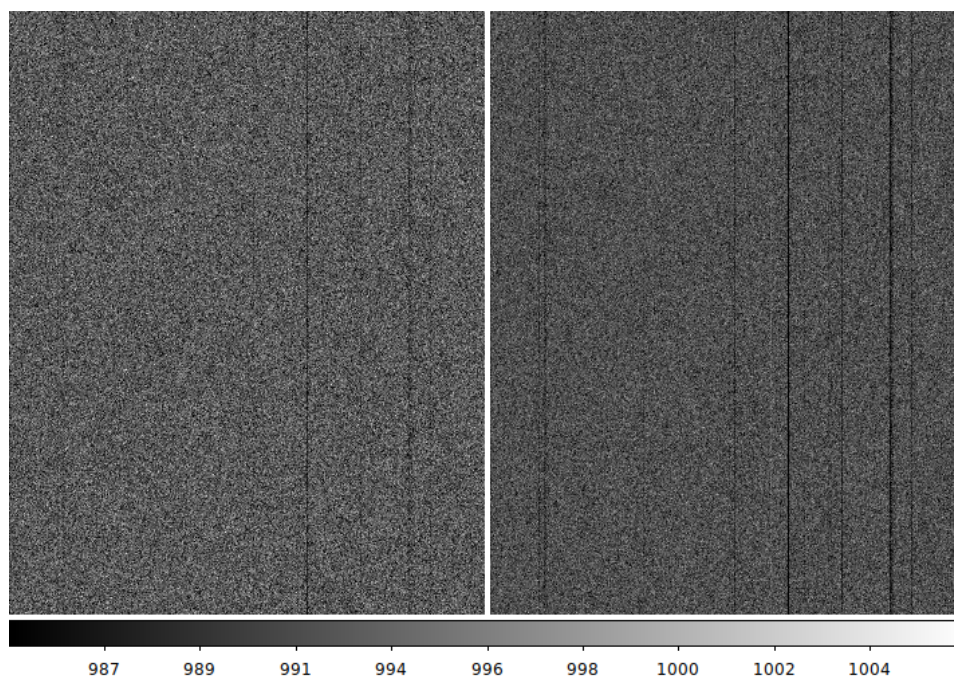
Látjuk, hogy a bias fájljaink nevei vannak benne. Ezzel már tudunk tovább dolgozni. Mivel nem akarjuk felülrni az eredeti fájljainkat, hozzunk létre az ideiglenes fájloknak is egy listát. Ezeket nyugodtan létrehozhatjuk a /tmp mappában, ahonnan később törlésre kerülnek majd. Egyesével macerás lenne ezt megcsinálni, ezért a bash-ben lévő for ciklust fogjuk használni:

```
for j in $biaslist;do echo "/tmp/r"$j;done
```

Feladat: Ez még csak kiírta az ideiglenes fájlok nevét. Az előző példa alapján rakjuk ezeket is egy bash változóba, aminek a neve legyen rbiaslist.

Ha ez kész, végezzük el a szaturáció és gain korrekciót:

```
ficalib -i $biaslist --saturation 46000 --gain 1.7 \n-o $rbiaslist
```



2. ábra. Nyers bias kép és a master bias összehasonlítása.

Itt a `ficalib` taskot használjuk, ami bemenetnek a nyers bias fájlt kapja meg, elvégzi a korrekciókat, majd kiírja a korrigált fájlokat.

Majd létrehozuk a master bias képet:

```
ficombine $rbiaslist --mode median -o master/BIAS.fits
```

Itt az előző lépésben korrigált fájlokból létrehozza az átlagolt master bias képet. Bias és dark képeknél a sima átlag is jó, de flatnél mindenképpen medián átlagot vegyünk.

Kitörölhetjük az ideiglenes fájlokat:

```
rm /tmp/r*.fits
```

Feladat: Nyissuk meg `ds9`-ben a master bias-t és egy másik frame-ben egy sima bias képet. Hasonlítsuk őket össze. Tapasztalatainkat írjuk le a jegyzőkönyvbe.

4.2. Master dark

A következő lépés a master dark(ok) elkészítése. Jelen esetben két expozíciós idejű darksorozatunk is van. Egy a flat képekhez, egy pedig az objektumképekhez. Mindkét expozíciós időhöz készítünk master darkot. Elméletileg erre nem feltétlenül van szükség, ugyanis ha a kamera hőmérséklete ugyanaz volt minden esetben, akkor másik expozíciós időhöz át tudunk skálázni dark képeket, ugyanis az idővel a sötétáram lineárisan nő adott hőmérsékleten.

Készítsük el a listákat. Ezt most két lépésben fogjuk megtenni.

Feladat: Először szedjük össze a dark méréseket az előző feladatban alkalmazott módon. A fájlok neveit tároljuk el egy bash változóban, aminek legyen a neve darklist.

Szedjük össze az egyedi expozíciós időket:

```
darkexps=$(fiheader $darklist --get exptime \
--format value | sort -u)
```

Megjegyzés: A fenti parancsban a sort linux parancsot használtuk, ami sorba rendezi a bemenetére érkező értékeket. A -u kapcsolóval pedig azt mondtuk meg neki, hogy a végén csak ez egyedi (unique) értékeket írja ki.

Feladat: Hozzuk létre a az összes dark fájl nevét tartalmazó bash változót az előző feladatok alapján. Legyen a neve darklist.

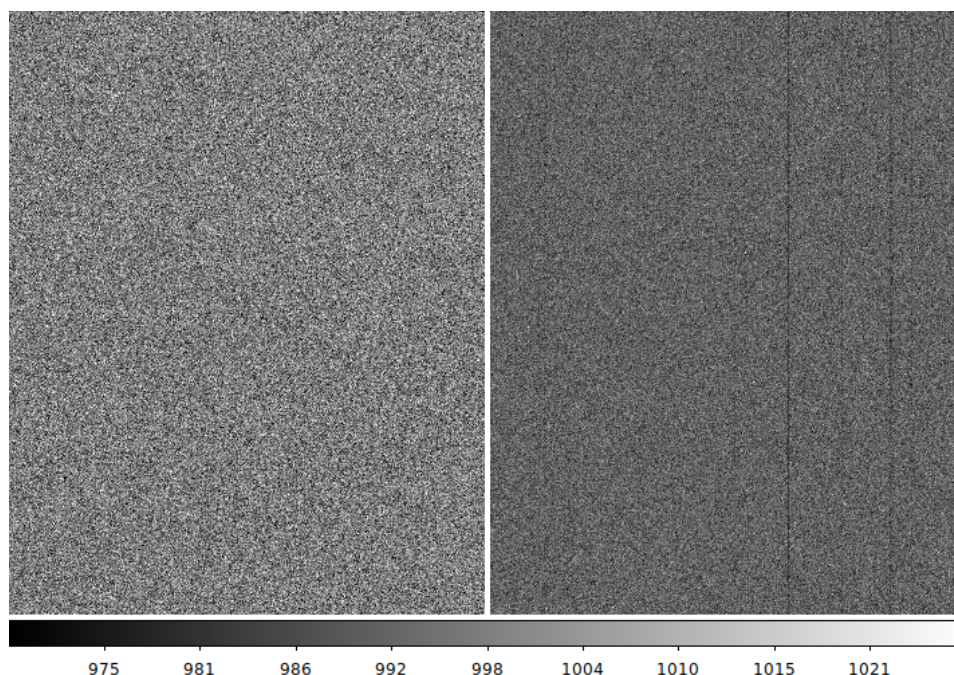
A megfelelő dark fájlok előállításához végigiteráljuk a darkexps változóban lévő expozíciós időket:

```
for de in $darkexps;do
  echo "Master dark készítése "$de"s expozíciós idővel."
  mdname="mdark${de}.fits"
  dlist=$(fiheader *.fits --get imagetyp,exptime \
    --format filename,list | \
    awk -v exptime="$de" '($2=="dark")&&($3==exptime){print $1}')
  rdarklist=`for j in $dlist;do echo "/tmp/r"$j;done`
  ficalib -i $dlist --input-master-bias master/BIAS.fits \
    --saturation 46000 --gain 1.7 -o $rdarklist
  ficombine $rdarklist --mode median -o master/$mdname
  rm /tmp/r*.fits
done
```

Mi történik a fenti ciklusban? Először is, a de változó minden ciklusban felveszi a következő értéket a darkexps változónkból. Majd kiíratjuk az echo parancs segítségével, hogy melyik expozíciós idejű master darkot készítjük el. Ezek után létrehozuk az adott exp. időhöz tartozó listát. Próbáljuk meg a 4. sorban lévő parancsot értékadás nélkül kiadni. Próbáljuk ki az awk parancsba irányítás nélkül is. Mit ír ki így a konzolba a parancs?

Nézzük meg az awk parancsot is. Itt két újdonsággal találkozunk. Egyrészt, egy külső, azaz bash változót hozzárendelünk egy awk belső változóhoz, a -v kapcsolóval. Ezek után egy többszörös feltétel jön, amit a &&-sel adunk meg. Itt azt mondjuk az awk-nak, hogy a bemenetére érkező inputból csak azokat a sorokat írja ki, amiknél a második oszlop értéke dark, a harmadiké pedig a külső változóból definiált exp. idő értékével egyezik meg. Ezek után a már ismert ficalib és ficombine taskokat használjuk. Itt a dark fájljainkat bias korrigáljuk az összeátlagolás előtt. Erre a mi esetünkben nem feltétlenül lenne szükség, ugyanis a nyers dark tartalmazza a bias-t is. Így, ha minden expozíciós időhöz van darkunk, akkor elég lenne csak ezeket összekombinálni, bias levonás és a master bias elkészítése nélkül. Viszont, ha nincs minden exp. időhöz darkunk, akkor ezeket skálázni kell az idővel és ezt nem tudnánk megtenni abban az esetben ha a darkokból előbb nem vonjuk le a bias értéket, ami viszont nem időfüggő. Jelen esetben a gyakorlat kedvéért készítjük el a master bias és master dark képeket ezen a módon.

Feladat: Jelenítsük meg az egyik master darkot a ds9-ben, majd hasonlítsuk össze egy nyers dark képpel. Mit tapasztalunk? Írjuk le a tapasztalatainkat a jegyzőkönyvbe.



3. ábra. A master dark és egy nyers dark kép összehasonlítása.

4.3. Master flat

A következő lépés a master flat elkészítése. A flat fájlokat szaturáció, gain, bias és dark korrigáljuk átlagolás előtt.

Feladat: Az előző pontok és az eddigi tudásunk alapján készítsük el a master flat fájlt. Normál esetben minden méréshez használt szűrőhöz külön master flat-et kell készíteni. Jelen esetben csak R szűrős képek állnak a rendelkezésünkre, így elég ehhez elkészíteni a megfelelő fájlt.

Segítség: Figyeljünk arra, hogy a megfelelő expozíciós idejű dark fájlt használjuk a korrekcióhoz! Ennek a dark korrekciónak a kapcsolója az `--input-master-dark`.

Szükség lesz még a `--post-scale 20000` extra kapcsolóra a `ficalib` parancsban. Ezzel azonos szintre normáljuk az összes flat képünket. Erre főleg sky fletek esetén van szükség, ahol az egyes flat képek intenzitása jelentősen eltérhet, és ha nem skálázzuk össze a felvételeket, akkor az esetlegesen látszó csillagokat vagy csillag csíkokat nem szedi ki jól a medián átlag.

Ha elkészültek a szaturáció, gain, bias és dark korrigált flat képeink, akkor a következő paranccsal hozzuk létre a végső fájlt:

```
ficombine $rflatlist --mode median -o master/flatR.fits
```

Feladat: Nyissuk meg a master flat fájlunkat a `ds9`-ben. Hasonlítsuk össze egy nyers flat fájlal. Írjuk le a tapasztalatainkat a jegyzőkönyvbe.

4.4. Az objektumképek feldolgozása

Amikor kész vagyunk az összes szükséges kalibrációs kép létrehozásával, akkor korrigálhatjuk az objektum képeinket is. A sztenderd lépéseken kívül még le fogjuk vágni a képek szélét (trimmelés), ugyanis nincs szükségünk jelen esetben ekkora látómezőre és így helyet és számolási kapacitást spórolhatunk a későbbiekben.

Feladat: Hozzuk létre az objektumfájlok nevét tartalmazó bash változót. Figyeljünk rá, hogy a fájlok a korábban létrehozott reduced mappába kerüljenek.

A kalibrációt a következő paranccsal tudjuk végrehajtani:

```
for FILE in $objectlist;do
  echo $FILE "feldolgozása."
  ficalib -i $FILE --input-master-bias master/BIAS.fits \
    --input-master-dark master/mdark30.fits \
    --input-master-flat master/flatR.fits \
    --saturation 46000 --gain 1.7 -o /tmp/$FILE
  ficalib -i /tmp/$FILE --image 1400:1400:2650:2650 \
    --trim -o reduced/$FILE
  rm /tmp/$FILE
done
```

Mi történik? A ficalib elvégzi a bias, dark, flat és a szaturáció, valamint a gain korrekciót. Ennek kimenetét egy ideiglenes fájlba mentjük, majd egy újabb ficalib parancs elvégzi a szükséges trimmelést. Itt az --image kapcsolóval a megmaradó rész pixelkoordinátáit adjuk meg x1:x2:y1:y2 formában, a --trim pedig levágja az ezen kívül eső részeket.

Feladat: Mikor lefutott az összes objektumképre a redukálás, nyissunk meg egyet és hasonlítsuk össze ez nyers objektumképpel. Írjuk le a tapasztalatainkat és készítsünk ábrát a jegyzőkönyvbe.

5. Az objektumképek regisztrációja

Feladat: Nyissuk meg az első és az utolsó kiredukált képet egy-egy külön frame-ben a ds9 segítségével. Blinkeljük össze őket (TAB billentyű). Mit tapasztalunk? Írjuk le a jegyzőkönyvbe.

A labor végső célja, hogy a felvételeken látható pulzáló változó fénygörbáját elkészítsük. Ehhez meg kell mérnünk a csillag fényességét és más, úgynevezett összehasonlító csillagok fényességét. A helyzetünket nehezíti, hogy jelen esetben ezek a csillagok minden egyes képen más x,y pixelkoordinátákon helyezkednek el.

Ahhoz, hogy ezt kiküszöböljük, most egy referencia képhez képest össze fogjuk tolni a képeket, hogy mindegyik képen (hibán belül) ugyan ott legyenek a csillagaink. Ehhez a továbbiakban bash szkripteket fogunk használni, amiket a FITSH oldalán található példák közül fogunk kölcsönvenni.

5.1. Csillagkeresés

Ahhoz, hogy össze tudjuk tolni a képeket, először meg kell találnunk a képeken a csillagokat. Ezt a fistar task segítségével fogjuk megtenni.

Látogassunk el a következő oldalra: https://fitsh.net/wiki/Example:A_composite_image_of_the_M74_galaxy

A kedvenc text editorunkkal (nano, pico, vi, gedit, pluma, etc.) hozzunk létre egy üres fájlt **stars.sh** néven a munkakönyvtárunkban, majd másoljuk bele az első kódot a Registration részből.

Írjuk bele a következőket:

```
mkdir -p astrom
cd reduced
ls *.fits | sed s/.fits//g > ../base.list
cd ..
```

Itt egy újabb linuxos paranccsal ismerkedünk meg, a sed-del. Ez egy nagyon sokrétű program, mi most az egyik alapfunkcióját fogjuk felhasználni, azaz a bemenő sorokban egy adott string-et kicserélünk egy másikra. Jelen esetben a .fits végződést cseréljük ki a semmire, mivel a szkript kiterjesztés nélkül várja tőlünk a bemeneteti neveket.

Írjuk át a következőket:

```
FITS=./reduced
SHF=1
--flux-threshold 10000
```

Mit tesz ez a fájl? Létrehoz egy új könyvtárat, astrom néven, majd létrehozza a bemeneti listafájlt. Ezek után ez a bemenet egy while ciklusba kerül be, ami minden egyes elemen végigmegy. A cikluson belül a fistar megekeresi nekünk a bemeneti képen a csillagokat, majd ez kiírásra kerül egy megfelelően formázott fájlba az astrom mappában. A --flux-threshold kapcsolóval azt tudjuk állítani, hogy milyen halvány forrásokat keressen a program. Minél kisebbre állítjuk, annál halványabb csillagokat talál meg. A jelenlegi 10000-es értékkel kb. 100 csillagot fog megtalálni minden képen.

Mentsük el a fájlt, majd tegyük futtathatóvá. Futassuk le:

```
./stars.sh
```

Feladat: Amint lefutott a szkript, nyissuk meg az első fits fájlt a reduced mappából, majd az astrom mappába lépve nézzük meg a **XX\Cyg-20181012_0001_R.stars** fájl tartalmát. Ebben a fájlban láthatjuk a megtalált csillagok azonosítóját (első oszlop), az x,y pixelkoordinátáit (második és harmadik oszlop), valamint egyéb paramétereket.

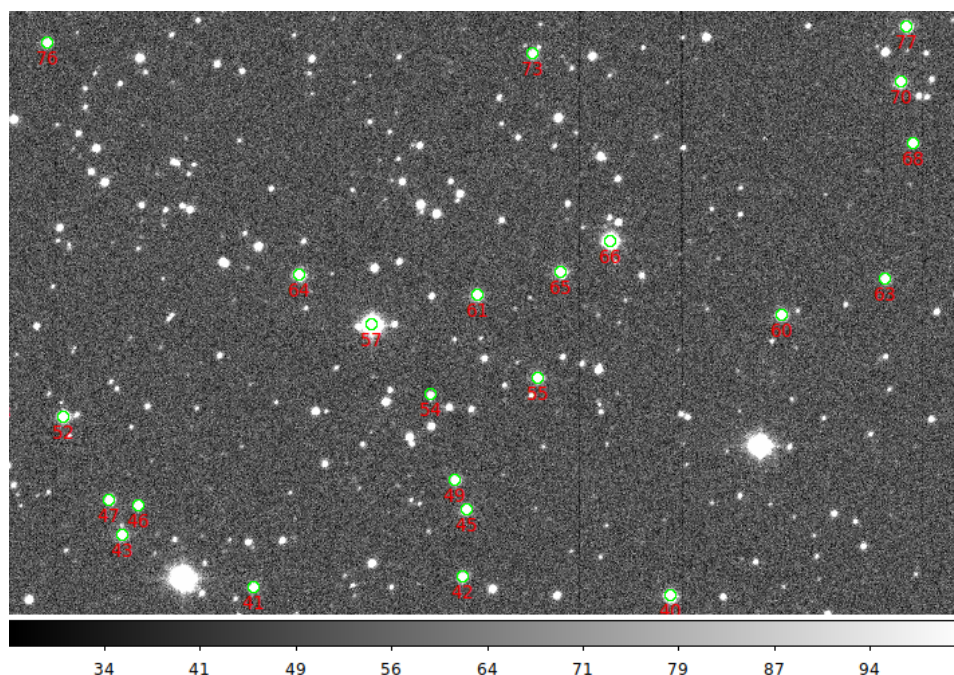
A megtalált csillagokat a **tvmark** szkript segítségével plottoljuk fel:

```
tvmark -x 2,3 -l 1 XX_Cyg-20181012_0001_R.stars
```

A **-x** kapcsolóval azt mondjuk meg, hogy a bemenő adatfájlban melyik két oszlop az x,y koordináta, a **-l** kapcsolóval pedig, hogy melyik oszlop tartalmazza a csillagok neveit.

Ellenőrizzük szemmel, hogy jó helyen vannak-e a felrajzolt körök és hogy nagyságrendileg tényleg megtalált-e kb. 100 csillagot a képen a fistar.

Opcionális feladat: Játsszunk kicsit a treshold értékével! Próbáljuk ki kisebb, illetve nagyobb számokkal. Plottoljuk fel a megtalált csillagokat. Mik a tapasztalatok? Tipp: a **tvmark -d** parancs letörli a jelöléseket.



4. ábra. A megtalált csillagok.

5.2. Képtranszformációk kiszámítása

A képek összetolásához ki kell számolnunk a megfelelő transzformációs paramétereket. Ezeket a megtalált csillagok pozícióinak segítségével fogjuk megtenni. A következő szkript, amit használni fogunk, minden képre kiszámolja ezt nekünk, egy referencia képhez képest, ami most az első kép lesz.

Hozzunk létre egy új szöveges fájlt `match.sh` néven, másoljuk bele a következő kódrészletet a FITSH oldaláról.

Írjuk át a referencia fájl nevét. Vigyázzunk, hogy itt sem kell kiterjesztés! Tegyük futtathatóvá a fájlt és futassuk is le.

5.3. A képek összetolása

Hozzunk létre egy új szöveges fájlt `reg.sh` néven. Másoljuk bele a következő kódrészletet.

Írjuk bele a következő sort:

```
mkdir -p reg
```

És módosítsuk a következőt:

```
FITS=./reduced
```

Tegyük futtathatóvá a fájlt és futassuk le.

Feladat: Nyissuk meg pár összetolt képet a `ds9`-ben, különböző framekben. Hasonlítsuk őket össze. Sikerült az összetolás? Zoomoljunk ki (Zoom to fit) és blinkeljük úgy is össze. Mit látunk? Írjuk bele

tapasztalatainkat a jegyzőkönyvbe. Készítsünk képeket a jegyzőkönyvbe az összetolt képek összehasonlításáról.

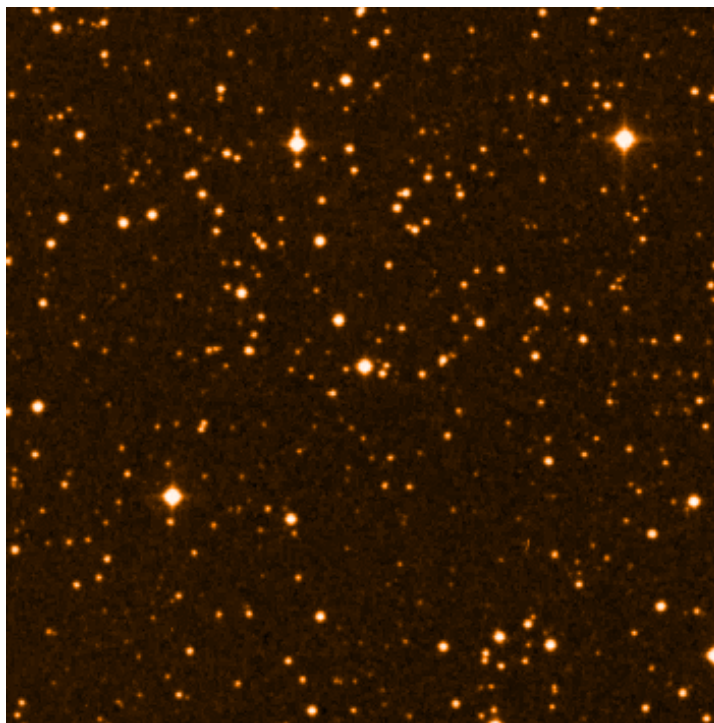
6. Fotometria

A végső lépés következik, azaz a fényességmérés és a fénygörbe előállítása. Ehhez meg kell mérnünk a változó fényességét minden képen, valamint jó pár összehasonlító csillagét is. Ezen csillagokról feltételezzük, hogy az ő fényességük nem változott a mérés ideje alatt.

6.1. Az XX Cyg azonosítása

Eddig nem foglalkoztunk azzal a kérdéssel, hogy hol van pontosan a változónk a felvételeken. Jóhiszeműen feltételeztük, hogy a felvételek jók és a csillag valahol a képek közepe felé található. Ahhoz, hogy meg tudjuk mérni a célpont fényességét egyértelműen azonosítanunk kell.

Keressük fel a következő oldalt: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/> A "Queries" ablakban kattintsunk a "Basic search"-re. Írjuk be: XX Cyg



5. ábra. Az ESO DSS-ben az XX Cyg környezete.

Ha entert nyomunk, a Simbad adatbázisban a keresett csillag oldalára jutunk. Itt számtalan információt találunk, többek között az égi koordinátáit, a körülbelüli fényességét különböző szűrőkben és az egyéb azonosítóit.

Mivel a mi képeink nincsenek betranszformálva csillagászati koordináta rendszerbe (WCS, azaz World Coordinate System), kénytelenek leszünk szemmel megkeresni. Az első lehetőség, hogy az oldal jobb oldalán az "Interactive AladinLite view" ablakban megnézzük, hogy hogyan néz ki a célpont környezete, majd a ds9-ben megnyitva egy képet megpróbáljuk megtalálni. Az AladinLite ablakocskában a görgővel lehet ki-be zoomolni. Tipp: Technikai okokból a Schmidt kamerája, amivel ezek a felvételek készültek, nem irányhelyesen mutatja az eget. Hogy úgy lássuk, menjünk a ds9-ben a Zoom menübe, majd kattintsuk be az *Invert XY* részt és a *90 degrees* részt. Így már irányhelyesen fogjuk látni a felvételt.

Másik lehetőség, hogy elmegyünk a <https://archive.eso.org/dss/dss> oldalra. Kimásoljuk a Simbad olalról a csillag ICRS koordinátáit, majd az első három számot (hh mm ss) bemásoljuk a R.A. boxba, a második hármát pedig a Dec. boxba. Az Image Size sorba beírunk 10-10-et, alul a legördülő menüben pedig beállítjuk, hogy Display as GIF file.

Ha megvan a csillag, akkor tvmark-kal plottoljuk fel az első képünkön megtalált csillagokat és jegyezzük fel a célpont sorszámát.

Ezek után válasszunk még 6 összehasonlító csillagot. A jó összehasonlító:

- Nincs túl távol a célponttól.
- Nem szaturált.
- Magányos, azaz a közvetlen közelében nincsenek más csillagok.
- A fényessége nagyságrendileg hasonló, mint a változóé.

Jegyezzük fel a hat összehasonlító sorszámát.

Ezek után hozzunk létre egy fájlt a kiválasztott csillagok neveivel és pixelkoordinátaival. A koordinátákat az első képhez tartozó .stars fájlból vegyük. Formátum:

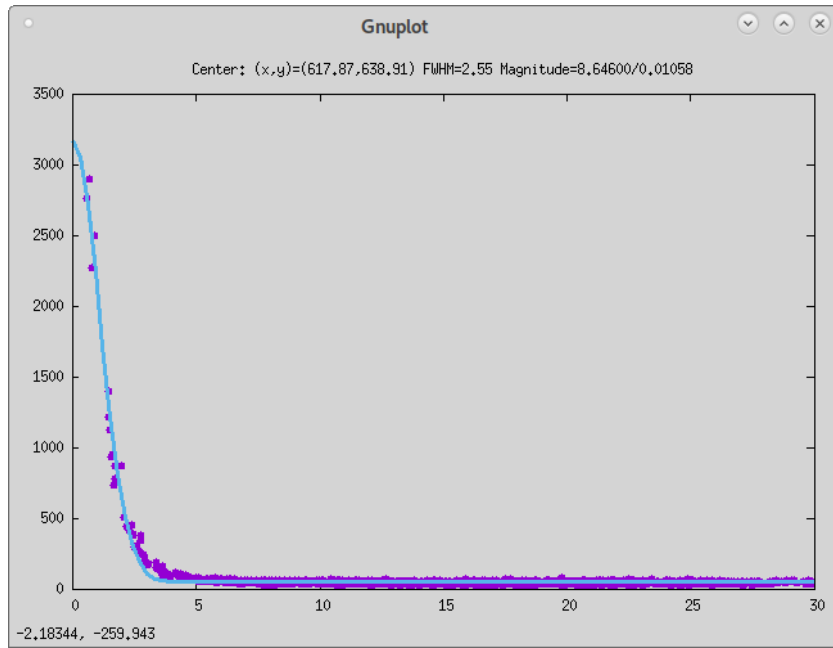
```
XX_Cyg px0 py0
Comp1 px1 py1
Comp2 px2 py2
Comp3 px3 py3
Comp4 px4 py4
Comp5 px5 py5
Comp6 px6 py6
```

Mentsük el a fájlt `phot.list` néven. Plottoljuk fel a kiválasztott csillagokat és készítsünk egy képet a jegyzőkönyvbe. A `phot.list` tartalmát táblázatként szintén rakjuk bele a jegyzőkönyvbe.

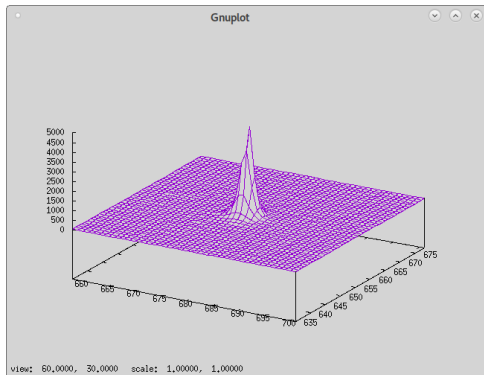
6.2. Apertúra fotometria

Az apertúra fotometria lényege, hogy lerakunk a képre egy a csillagra centrált apertúrát (kört) és azon belül megmérjük a fluxust. Ezután lerakunk a csillag köré egy gyűrűt, amiben megmérjük az égi háttérrel és ezt levonjuk a csillagon mért fluxusból, a csillag területére arányosítva. Ez a módszer jól működik nem túl zsúfolt csillagmezőkön, illetve akkor is, ha valamiért a csillagok profilja nem tökéletes, vagy a távcső defókuszált.

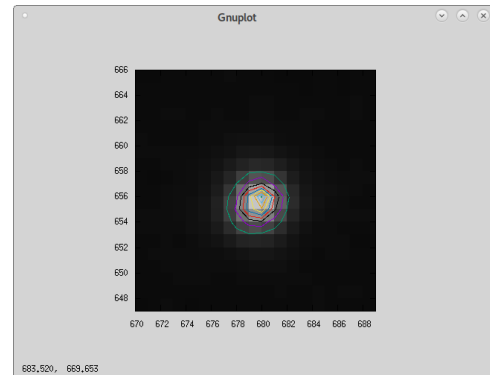
Hátránya, hogy sűrű területeken az egymásba lógó és sűrűn elhelyezkedő csillagok miatt nem ad jó eredményt. Ebben az esetben PSF fotometriát kell alkalmazni, ami a csillagprofilokat illeszti meg és az



6. ábra. Radiális profil imexam-mal.



7. ábra. Felületi plot.



8. ábra. Kontúr plot

alapján számol fluxust. Mi ez utóbbi módszert relatíve bonyolult természete miatt nem fogjuk használni, valamint azért sem, mert a mi esetünkben a csillagaink kellően távol helyezkednek el egymástól.

A megfelelő aptúra és égi gyűrű kiválasztása soha sem egyszerű feladat. Támpont lehet a csillagprofilok félértékszélessége (FWHM). Csillagaink egy Moffat függvénnyel (vagy egy Gauss-os alakkal) jól közelíthető profillal rendelkeznek. Vizsgáljuk meg őket közelebbről!

Feladat: Nyissunk meg egy összetett képet ds9-ben. Indítsuk el az imexam taskot. Ha a ds9-re visszük a kurzort láthatjuk, hogy megváltozott. Keressünk egy kellően fényes csillagot, vigyük a közepére a kurzort, majd nyomjuk meg az *r* gombot. Ekkor a csillagprofil radiális plotját láthatjuk. Az *s* betűt

lenyomva egy felületi plotot látunk, az *e* betűvel pedig egy kontúr plotot láthatunk.

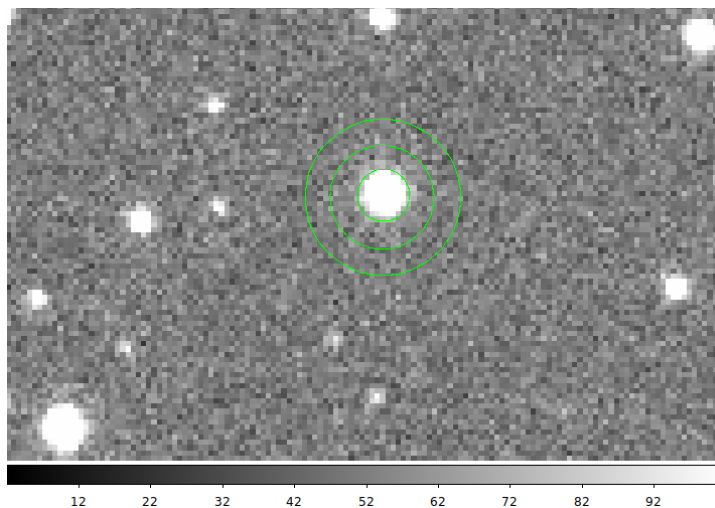
A radiális plot esetén felül látunk egy becsült félértékszélesség értéket. Ezt mérjük meg 10 csillagra, majd átlagoljuk és jegyezzük fel ezt a számot. Vigyázzunk, hogy a csillagok ne legyenek szaturáltak és hogy magányosak legyenek.

Hogy ki tudjuk választani a megfelelő apertúrát, több különböző értékre is lefuttatjuk a fotometriát. Szerencsére a FITSH fiphot csomagja ezt kényelmes módon támogatja.

Hozzunk létre egy új fált `phot.sh` néven és másoljuk bele a következőt:

```
mkdir -p phot
FITS=./reg
PHOT=./phot

cat base.list | \
  while read base dummy ; do
    fiphot $FITS/$base.fits --input-list phot.list --col-id 1 --col-xy 2,3 \
      --apertures ... \
      --sky-fit median \
      --format IXY,MmFfBbs \
      --comment --output $PHOT/$base.phot
  done
```



9. ábra. Példa apertúra és égi gyűrű egy csillag körül.

Ahol az `apertures ...` részt helyettesítsük a következő módon: A kiszámolt átlagos félértékszélességet kerekítsük fel egészre, majd egyesével növeljük az értékét öt lépésen keresztül. Így lesz 6 számunk, ami az apertúra sugarát adja meg. Ezek után nézzük meg a legnagyobb számot és az égi gyűrű belső sugarának válasszunk egy ennél pár pixellel nagyobb számot. A külső sugárnak pedig egy ennél kb. nyolccal nagyobb számot.

Azaz, ha pl. az átlag félértékszélességünk 3.78, akkor az első szám 4, majd 5, 6, 7, 8, 9, az apertúra belső sugara 12, a külső pedig 20. Ezeket a következő formában kell a fiphot-nak megadni a `--apertures`

kapcsoló után: 4:12:20,5:12:20,6:12:20,7:12:20,8:12:20,9:12:20 Figyelem, az itt bemutatott értékek nem biztos, hogy a jó apertúra értékek!

Figyeljük meg, hogy az égi gyűrű mérete mindegyik apertúrához ugyanakkora!

Futassuk le a `phot.sh`-t és nézzük meg a keletkezett fájlokat a `phot` mappában. Milyen a fájlok szerkezete? Tipp: nézzük meg a szkriptben a `fiphot` parancs `--format` kapcsolója után megadott formátumot.

Extra opcionális feladat: Ha nagyon pontos fotometriát akarunk, akkor az összetolt képeken érdemes újracentrálni (azaz megkeresni a közepét) a fotometrálandó csillagainknak, ugyanis a képek regisztrációja nem 100%-ig pontos, tehát a gyakorlatban egy nagyon picit minden csillag máshol van, mint a referencia képen. A mi esetünkben ez most nem gond, de általában érdemes ezt megtenni. Ha valaki érez magában erőt, akkor írjon egy szkriptet, ami minden összetolt képen újracentrálja a mérendő csillagokat és ezeket a centrált pixel kooordinátákat használja majd fel az aktuális fotometriához. Ha valaki így tesz, akkor ehhez a fenti szkriptet is módosítania kell.

Feladat: Ellenőrizzük le az apertúrákat. Az első fájlhoz tartozó `phot` fájlból szedjük ki a célpont-hoz tartozó magnitúdó értékeket. Írjuk bele egy fájlba úgy, hogy az első oszlopba az adott apertúra sugarának az értéke kerüljön, a másodikba pedig a fényesség magnitúdóban.

Mentsük el a fájl `cog.dat` néven, majd indítsunk egy `gnuplot`-ot. Az úgynevezett növekedési görbét fogjuk elkészíteni, ami azt mutatja meg, hogy az apertúra változásával hogyan változik egy adott forrás fényessége.

A `gnuplot`-ban adjuk ki a következő parancsokat:

```
set yrange [] rev
unset key
plot 'cog.dat'
```

Vizsgáljuk meg az elkészült ábrát. Mit látunk? Miért kellett megfordítani az y tengelyt? Milyen következtetést tudunk levonni az apertúrák nagyságáról a fotometria szempontjából? Az ábrát rakjuk be a jegyzőkönyvbe és írjuk le a tapasztalatainkat is.

Ha kell, akkor írjuk át az apertúrák méretét és futassuk le újra a `phot.sh`-t. Készítsük el újra a növekedési görbét.

Válasszuk ki azt az apertúrát, amivel a továbbiakban dolgozni akarunk. Hogy haladni tudjunk, ki kell szednünk a kiválasztott apertúrákhoz tartozó magnitúdó értékeket a fotometriai adatfájlokból. Kicsit előre kell most gondolkodnunk. A végső fénygörbe plot úgy fog előállni, hogy az idő függvényében ábrázoljuk a célpont fényességének változását egy összehasonlítható fényességéhez képest. Ezt az ábrát majd a `gnuplot`-tal fogjuk létrehozni. A `gnuplot`-nak jól struktúrált bemenetre van szüksége, ahol az egyes pontokat az egyes sorok alapján fogja ábrázolni.

Ezért a következő adatszerkezetre van szükségünk a végső adatfájlban:

```
idő változó_mag változó_mag_err comp1_mag comp1_err comp2_mag comp2_err ....
```

Ahol a magnitúdóban lévő fényességek az általunk kiválasztott apertúrával mért fényességek lesznek. Az időt a `fits` fájlok fejlécéből tudjuk kinyerni. Az egyszerű plottolhatóság kedvéért Julián dátumban. A Julián dátum a Kr. e. 4713. január elseje, UTC 12 óra óta eltelt napok száma. Ez szerencsére benne van a fejlécekben a `JD` kulcsszóban.

Feladat: Próbáljuk meg magunktól létrehozni a végső adatfájlt a fent látott formátumban.

6.3. Differenciális fotometria

A következőkben a csillagunk fénygörbéjét fogjuk előállítani. Hogy kinek melyik összehasonlító lesz jó a végén, az nagyjában függ az egyénileg kiválasztott csillagoktól.

Feladat: Először plottoljuk fel a változó fényességét az első összehasonlítóhoz képest a gnuplotban.

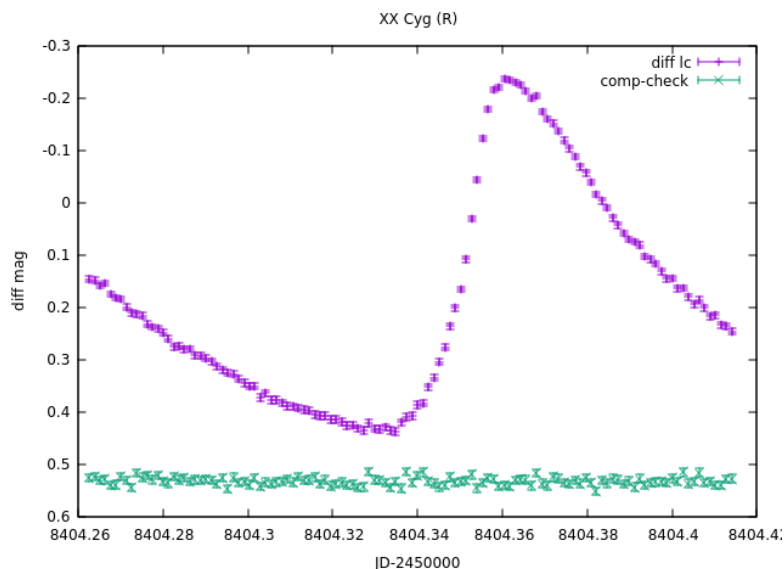
```
set yrange [] rev
plot 'XX_Cyg.data' u ($1-2450000):($2-$4)
```

A Julián dátumból a kényelmesebb leolvashatóság kedvéért vontuk le a 2450000-t.

Mit látunk? Próbáljuk meg a többi összehasonlítóval is ábrázolni a differenciális fénygörbét.

Ha megvan a szerintünk legjobbnak gondolt összehasonlító, akkor el kell végeznünk egy tesztet, hogy a csillag nem változó-e. Mivel csak szemre választottunk csillagokat és nem ellenőriztük csillagkatalógusból a forrásokat, ezért ebben nem lehetünk biztosak.

Feladat: Plottoljuk fel a kedvenc összehasonlítóunkat a többi összehasonlítóhoz képest. Mit látunk? Változik-e az összehasonlító? Ha igen, akkor keressünk egy olyat, amelyik nem. Ezt is ellenőrizzük le több másik összehasonlítóval.



10. ábra. Az XX Cyg fénygörbéje és a comp-check.

Ha megvan a legjobb összehasonlító, ami nem változó, akkor készítsük el a végső plotot. Adjunk címet az ábrának, feliratozzuk a tengelyeket, a jelmagyarázatba írjunk értelmes szöveget és a változónk fénygörbéje alá plottoljuk fel az úgynevezett comp-check-et is, azaz a használt összehasonlító fényessége mínusz egy másik összehasonlító. Plottoljuk fel a hibákat is! Az ábrát rakjuk bele a jegyzőkönyvbe. Segítség: <http://lowrank.net/gnuplot/plot2-e.html>

Becsüljük meg a csillag peak-to-peak amplitúdóját. Becsüljük hibát is. Írjuk bele a jegyzőkönyvbe az eredményt.

7. Jegyzőkönyv

A jegyzőkönyvet a labor alatt elvégzett munkáról kell megírni, pár oldal terjedelemben. Mindenkitől külön jegyzőkönyvet várunk. A jegyzőkönyv várt formátuma pdf. A végső jegyzőkönyvet a labor után maximum 1-2 héttel kell elküldeni a laborvezetőnek értékelésre.