

Csillagászati Laboratórium II.

5. óra: Csillagászati adatbázisok, a WCS

A XX. század elején a nagyobb távcsövek segítségével megindultak az egész-égboltfelmérő programok. Az első ilyen felmérés a Palomar Observatories Sky Survey (POSS) volt. Ezek még üveglemezre készültek. A felvételek papírképek formájában mai napig sok obszervatóriumban megtalálhatóak (pl. a piszkéstetői obszervatóriumban). Ennek a digitalizált formája a DSS, azaz a Digital Sky Survey.

Azóta űrtávcsövek segítségével és egyéb földi távcsövekkel is készültek felvételek égboltfelmérés céljából. Mindegyik felmérésnek más a célja, például pontos asztrometria a HIPPARCOS segítségével, vagy például különböző hullámhosszakon felmérni az égboltot. Az utóbbi évek legismertebb égboltfelmérései a 2MASS (2 Micron All Sky Survey) és az SDSS (Sloan Digital Sky Survey) volt. Természetesen készülnek az újabb és egyre pontosabb és mélyebb égboltfelmérések azóta is. A 2MASS katalógust az elkövetkezendő években fogja váltani a UKIDSS égboltfelmérés mélyebb és precízebb fotometriai adatai.

A katalógusokban található koordináták az úgynevezett WCS (World Coordinate System) rendszerben vannak. Hogy mérési eredményeinket a létező katalógusokkal össze tudjuk hasonlítani, ahhoz a képeinknek ugyanebben a rendszerben kell lenniük. A nagyobb obszervatóriumok számítógépes rendszere a távcsövek pontos irányítását kihasználva a képek fejlécébe automatikusan beírja a szükséges WCS paramétereket. Esetünkben, mivel kisebb távcsőről és régebbi rendszerről van szó, ez nem teljesül.

A képek WCS rendszerbe való transzformálásához a képeken megtalált csillagok pixelkoordinátáit és egy kiindulási koordinátaértéket használunk majd fel. Ehhez viszont előbb meg kell keresnünk az összes csillagot a képeken. Később majd ugyanezeket a csillagkoordinátákat használjuk fel a fotometriához is.

1. Csillagkereső programok

Két programot fogunk kipróbálni az órán. A programokat különböző paraméterezéssel fogjuk majd futtatni egy darab képen, s megnézzük, hogy melyik program, milyen paraméterezéssel adja a legjobb eredményt. Az eredmények jóságát vizuálisan ellenőrizzük, úgy, hogy a képre kipontozzuk, hogy melyik csillagot találta meg. A legjobb eredményt adó eljárást lefuttatjuk a többi képre is.

1.1. A daofind *TASK*

A daofind az *IRAF* egyik *TASK*-ja, mely a `noao.digiphot.daophot` csomagon belül található. Indítsuk el az *IRAF*-ot és lépünk bele a megfelelő könyvtárba. Ne felejtsük, hogy az *IRAF*-ot `xgterm` terminálból, és abból a mappából indítjuk el, ahol a `login.c1` fájlunk található.

```
cl> noao
no> digiphot
di> daophot
da>
```

A daophot-on belül nagyon sok *TASK* található. Ezeket a 80-as évek elején kezdték el fejleszteni, amikor még ilyen műveleteket csak egy-két szuper számítógépen lehetett csak végezni. Olvassuk el a daofind help-jét. A help után nézzük meg a paraméterfájlját:

```
PACKAGE = daophot
TASK = daofind
```

```
image = Input image(s)
output = default Output coordinate file(s) (default: .coo.?)
(starmap= ) Output density enhancement image(s)
(skymap = ) Output sky image(s)
(datapar= ) Data dependent parameters
(findpar= ) Object detection parameters
(boundar= nearest) Boundary extension
(constan= 0.) Constant for boundary extension
(interac= no) Interactive mode ?
(icomman= ) Image cursor: [x y wcs] key [cmd]
(gcomman= ) Graphics cursor: [x y wcs] key [cmd]
(wcsout = )_wcsout) The output coordinate system
(cache = )_cache) Cache the image pixels ?
(verify = )_verify) Verify critical daofind parameters ?
(update = )_update) Update critical daofind parameters ?
(verbose= )_verbose) Print daofind messages ?
(graphic= )_graphics) Graphics device
(display= )_display) Display device
(mode = ql)
```

A legfontosabb beállítások a datapars-on belül találhatóak. A beállításokat két féle módon érhetjük el. A kurzort ha rávisszük a datapar-ra és nyomunk egy „:e”-t, vagy ha a promptba beírjuk, hogy

```
cl> epar datapars
```

akkor a következő paraméterlistát láthatjuk:

```
PACKAGE = daophot
TASK = datapars

(scale = 1.) Image scale in units per pixel
(fwhmpsf= 2.5) FWHM of the PSF in scale units
(emissio= yes) Features are positive ?
(sigma = 0.) Standard deviation of background in counts
(datamin= INDEF) Minimum good data value
(datamax= INDEF) Maximum good data value
(noise = poisson) Noise model
(ccdread= ) CCD readout noise image header keyword
(gain = ) CCD gain image header keyword
(readnoi= 0.) CCD readout noise in electrons
(epadu = 1.) Gain in electrons per count
(exposur= ) Exposure time image header keyword
(airmass= ) Airmass image header keyword
(filter = ) Filter image header keyword
(obstime= ) Time of observation image header keyword
(itime = 1.) Exposure time
(xairmas= INDEF) Airmass
(ifilter= INDEF) Filter
(otime = INDEF) Time of observation
(mode = ql)
```

Ez a legfontosabb paraméterfájl. A pontos beállítása nagyon fontos. Mivel ennyire fontos, ezért nézzük végig az egyes paramétereket.

- A scale-lel a pixelek skálaértékét adja meg. Ezt célszerű 1-en hagyni, ugyanis ekkor 1 pixel a skálaérték.

- Az `fwhmpsf` a csillagok félérték-szélessége. Ezt skálaegységekben kell megadni, azaz pixelekben esetünkben.
- Az `emission-t` „yes”-re állítva azt állítjuk, hogy a mérendő objektumok „emissziós” jellegűek, azaz a háttér értékénél magasabb az intenzitásuk. Ezt hagyjuk „yes”-en.
- A `sigma` a háttér szórásának az értékét adja meg.
- A `datamin`-nel szabályozhatjuk, hogy mekkora háttér értékeket vegyenek még bele a számolásokba az egyes algoritmusok. Ezt általában 5-7 σ -val a háttér értéke alá érdemes állítani.
- A `a` a `datamax` a `datamin` ellentettje. Megadja, hogy még mekkora pixelértékeket használhatnak az algoritmusok. Ezt a kamera linearitási határához vagy telítődési értékéhez kell állítani.
- A `noise` a háttérzaj modellezéséhez használandó függvény. Ezt hagyjuk az alapértelmezett „poisson” értéken.
- A `ccdread` a kiolvasási zajnak a fejlécbeli azonosítónevére kérdez rá. Ez nem mindig van benne a fejlécben.
- A `gain` a `gain`-nek azaz az erősítésnek a fejlécbeli azonosítónevére kérdez rá.
- `readnoi`: Ha nincs benne a fejlécben a kiolvasási zaj, akkor a konkrét értéket ide írhatjuk be.
- `epadu`: A `gain` konkrét értékét kell ide írni (electrons per AD unit.).
- `exposur`: Az expozíciós idő fejlécbeli azonosítóját kérdezi.
- `airmass`: A levegőtömeg fejléc azonosítója.
- `filter`: A fejlécben a szűrő azonosítója.
- `obstime`: A megfigyelés idejét rögzítő fejléc azonosítója.
- `itime`: Ide lehet megadni az expozíciós időt, ha nincs meg a fejlécben.
- `xairmass`, `ifilter`, `otime`: Hasonlóan az `itime`-hoz, meg lehet adni a konkrét értékeket.

Az `fwhmpsf` értéke fontos, hisz a csillagkereséshez használt gauss függvénynek az egyik paramétere ez lesz. A `sigma` illetve a `datamin` és a `datamax` értéke a háttér megállapításához szükséges. A többi paraméter később lesz fontos, de ha már itt vagyunk, állítsuk be őket. A `gain` a `readnoise` és a `exptime` értéke a fotometriánál lesz fontos paraméter.

A másik fontos paraméterfájl a `findpars`. Ez ugyanúgy elérhető a `daofind` paraméterfájljából, mint a `datapars`, vagy a szokásos külső „`epar findpars`” paranccsal is.

```

PACKAGE = daophot
TASK = findpars

(thresho=          4.) Threshold in sigma for feature detection
(nsigma =         1.5) Width of convolution kernel in sigma
(ratio =          1.) Ratio of minor to major axis of Gaussian kernel
(theta =          0.) Position angle of major axis of Gaussian kernel
(sharplo=         0.2) Lower bound on sharpness for feature detection
(sharphi=         1.) Upper bound on sharpness for feature detection
(roundlo=        -1.) Lower bound on roundness for feature detection
(roundhi=          1.) Upper bound on roundness for feature detection
(mkdetec=        no) Mark detections on the image display ?
(mode =          q1)

```

Ez a paraméterfájl, ahogyan a nevéből is kiderül, a keresési algoritmushoz tartalmaz paramétereket. Ezek szerepe a következő alfejezetben (1.1.1) válik világossá.

1.1.1. A csillagkeresési algoritmus

A `daofind` a csillagok pont-eloszlás függvényét (*PSF* - *point spread function*) egy elliptikus gauss-függvénnyel közelíti, melynek σ paramétere egyenlő lesz $0,42466 \cdot \text{datapars.fwhmpsf}/\text{datapars.scale}$ -lel. A `findpars`-ban még ezeken kívül be lehet állítani az elliptikus gauss fél-nagy tengelyének és fél-kistengelyének az arányát a `findpars.ratio` paraméterrel, illetve ezeknek a szögét a `findpars.theta` paraméterrel. Ezekre nem csillagszerű objektumok keresésénél van szükség, illetve torzult *PSF* esetén.

A `daofind` a létrehozott gauss-függvényt a kép minden pontjában konvoláltatja az eredeti képpel, és megbecsüli, hogy mekkora amplitúdónál kapná a legjobb illeszkedést. Az így kapott „sűrűség” képen minden pontot csillagnak detektál, mely magasabb a `findpars.threshold \cdot \text{datapars.sigma}` értéknél, $0,42466 \cdot \text{datapars.fwhmpsf}/\text{datapars.scale}$ környezetben belül. A talált forrásoknak nagyon sok paraméterét kiszámolja, melyek a forrás alakjára vonatkoznak, középpontjára illetve szimmetriájára. Az illesztett gauss-függvény amplitúdója alapján becsül egy fényesség-értéket is.

1.2. A *Source-EXtractor* csillagkereső program

Az utóbbi években kezd elterjedni a *Source EXtractor*, rövidebb nevén *SEX*, csillagkereső program. Ez az *IRAF*-on kívül működő program nagyon hatékonyan találja meg a csillagszerű forrásokat. Ezen kívül alkalmas galaxis jellegű objektumok automatizált keresésére is. A szoftver szabadon letölthető a <http://sextractor.sourceforge.net/> helyről.

A *SEX* a *titan*-on telepítve van. A programot egy ASCII paraméterfájllal tudjuk vezérelni. A fájlban található paraméterek állítgatásával tudjuk szabályozni a csillagkeresési algoritmus futásának eredményét. A legfontosabb paraméterek a `DETECT_MINAREA` és a `DETECT_THRESH`. A többi paramétert a `daofind`-hoz hasonlóan kell beállítani (gondolok itt a `fwhm-re`, `readout noise-ra`, `gain-re` ... stb.).

A matematikai algoritmusának működéséről bővebben olvashattok a *Source EXtractor* manuelekben, a jegyzetben nem részletezem.

2. Csillagkeresés a gyakorlatban

Hogy átlátható legyen, mit csinálunk, az M67 illetve NGC2126 mappák mellé hozzunk létre egy `TEST` könyvtárat. Innentől kezdve, minden próbálgatást itt csinálunk, s megőrizünk. A `TEST` könyvtáron belül hozzunk létre egy `daofind` illetve egy `sex` mappát.

```
$ mkdir TEST
$ cd TEST
$ mkdir daofind
$ mkdir sex
```

A teszteléshez használjuk az egyik felvételt. Gusztusunknak megfelelően valamelyik `fits` képet **másoljuk** bele mindkét próbamappába. Érdemes egy szép képet választani, mondjuk egy V szűrőset.

2.1. A `daofind`

A korábbiaknak megfelelően állítsuk be a `daofind`, a `datapars` és a `findpars` paraméterfájlokat. Legelőször a `datapars`-t állítsuk be. Rögtön az első kérdés, a `fwhmpsf` akadály lehet. Meg kell tudnunk, hogy mekkora a képen a csillagoknak az átlagos félértékszélessége.

A harmadik órán már megismerkedtünk az `imexamine` nevű *IRAF TASK*-kal. Ezt használva megállapítható a csillagok átlagos félértékszélessége. Indítsátok el a `ds9` megjelenítő programot és a vizsgált képet `display-eljétek`. Az `imexamine`-t használva, az „a” gombot lenyomva, miközben a kurzort egy csillagon tartjuk, az *IRAF* `xgterm` ablakában különböző információkat tudhatunk meg a csillagról, többek között a félértékszélességét. Több csillagra megnézve, egy körülbelüli `fwhmpsf` értéket meg tudunk adni.

A következő paraméter, mi kérdéses, az a `sigma`. Ez a háttér szórását adja meg. Ezt is az `imexamine` segítségével állapítjuk meg. Ha a kurzort egy átlagos, csillagmentes háttér helyre visszük és lenyomjuk az „m” billentyűt, akkor a sok információ között megtalálhatjuk a háttér szórására jellemző információt. Több helyen a képen ezt megvizsgálva, egy átlagos `sigma` értéket meg tudunk állapítani. Ezen kívül a háttér értékét is megadja. Ezek segítségével a `datamin` értékét is rögtön megadhatjuk.

A többi paraméter már a kamerával illetve az észleléssel kapcsolatos. Az információk egy részét a kép fejlécéből (*harmadik óra anyaga*) a többi részét pedig az obszervatórium honlapjáról tudhatjátok meg (<http://www.konkoly.hu>). (Az *epadu* értéke két féle lehet, attól függően, hogy melyik erősítési fokozatban volt használva a kamera. Ez a fejlécéből derül ki.) Az észleléshez a Schmidt távcsövet használtuk a Photometrics CCD kamerával.

Állítsátok be a paraméterfájlt, és ha úgy gondoljátok, hogy jó, akkor szóljatok a gyakorlatvezetőnek, aki átnézi.

A többi paramétert a *daofind*-ban illetve a *findpars*-ban egyenlőre az alapbeállításon hagyjuk. A *daofind*-nál az *image* paraméterhez írjuk be a kép nevét, és „:g”-vel indítsuk el a csillagkeresést.

A létrejött koordináta lista egy *coo.1* kiterjesztésű fájlban található. (Az *IRAF* mindig ilyen számra végződő fájlokat hoz létre, melyek közül a legnagyobb számú a legutóbbi.) Győződjünk meg az eredmény jóságáról vizuálisan. Ezt a *tvmark* nevű *TASK* segítségével tehetjük meg. Írjuk be az *IRAF* promptjába, hogy

```
cl> tvmark 1 kep.coo.1
```

A *ds9* ablakban a megtalált csillagok helyét lila pontokkal jelöli a *tvmark*.

A findpars paraméterfájlt állítgatva érvétek el, hogy a lehető legtöbb csillagot találja meg az algoritmus, illetve a lehető legkevésbé nem-csillagot. Az eredményeket, hogy mekkora threshold-nál illetve nsigma-nál mennyi csillagot talált a program jegyezzétek fel és táblázatban foglaljátok össze. Jegyezzétek fel, hogy mekkora a fwhm, a sigma, a datamin, a readnoise és az epadu értéke is.

2.2. A Source EXtractor

A *Source Extractor*-nak a futtatható bináris fájlját, illetve előre megszerkesztett paraméterfájlját összemörítve letölthetitek a labor honlapjáról. Ezt rakjátok a *sex* mappába, és tömörítétek ki (ugyanúgy, mint korábban a *tgz* fájlokat). Nézzétek át a paraméterfájlját (*daofind.sex*). Ezt a fájlt fogjátok változtatni, az eredmények függvényében. A csillagkeresés a *konsole*-ban (azaz *IRAF*-on kívül) kiadott:

```
$ ./sex -c daofind.sex fajl.fit
```

parancsra hajtódik végre. Ez létrehoz egy „*test.cat*” nevű fájlt.

Ha végül a *Source Extractor*-t találjuk a jobb keresési algoritmusnak, akkor persze ez veszélyes, hisz minden egyes képre felülírná a már létező *test.cat* nevű fájlt. Ekkor egy scripttel könnyen megoldjuk a problémát: írunk egy scriptet, mely mindig átnevezi ezt a fájlt az adott képnek megfelelően.

```
$ for i in *.fit;do echo "./sex -c daofind" $i;echo "mv test.cat" $i".cat";done
|bash
```

A létrejött *test.cat* adat tömböt a korábbiaknak megfelelően a *tvmark* nevű *IRAF TASK*-kal tudjuk a képekre kipötytyözni, mintha csak egy *daofind-os *.coo.1* fájl lenne.

Mint a *daofind-os* feladatnál nézzük meg, hogy a paraméterek változtatásának hatására miként változik a talált csillagok száma, illetve a találatok milyensége.

3. Csillagkeresés a képeken, a képek a WCS-ben

A legjobbnak talált csillagkeresési algoritmust, a legjobb paraméterezéssel futtassátok le az NGC 2126-os és az M67-es képekre! Az eredményt, hogy hány darab csillagot talált mely szűrővel készült képeken táblázatban foglaljátok össze. Az eredményt szóban is elemezzétek.

A korábban mondottaknak megfelelően, az NGC 2126-os képeket nem összetoljuk, hanem a talált források segítségével beillesztjük a képeket a WCS-be, azaz a világ koordinátarendszerbe. Ezt a korábban telepített *WCSTools* programcsomagban található *imwcs* nevű programmal fogjuk végrehajtani. A programnak meg lehet adni a gépen tárolt katalógusokat (pl. a *titan*-on az USNO B1.0-ás katalógus megtalálható), mivel összehasonlítja a talált források elhelyezkedését. Másik lehetőség, hogy táblázatszerűen megadjuk az adott helyen található csillagok koordinátáit. Mi az egyszerűség kedvéért a labor honlapján található táblázatot

fogjuk használni, mivel a laboros gépeken nincsenek több száz megabyte-os adatbázisok. Ezt a táblázatot töltötték le, és tegyék bele abba a mappába, ahol az NGC 2126-os képek vannak.

Az `imwcs` több rendű felületet illeszt a pontokra, illetve iterációs kezdőpontnak a kép fejlécében található RA DEC adatot felhasználja. Az `imwcs`-nek sok kapcsolója („switch”) van, melyeket nem részletezünk, ugyanis jelentsen túlmutatna a labor célján.

Keressétek meg azt a mappát, ahová a `WCSTools` programot telepítettétek, illetve annak a `bin` mappáját. Ennek az elérési útját adjátok meg a `bash`-nak:

```
$ PATH=$PATH:/home/kfpc.../wcstools.../bin
```

Ezek után menjetek oda, ahol az NGC 2126-os képek találhatóak. Ha a *Source EXtractor*-ral kerestétek meg a csillagokat, akkor ott adjátok ki a következő parancsot:

```
$ for i in *.fit;do echo "imwcs -vd" $i".cat -q its -c ngc2126.tbl -p 1.13 -vwi  
rs"  
$i;done | bash > logwcs
```

Ha `daofind`-dal, akkor logikusan a `.cat` helyett `.coo.1`-et kell írni. Ha minden jól ment, akkor a képeket a program betranszformálta a WCS-be. Táblázatba foglaljuk össze a `logwcs` fájl alapján, hogy képenként hány darab csillagot használt a transzformációhoz, és mekkora lett a szeparáció. A `logwcs` fájlban a transzformáció eredménye található. Az egyes fájlok transzformációit egy üres sor választja el, illetve képenként 3 iterációs „csomag” figyelhető meg. Az üres sor feletti részekben írja ki a program, hogy hány darab csillagot használt a transzformációhoz, illetve, hogy mekkora az átlagos szeparáció.

Kérdések, feladatok:

1. Nézzétek át a csillagkeresési algoritmusokat, illetve, hogy milyen paraméterezéssel mit lehet beállítani.
2. A *sillabusz* alapján csináljátok meg a *TEST* könyvtárban a `daofind` illetve a *Source Extractor* próbáját. A különböző eljárások eredményeit táblázatban és szóban is foglaljátok össze. Az általatok legjobbnak vélt algoritmusnak a legjobb paraméterezésével kapott eredményt ábrázoljátok *bookmark*-kal a *ds9*-ben és *eps*-ként mentsetek le és illesszétek bele a dolgozatba.
3. Az NGC 2126-os és az M67-es képeken hajtsátok végre a csillagkeresést.
4. Az NGC 2126-os képeket a *sillabusz* alapján tegyétek a Világ Koordinátarendszerbe (WCS). Táblázatban foglaljátok össze az eredményeket.