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 fel 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 lépjünk bele a megfelelő könyvtárba. Ne felejtsük, hogy az *IRAF*-ot `xgterm` terminálból, és abból a mappából indítjuk el, ahol a `login.cl` 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 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 mindíg 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   =              ql)
```

Ez a paraméterfájl, ahogyan a nevéből is kiderül, a keresési algoritmushoz tartalmaz paramétereket. Ezek szerepe a kovetkező 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 $0,42466 \cdot$ `datapars.fwhmpsf/datapars.scale`-lel. A `findpars`-ban még ezeken kívül be lehet állítani az elliptikus gauss fél-nagytengelyének 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`$\cdot$`datapars.sigma` értéknél, $0,42466 \cdot$ `datapars.fwhmpsf/datapars.scale` környezeten 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 fejlécből 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 érjétek el, hogy a lehető legtöbb csillagot találja meg az algoritmus, illetve a lehető legkevesebb 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* `fwhmpsf`*, 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 összetömörítve letölthetitek a labor honlapjáról. Ezt rakjátok a `sex` mappába, és tömörítsétek 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 algoritumusnak, akkor persze ez veszélyes, hisz minden egzes képre felülírná a már létező `test.cat` nevű fájlt. Ekkor egy scripttel könnyen megoldjuk a problémát: írunk egy scriptet, mely mindíg 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 kipöttyözni, 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 töltsétek le, és tegyétek 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 útvonalát 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 `tvmark`-kal a `ds9`-ben és `eps`-ként mentsétek 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.*