



CCD technika

Legutóbb a CCD-s fotometriáról, azon belül is nyílthalmazok távolság- és kormeghatározásáról olvashattak a CCD rovatban. Most egy másik gyakorlati példa következik, az asztrometria, elsősorban a kisbolygó-megfigyelések tükrében. Legközelebb ismét visszatérünk a fotometriához, de szintén a kisbolygók kapcsán.

Asztrometria

A csillagászat három nagy ága, az asztrometria, a fotometria és a spektroszkópia közül az égitestek helyzetének meghatározásával foglalkozó asztrometria a legősibb, hiszen „már a régi görögök is” foglalkoztak vele. Az üstökösök és a kisbolygók pozíció-meghatározása terén a nyugati amatőrök szép eredményeket értek el, és az az árák viszonylagos csökkenése a hazai amatőrök számára is elérhetővé tette ezt a megfigyelési ágat. Elkészült az első, hazai gyártmányú CCD kamera, készül egy minden igényt kielégítő szoftver, mellyel szinte gyerekjáték lesz kisbolygók pozíciójának 1"-nél pontosabb kimérése, és Szegeden megtörténtek az első, gyakorlati lépések is. Ezért időszerű, hogy megismertessük olvasóinkat a CCD asztrometria alapjaival, a benne rejlő lehetőségekkel, és néhány olyan észlelési területtel, ahol az amatőrök tudományos szintű eredményeket produkálhatnak.

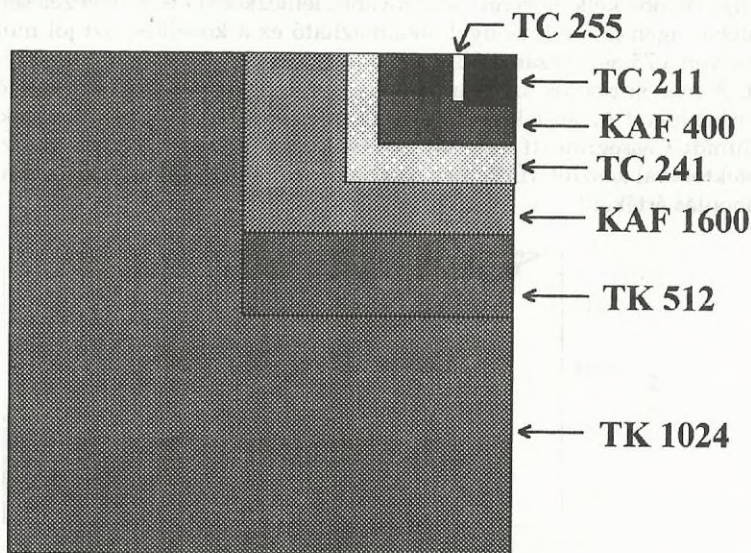
A kisbolygók asztrometriája

Kisbolygók CCD asztrometriájára bármely távcső alkalmas, mely a használt CCD detektorral eléri a $2''-2,5''$ /pixeles felbontást. Így van esély arra, hogy a kimérés pontossága elérje az 1''-et. A jobb felbontás természetesen növeli a pontosságot, ám vigyázni kell arra, hogy egy gyors mozgású földszüroló kisbolygó hamar több pixelre kenődhet szét, és egy vonal két végpontjának kimérése sokkal zűrösebb, mint egy pont kimérése. Ráadásul kisebb pixelek, vagy nagyobb fókusztávolság (így érhető el jobb felbontás) esetén csökken a rögzített terület mérete, ami a referenciacsillagok számát a minimálisan megkívánt alá csökkentheti. Megoldás lehet egy több pixelből álló CCD chip, de ez a kamera árát is jelentősen növeli. Optimálisnak tekinthető az $1''-2''$ /pixel közötti felbontás, és a legalább 10'-es látómező. A mellékelt táblázat segítségével megtudhatjuk, hogy 1000, ill. 2000 mm-es fókusztávolság esetén különböző kamerákkal mekkora látómezőt kapunk, és milyen felbontást érhetünk el. Az 1. ábra a táblázatban szereplő chipek méreteit hasonlítja össze.

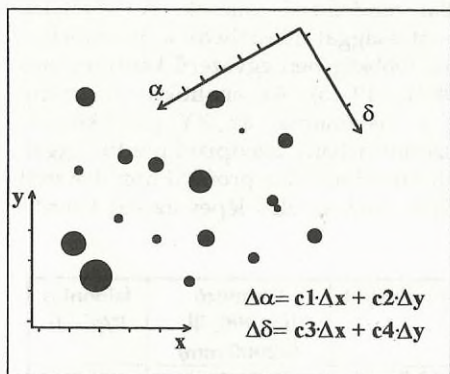
A pontos pozíciók meghatározása a CCD képek alapján szerencsére nem túl nehéz feladat. A CCD éra beköszöntével, ill. a számítástechnika fejlődésével párhuzamosan igen megbízható képanalizáló eljárások, esetünkben ún. csillagkereső algoritmusok születtek. A pontszerű források (csillagok, kisbolygók) képei viszonylag egyszerűen behatárolhatók, mint a háttér szórásából jelentős mértékben kiemelkedő, ill. a leké-

pezés minősége által meghatározott profillal rendelkező csúcsok. A felvételek ívmásodperc/pixeles felbontásától függő pontossággal illeszthető a profilokhoz valamilyen analitikus függvény, ami az esetek többségében egyszerű kétdimenziós Gauss-görbe („haranggörbe”, l. Meteor 1998/1., 19. o). Az analitikus függvény előnye, hogy egzaktul ki lehet számítani a maximumát az XY pixel-koordinátarendszerben, mégpedig a tapasztalatok szerint néhány tizedpixel pontossággal. A csillagok és a vizsgált kisbolygó képsíkbeli koordinátáit a profiljukhoz illesztett függvények maximumhelyeiként értelmezhetjük, ami az első lépés az égi koordináták meghatározásához.

Kamera	CCD chip	pixelszám	pixelméret	látómező (f=1000, ill. f=2000 mm)	felbontás ("/pixel)
ST-4, Cookbook 211	TC-211	192x165	13,75x16	8,9' x 8,9'	3,2
				4,4' x 4,4'	1,6
ST-5, AMA-KAM, Pictor 216	TC-255	320x240	10x10	11' x 8,2'	2,0
				5,5' x 4,1'	1,0
ST-6, MIDI-KAM	TC-241	375x242	23x27	29,6' x 22,3'	5,5
				14,8' x 11,1'	2,7
ST-7, Pictor 416	KAF 0400	765x510	9x9	23,7' x 15,8'	1,8
				11,8' x 7,9'	0,9
ST-8, Pictor 1616	KAF 1600	1530x1020	9x9	47,4' x 31,6'	1,8
				23,7' x 15,8'	0,9
	TK 512	512x512	27x27	47,4' x 47,4'	5,6
				23,7' x 23,7'	2,8
TEK#6	TK 1024	1024x1024	24x24	84,6' x 84,6'	5,0
				42,3' x 42,3'	2,5



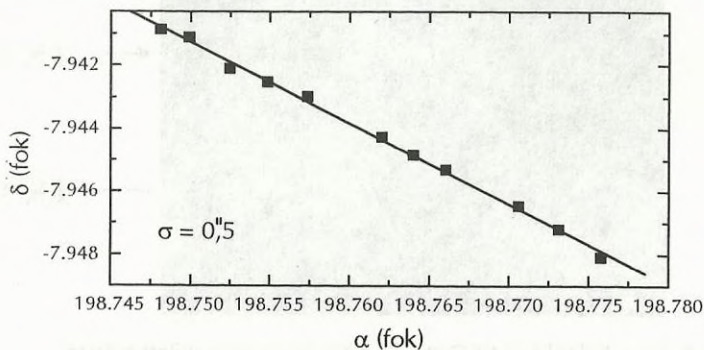
1. ábra. Különböző CCD chipek egymáshoz viszonyított méretei



2. ábra

ni, hogy az említett három műveletet be lehet „zsúfolni” egy mátrixba is, amelyben négy együtttható szerepel, és ezek a lemezkonstansok. Öt-hat pontos koordinátájú alapsillag segítségével (ezeknek tehát a képen meghatározott XY, ill. katalógusokból az égi koordinátáit felhasználva) a lemezkonstansok már kiszámíthatók legkisebb négyzetes illesztéssel.

Ezek után már csak ki kell választani egy alappont csillagot és a tőle mérhető ΔX , ΔY koordinátakülönbséget egyszerűen átszámíthatjuk $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$ különbségekre, amelyeket az alappont RA, D értékeihez hozzáadva kapjuk a kisbolygó égi koordinátáit. Természetesen az ábrán szereplő egyszerű lineáris összefüggések csak elegendően kicsi látómező (a tapasztalatok szerint $<15'$) és nem túl nagy deklináció ($<75^\circ$) mellett kellő pontosságúak, ezen feltételeken túl már magasabb rendű tagokat is figyelembe kellene venni, ami további lemezkonstansok bevezetését igényli. Hogy valóban igen jó eredménnyel alkalmazható ez a közelítés, azt jól mutatja a 3. ábra, amelyen a 73-as sorszámú Klytia kisbolygó egy éjszaka során kimért pozícióit tünteti fel. A mérési pontok szórása, eltérése a valódi pályát jelző egyenestől, mintegy fél ívmásodperc! Az észleléshez használt műszer a JATE Optika Tanszékének 28 cm-es Schmidt-Cassegrain (f/6,3) távcsövével, és a Kísérleti Fizika Tanszék ST-6 CCD detektorával készült. (Érdeemes meghatározni a táblázat segítségével a látómező és a felbontás értékét!)

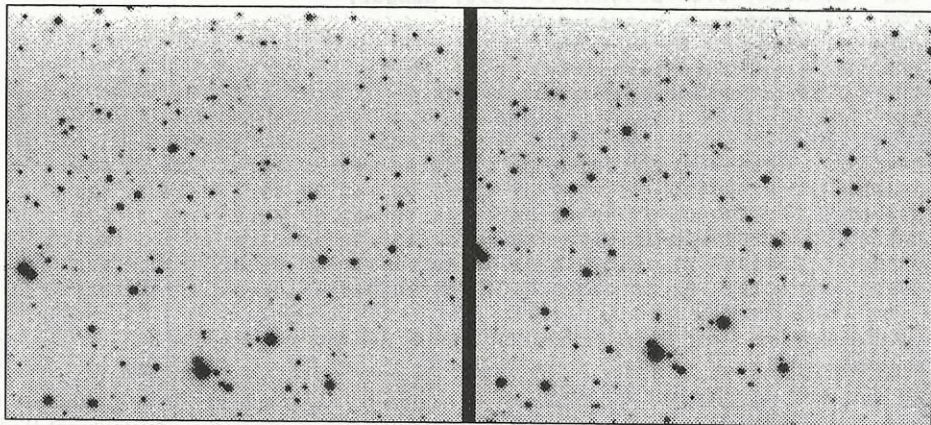


3. ábra. A (73) Klytia kimért pozíciói egy éjszaka során

Mindeddig hallgatólagosan feltételeztük, hogy a képeken látható csillagok égi koordinátáit valahonnan ismerjük. Manapság már minimális követelmény az ívmásodperces pontosság, amihez többféle csillagkatalógust is felhasználhatunk. Viszonylag széles körben elterjedt Magyarországon a Hubble Guide Star Catalogue, amely 15^m -s határfényességével és $0,2-0,5$ -en belüli pontosságú koordinátaival az átlagos igényeket messze kielégíti. (A GSC egyébként számos objektum mellett az összes ismert kisbolygót tartalmazza, ezeket megjeleníti a térképen, és tetszőleges lépésközzel berajzolja az útjukat a csillagok közé. Az így készített térképek segítségével könnyedén megkereshető az égitest.) Aki nagyobb műszert, kisebb látómezőt, vagy érzékenyebb detektort használ, az US Naval Observatory munkatársai által összeállított USNO-SA1.0 katalógushoz forduljon, ami 20^m -s határfényességével és $0,2$ -es pontosságával a legprofibb célokra is megfelel. Ez utóbbi egyrészt elérhető a <http://asteroid.lowell.edu> www-oldalon, másrészt ingyenesen terjesztett CD-n is megrendelhető az US Naval Observatory-tól. 54 millió csillag, négyzetfokként átlagosan 1500 objektum — ezek a legfontosabb paraméterei.

Van tehát egy távcsövünk, rajta egy megfelelő CCD, beszereztük a szükséges CD-eket és szoftvereket, de honnan tudjuk, hogy a 37 ezer katalogizált kisbolygó közül melyiket érdemes észlelni? Számos lehetőség közül választhatunk, melyekből most néhányat említenék meg.

A kisbolygóészlelés jelenlegi legnagyobb problémája, hogy a felfedezett kisbolygók száma gyorsabban nő, mint a sorszámozott, tehát véglegesen katalogizált kisbolygók száma. Ez azért van, mert a profi kisbolygókereső programok csak a felfedezésekkel törődnek, ám a sorszámozáshoz legalább négy oppozíció alkalmával kell észlelni az új égitestet. Itt lépnek színre az amatőrök, akik egyedi észleléseikkel nagyban hozzájárulhatnak egy-egy kisbolygó megsorszámozásához.



4. ábra. Egy kis játék: hol a kisbolygó?

Választhatjuk célpontul a földközeli és különleges pályájú (unusual = szokatlan) kisbolygókat, vagy éppenséggel a magyar felfedezésűeket. A Minor Planet Center minden hónapban közzétesz egy listát (Critical List), melyben a gyengén, vagy régen észlelt számozott kisbolygók sorszámaikat közli. Ezek megfigyelése is hasznos lehet. És persze ott van az új kisbolygók felfedezésének lehetősége is, hiszen a 17^m alatti tartomány még sok tízezer felfedezetlen kisbolygót rejt!

A fenti csoportokba tartozó kisbolygókat összeszedni meglehetősen hosszú és nehézkes munka, sok helyről kell összeválogatni az információkat. Ennek menetét most nem ismertetjük, hiszen a CCD rovat és az üstökös rovat vezetője is birtokában van ezeknek az adatoknak, és készséggel segít mindenkinek, aki elhatározza, hogy kisbolygók asztrometriájára adja a fejét. Aki mégis böngészni akar az Internet útvesszőiben, annak a <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps> címen a Minor Planet Center linket, illetve a <http://asteroid.lowell.edu> címen az ASTORB linket ajánljuk. Ez utóbbi helyen egy 10 Mb-os szövegfájl található, mely mind a 37 ezer aszteroida pályaelemeit tartalmazza! A pályaszámítás és az azonosítás szempontjából is nagyon fontos, hogy egy égitestről hány pozíciómerést készítettünk. Egy éjszaka legalább kettő, de inkább három pozíciót kell kimérni, lehetőleg egy órán belül. Ennél több észlelésre egy éjszaka nincs szükség. A sorszámozott, vagy több oppozíciókor észlelt aszteroidákat elég hetente egy éjszakán megfigyelni, a friss felfedezéseket viszont két-három naponta is újraészlelhetjük. Különösen fontos ez, ha új kisbolygót találunk, hiszen ideiglenes jelölést is csak akkor kap, ha legalább két éjszaka tudjuk észlelni az égitestet.

Az észleléseket a Cambridge-ben székelő Minor Planet Center (MPC) gyűjti, ahol minden észlelőhelyet egy háromjegyű kódszámmal azonosítanak. Ezt a számot az első megfigyelések beküldése után az MPC osztja ki. Ehhez szükség van az észlelőhely földrajzi koordinátájára és magasságára, az észlelőhely nevére, a vezető nevére és címére, az észlelők és a kimérést végzők nevére, a használt műszerre és a referenciacsillagok forrására. Az első négy adatot csak az első alkalommal kell közölni, legközelebb elég az alábbihoz hasonlóan megadni a fejlécben az adatokat:

```

COD      629
CON      L. Kiss, 6701 Szeged, Pf. 596, Hungary
CON      [l.kiss@physx.u-szeged.hu]
OBS      L. Kiss, K. S\'arneczky
MEA      L. Kiss, K. S\'arneczky
TEL      0.28-m Schmidt-Cassegrain + CCD
NET      GSC

```

```

J94P01C  C1997 01 27.78194 23 41 56.66 +42 37 17.4   14.6 629
J94P01C  C1997 01 27.78470 23 41 53.62 +42 37 43.1   14.5 629
J94P01C  C1997 01 27.79381 23 41 43.78 +42 39 08.2   14.7 629
00908    C1997 01 28.01689 05 42 54.17 +30 38 06.4     629
00908    C1997 01 28.01954 05 42 54.19 +30 38 07.0     629
00908    C1997 01 28.02190 05 42 54.10 +30 38 07.4     629

```

Az észlelések beküldésére ad mintát a fenti néhány sor, mely a JATE-n történt mérések egyikének részlete. Az adatokat 80 karakteres sorokban, normál ASCII fájlként kell továbbítani. Az észlelések időpontját UT-ben és tizednapban kell megadni, az expozíció közepére. A koordinátákat 0,01 s, és 0,1, a fényességet 0^m,1 pontossággal kell megadni, de ez utóbbtól nyugodtan eltekinthetünk. A J94P01C az 1994 PC1 kisbolygót, a 00908 a (908) Buda kisbolygót jelöli, de más ideiglenes jelölésű kisbolygókhoz más kódot kell használni, és az új felfedezések bejelentése is külön kódrendszert kíván.

Látható, hogy az első mérések, és főként az észlelések beküldése több buktatót rejt, így minden érdeklődőt arra kérünk, hogy az első megfigyelések előtt vegye fel a kapcsolatot a rovatvezetővel, hiszen a személyes tapasztalatok átadása jelentheti a legnagyobb segítséget.

Első olvasatra talán kicsit bonyolult folyamatnak tűnhet, míg a szándéktól eljutunk az első koordináták elküldéséig, ám amikor a mi észleléseink alapján pontosítják egy kisbolygó pályáját, vagy netán egy új égitestre lelünk, az felejtethetetlen élmény.

Változócsillagok asztrometriája

Első hallásra talán furcsának tűnhet az ötlet, hiszen azt gondolnánk, hogy a változóknak ismerjük a pontos pozícióját. Nos ez egyáltalán nincs így, bár a Hipparcos- és Tycho-programok sokat javítottak a helyzeten, hiszen az összes maximumban legalább 11^m -s változócsillag pontos koordinátáit kimérték. Ám a 11^m alatti tartomány sok ezer változócsillagot rejt, melyek koordinátái gyakran csak tízed ívperc, sőt esetenként csak ívperc pontossággal ismert. Ezeknek a változóknak az azonosítása és kimérése nagyon hosszú időre adhat munkát a vállalkozó kedvű amatőröknek.

A csillagok azonosítása többféle módon is történhet, de itt is szükségünk lesz egy GSC-re. A CD-n ugyanis megtalálható a Változócsillagok Általános Katalógusa (GCVS), és a program az ebben található összes változót feltünteti a térképeken. Csakhogy a változókat a GCVS-ben megadott koordinátára teszi, ezeken a helyeken viszont sokszor egyáltalán nincsen csillag. Általában azért sejthető, hogy a GSC melyik csillaga a változó, de az eltérések szembetűnők.

Ha kiszemeltünk néhány, maximumban 11^m -nál halványabb változót, akkor két módon is azonosíthatjuk őket. Ha hozzáférünk változós szakirodalomhoz, például a nyomtatott GCVS-hez, a megadott referenciák alapján utánanézhethetünk az eredeti publikációnak, hátha a felfedezők közöltek egy keresőtérképet, melyen pontosan be van jelölve a csillag. Ez alapján már azonosíthatjuk a változót, bár sokszor előfordult, hogy a felfedezők rossz csillagot jelöltek meg a változóknak...

A legbiztosabb, ha a megadott amplitúdó akkora, hogy a műszerünkkel mi is ki tudjuk mutatni a fényváltozást, így egy megfelelően hosszú észleléssorozat után saját magunk tudjuk azonosítani a változót. Így biztosan jó csillagot mérünk ki, ráadásul a minimum és maximum fényességére is tudunk valamit mondani, ami sokszor eltér a GCVS-ben megadottól. A koordináták kimérése szűrő nélküli képeken is történhet, ám ha a fényváltozás amplitúdójára korrekt értékeket akarunk kapni, legalább egy V szűrőre is szükségünk lesz.

Kettőscsillagok asztrometriája

Ez is egy igazi amatőr észlelési ág, mely szintén kimeríthetetlen lehetőségeket rejt. Ha felütünk egy kettőscsillag katalógust, láthatjuk, hogy rengeteg párt sok-sok évtizede nem mértek, illetve nagyon kevés észlelés áll rendelkezésre róluk. Egy CCD detektor bevetésével és a tagok pontos koordinátáinak kimérésével nagyon pontos szögtávolság és PA adatokat kapunk, melyeket változását akár évtizedeken át is mérhetjük, vagy éppenséggel nem mérhetjük.

Itt is problémát jelenthet, hogy a katalógusokban sok a hiba, így nem egyértelmű az azonosítás. Ráadásul a kettősöket vizuális látvány alapján sokkal könnyebb felismerni, mint egy CCD képen. Ez utóbbin a sok csillag miatt nem mindig egyértelmű, hogy mi kettős és mi nem. A bizonytalanságok kiszűréséhez vagy rövid expozíciós időket, vagy kiegészítő vizuális észleléseket kell alkalmaznunk.

SÁRNECZKY KRISZTIÁN-KISS LÁSZLÓ