

Szerencsejáték – avagy szegény ember adaptív optikája

Az alakítható felületű tükröket, lézereket, hullámfront-érzékelőket alkalmazó, komplikált adaptív optikákról már olvashattunk a Meteor hasábjain, illetve legutóbb a 2009-es évkönyv óriástávcsöves írásában. Az elmúlt években azonban a hivatásos csillagász berkekben megjelent egy olcsóbb, egyszerűbb képélesítési eljárás. Ez alkalommal melegség töltheti el amatőr csillagász szívünket, hiszen ezt a technikát mi már régóta használjuk – igaz, nem mélyég-, hanem bolygó- vagy Hold-észlelésre. Igen, a webkamerás módszerrel, pontosabban valami ahhoz nagyon hasonlóról van szó! Sok rövid expozíciós idejű felvételt készítve azok között akad jónéhány, amelyeket a légköri turbulencia csak kevésbé mos el. Ezeket az éles, vagy „szerencsés” képeket kiválasztva és megfelelő illesztés után összeátgolgolva a távcső elméleti feloldóképességét megközelítő fotókat kapunk (innen az eljárás angol neve, lucky imaging, azaz szerencsés képalkotás). Ez a „Registax forradalom” a hivatásos csillagászokat is elérte, s bár az eszközök és a módszerek egy kicsit eltérőek, a lényeg ugyanaz.

LLLCCD – a profik webkamerája

Az amatőr körökben használt CCD-knek nincs video üzemmódjuk, és egészen a közelmúltig a DSLR kamerák sem tudtak mozgóképet rögzíteni. A kompakt gépek ugyan kínáltak 320x240, esetleg 640x480 pixel felbontású video-felvételt, de mivel nem erre voltak optimalizálva, a kép zajos volt és sokszor csak 15 képkocka per másodperc időfelbontású. A digitális videokamerák pedig fizikailag nagyok, okulárhoz illesztésük szó szerint nehézkes, és csakúgy mint a kompakt gépeknél, ott van a beépített optika. Ezzel szemben a webkamerák kicsik, a lencse levelezhető, és szoftveren keresztül sok felvételi paraméter állítható – nem csoda, hogy leginkább ezek terjedtek el az amatőrök között.

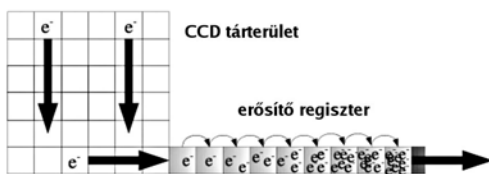
A többnyire alacsony áramigényű és gyors kiolvasású CMOS képfelvévővel szerelt eszközök azonban messze elmaradnak érzékenységben és zajkarakteristikában a speciális csillagászati CCD-kamerák mögött. Márpedig századmásodperces expozíciós idő (és a többnyire alkalmazott nagy fókusznyújtás miatt lecsökkent felületi fényesség) mellett sokat segítene az 50–60, vagy akár 80–90%-os kvantumhatásfok a CMOS szenzorok 5–10%-ával szemben. Így lejjebb lehetne szorítani az expozíciós időt, vagyis csökkenteni az esélyt annak, hogy a légkör állapota változzon az egyedi képek felvétele alatt. Egy másik lehetőség, hogy valamiféle módon megsokszorozzuk a beérkező fotonok által keltett elektronok számát, mint a régen oly elterjedt „egypixeles” fotoelektronsokszorozó csövek esetében. Amatőr körökben szinte teljesen ismeretlenek, de léteznek kétdimenziós feloldást biztosító képerősítők. Egyik fajtájuk az ún. mikrocsatornás lemez (MCP, micro channel plate), amely tulajdonképp miniatűr, pixel méretű fotoelektronsokszorozó csövek mátrixa, amit a CCD felületére szerelnek. Ezek ugyan erősítik a bejövő jelet, de némileg rontják a feloldást, és sajnos a zaj emelkedésével is járnak.

Amennyiben elérhető rövidebb expozíciós idő, úgy az a képek felvételi sűrűségét is növeli, már ha a kiolvasó és tároló elektronika képes lépést tartani. A gyors kiolvasást egyes eszközök sorközi regiszterek segítségével teszik lehetővé (interline transfer), amikor minden egyes érzékelő sort egy átmeneti tároló, fénytől elzárt pixelsor övez. Ezáltal egy pillanat alatt fénymentes helyre menthető az információ, és a kiolvasás közben már készülhet is a következő felvétel. Ez a megoldás gyors, de csökkenti a felbontóképességet, minthogy az érzékelő aktív felületének nagy része valójában nincs kihasználva a képrögzítésben, csak az átmeneti tárolásban.

Az ideális kamera tehát ötvözné a fenti-ekből a jó tulajdonságokat: a CCD-k magas érzékenysége és teljes térkitöltése, vegyítve a CMOS elektronikák és sorkezi kiolvasású detektorok gyorsaságával, s mindez fűszerezve valamiféle – lehetőleg zajmentes – jelerősítéssel. Az eszköz néhány éve létezik, és EMCCD (electron multiplying CCD, elektron erősítésű CCD) vagy L3CCD (low light level CCD, alacsony fényintenzitású CCD) néven ismert. Talán furcsán hangzik, de majdhogynem csak egyetlen pixelsorban különböznek ezek a hagyományos teljes képtárolós (full frame transfer) CCD-ktől. (Ezen detektoroknál a teljes képet nagyon gyorsan egy, a fényérzékeny felülettel azonos méretű tárhelyre mozgatják, s a kiolvasás alatt már történhet a következő integráció.) A kiolvasó regiszterből ugyanis nem közvetlen az egyes pixeleken felgyülemlt töltést megmérő kondenzátorhoz vándorolnak az elektronsomagok, hanem egy többszáz lépcsős erősítőn haladnak keresztül. Ezen speciális pixelsor szomszédos elemei között kissé eltérő, fokozatosan növekvő feszültséget alkalmaznak a töltésléptetésre. Ezáltal a szomszédos pixelek között kis, mintegy 1%-os erősítést érnek el. S míg az 1,01-szeres faktor nem tűnik nagynak, addig ezt mondjuk 512 lépésben ismételve $1,01^{512}$, azaz kb. 160-szoros erősítés érhető el. Ráadásul a pixelek közötti feszültséglépcső hangolásával a végleges töltés-sokszorozás finoman szabályozható, vagy akár ki is kapcsolható.

Ezáltal a CCD-struktúra akár 90%-os hatásfokának köszönhetően egyedi fotonok beérkezése is nagy biztonsággal, erős jelként detektálható minden egyes képpontban. Hagyományos CCD-k esetében egyetlen foton keltette egyetlen elektron elveszése a kiolvasási zajban, aminek értéke a legjobb kamerák esetében is 3 elektron körüli. Mivel az L3CCD-kben az erősítés a kiolvasás előtt történik, ezért a kiolvasási zaj elhanyagolható a megsokszorozott töltéscsomaghoz képest. Fontos viszont, hogy a sötétáram értéke gyakorlatilag nulla legyen, ugyanis a termális elektronok ugyanúgy felerősödnek, mint a fotonok keltette töltéshordozók. És

természetesen van egy elkerülhetetlen probléma is: az erősítés nem pontosan ugyanazon érték minden egyes képpontra. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a fotonstatistikából eredő zaj (a beérkező fotonáram természetes, vele járó fluktuációja) kissé felerősödik, egy négyzetgyök 2-es faktorial. Ez az alkalmazások szempontjából annyit jelent, hogy míg nagyon alacsony jel esetén az L3CCD-k a belső erősítésnek köszönhetően sokkal tisztább jelet szolgáltatnak, addig erős fényforrások esetében zajosabbak a hagyományos érzékelőknél. Azonban mint említettük, az elektron-többszörözés egyes típusokban ki is kapcsolható, így a probléma csak akkor áll fenn igazából, ha egy látómezőben találhatóak fényesebb és igen halvány objektumok.

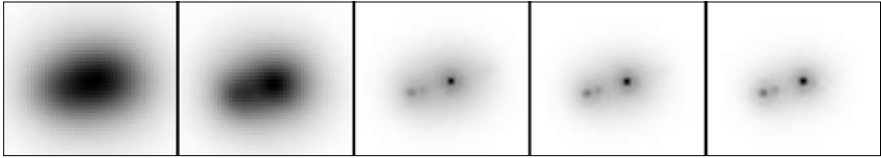


Az L3CCD felépítése

Szerencsejáték kontra adaptív optika

A szerencsés képkalkítás nem adaptív optika (AO) abban az értelemben, hogy fizikailag semmiféle optikai felületet sem alakít valós időben a légkör változásait kiegyenlítő. Az eszköz sokkal egyszerűbb, hiszen „csak” egy speciális kameráról van szó, ugyanakkor a végeredmény hasonló élesség-növekedés. Hasonló, de azért fontosak a különbségek, pro és kontra egyaránt.

A mellékelt képsoron első és második elemét összevetve jól látható, hogy egy hagyományos hosszú expozíciós (21 perc) felvétellel szemben mi többletet ad sok rövid integráció (50 000 kép, másodpercenként 40 db) egyszerű illesztéssel történő összeadása. Ez gyakorlatilag megfelel a hagyományos AO ún. döntögetési (tip/tilt) korrekciójának, amikor is az egyes időpillanatok képeit eltoljuk annak érdekében, hogy a legnagyobb intenzitású pont mindig egy helyre essék. Ez gyakorlatilag a légköri nyugodtság által megha-

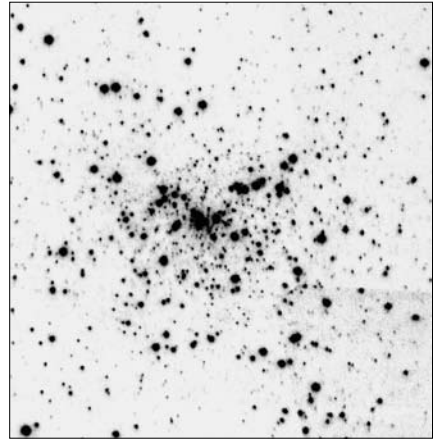
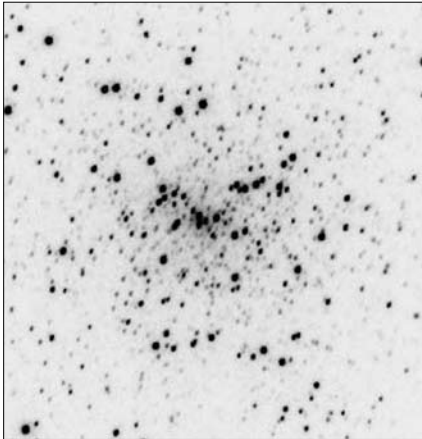


Egy 21 perces integrációt (balra) rövid expozíciók sokaságaként felvéve, majd a képeket megfelelően szűrve és átlagolva jelentős élességjavulás érhető el

tározott (seeing limited) feloldás. A sorozat harmadik kockája csak az iménti 50 000 kép 25 000 legélesebbikének az előbbihez hasonlóan illesztett összeadásából származik, s a szembetűnő élesség-javulás tovább növelhető, amennyiben csak a felvételek 10%-át használjuk fel (negyedik kép). A mindössze 500 elem összegzéséként kapott utolsó kép egyértelműen mutatja az Airy-korongot, azonban ne feledjük el, hogy a képek 1%-ának felhasználása így gyakorlatilag egy 12 másodperces expozíciós időt eredményez a majd' 21 perces eredeti adatsorral szemben! Vagyis, az AO-val ellentétben a jel/zaj viszony igen alacsony, mivel a távcsőidő jelentős része elveszik az eljárás során.

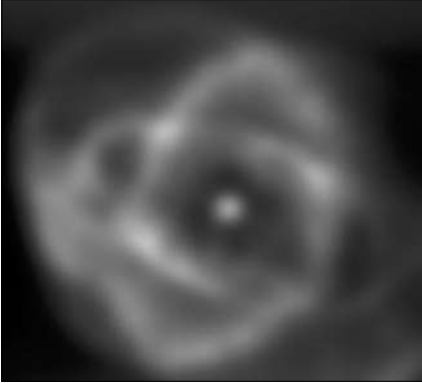
Ugyanakkor az AO rendszerek szinte kizárólag csak a közeli- és infravörös tartományban működnek, hiszen a vizuális hullámhosszakat használják fel a szükséges korrekció megállapítására. Ezzel szemben a szerencsés képalkotás vígan működik a látható tarto-

mányban. Másik fontos előny, hogy a korrigálható látómező nagyobb, mint a hagyományos AO berendezések esetén. Valójában a látómező minden egyes pontjához egyedi korrekció tartozna, ezek viszont az optikai tengelyen nagy mértékben hasonlóak, átfednek, a középponttól távolodva azonban egyre nagyobb az eltérés (részletesebben l. az említett évkönyv-cikket). Az ún. aplanatikus szög, mely látómezőn belül a hullámfront torzulása még egységesnek tekinthető, a távcső átmérője és a légkör állapota határozza meg. Hagományos AO rendszerek így csak ezen a szűk, 4–10 ívmásodperces területen belül működnek. A szerencsés képalkotás viszont nem próbálja meg javítani a nagy mértékben torzult hullámfrontot, hanem csak azokat a képeket használja fel, ahol a légkör a legnyugodtabb volt, vagyis amikor az aplanatikus szög értéke pillanatszerűen megnövekedett. Továbbá a képek kiválogatásakor az is megadható feltételként, hogy ne csak az optikai



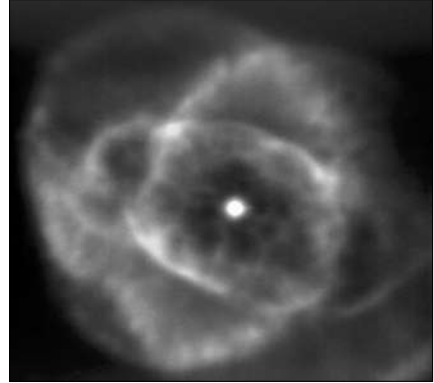
Az M15 gömbhalmaz egy hosszú expozíciós idejű vezetett felvételen (balra), valamint egy szerencsés képalkotással készült mozaikon (jobbra)

tengelyen, hanem egyidőben attól nagyobb távolságban is kicsi legyen a torzulás. Ezáltal a hagyományos AO technika látómezejének 5–10-szeresét is lefedheti az átlagolás, s nem csak egy gömbhalmaz legbelső vidéké, de a külsőbb területei is egyidejűleg rögzíthetőek nagy felbontással.



meg az adaptív optika kifejlesztését/beszerzését. Ugyanakkor a távcsőidő tekintetében jobban gazdálkodhatnak, s e két tényező együtt igen kedvező színben tüntetheti fel a szerencsés képpalkotás lehetőségét.

Lassan a kíváncsi és tehetősebb amatőr-csillagászok is megvásárolhatnak L3CCD/



A Macscaszem-köd az 5 m-es Hale teleszkóppal – korrekció nélkül, illetve AO és szerencsés képpalkotás együttes alkalmazásával

A két technika azonban nem csak összehasonlítható, de alkalmazható is együtt, mint ezt az 5 méteres Palomar teleszkóp adaptív optikája mögé szerelt LuckyCam bizonyította, a Hubble Űrtávcsövet megközelítő felbontású képeivel. További információk, képek és részletek a http://www.ast.cam.ac.uk/~optics/Lucky_Web_Site/index.htm honlapon találhatóak.

Profi és amatőr alkalmazások

A hivatásos csillagászok között a távcsőidő látszólagos „pocsékolása” miatt talán sohasem fog igazán elterjedni a szerencsés képpalkotás, különösen nem az amúgy is túljegyzett legnagyobb távcsöveken. De mint azt a részletesebb számítások mutatják, a technika optimálisan az 1–3 méteres távcsöveken működik igazán hatékonyan, a vizuális tartományt tekintve. Ezek ma olyan „kisebb” távcsöveknek, obszervatóriumoknak tekinthetőek, amelyek nem engedhetik

EMCCD kamerákat, az Andor Technology cég már 8000 USD körül árul egyes modelleket. Nem kell természetesen feltétlenül egy erősített CCD-kamera, web- és csillagászati videokamerákkal is lehet próbálkozni, nem csak bolygók, Nap és Hold, de akár fényesebb mélyég-objektumok esetében is. Ne felejtjük el azonban, hogy egy éjszaka akár több száz GB tárhelyet is elfoglalhat a nagy időfelbontással felvett video, nem is beszélve a képek feldolgozásáról. Sőt, akár meglévő CCD vagy digitális kameránkkal is próbálkozhatunk tizedmásodperces expozíciók összeadásával javítani a feloldást. A Sky and Telescope 2009. márciusi számában például ígéretes próbálkozást láthattunk chilei amatőröktől, akik az η Carinae ködét örökítették meg, a HST-vel összevethető részleteket mutató felvételt produkálva egy 35 cm-es távcsőre szerelt ST-10-es kamerával, 0,6 másodperces képek átlagolásával. Várjuk a beszámolókat/képeket hazai amatőrök hasonló eredményeiről!

Fűrész Gábor