



# CCD technika

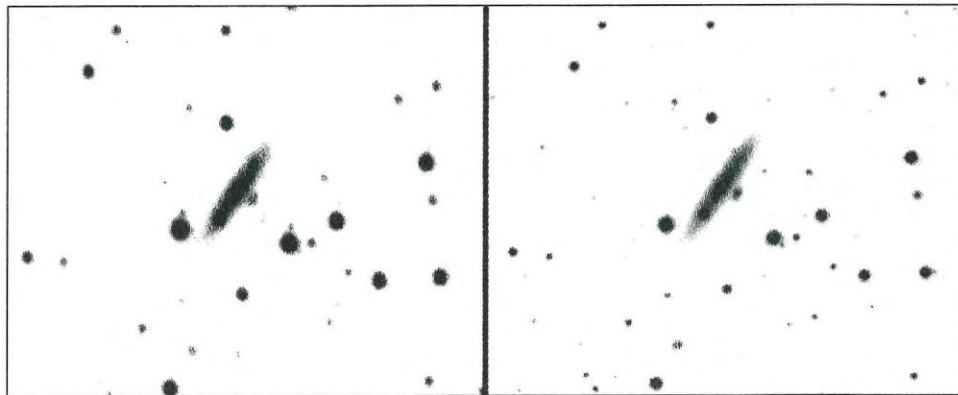
## Leáldozóban az adaptív optikák csillaga?

avagy a

## Seeing javítása speciális CCD kamerával

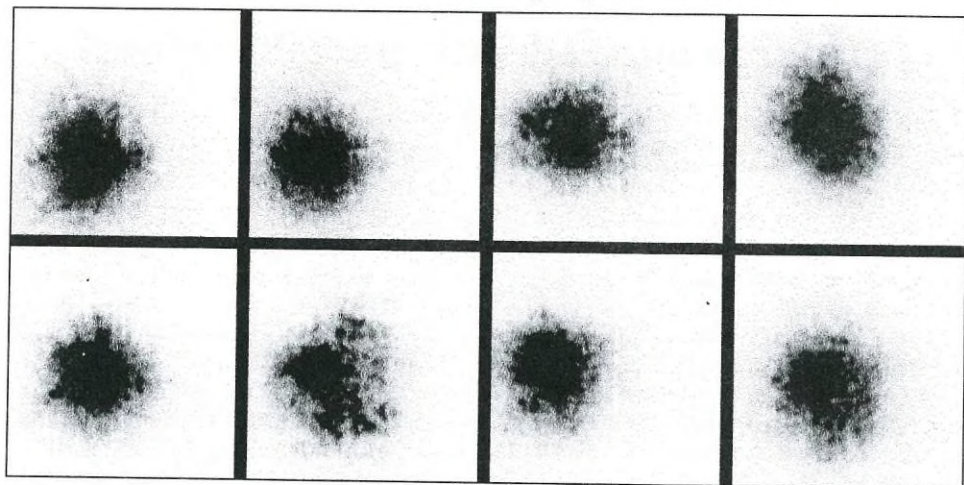
Nemrégiben egy újfajta CCD kamerát fejlesztettek ki, mely az Ortogonális Továbbítású CCD (Orthogonal Transfer CCD, OTCCD) elnevezést kapta. Az alapelv igen egyszerű, azonban ahhoz, hogy értékelni tudjuk, ismerjük meg előbb a „hagyományos” adaptív optikákat!

A problémát nem kell bemutatni, hiszen sokan láttunk már ide-oda ugráló, nagy pacává szétkenődő, majd a következő pillanatban összeugró csillag-, vagy bolygóképet az okulárban. Példaként két képet is szeretnék bemutatni, hogy mit is jelent a rossz seeing. Az első képpárt Kiss László és Sárnecky Krisztián készítette Piszkésetőn, a 60 cm-es Schmidt-távcsővel (1. ábra). A bal oldali kép egy olyan éjszakán készült, amikor a 20 cm-es vezetőtávcsővel a Szaturnusz nagy, hullámzó golyónak látszott, és a gyűrű egyszerűen szétfoslott, nyomát sem lehetett látni a szétkenődött bolygókorong táncában. Egy nappal később már határozottabban jobb volt a helyzet, mint azt a jobb oldali kép is mutatja. Másik példánk szintén egy nagyobb műszerrel készült felvételsorozaton mutatja a Betelgeuse táncát (2. ábra). A felvételek azonos, néhány század másodperces különbséggel készültek, és a szegmensek sarkai a fókuszsíkból egybeesnek, vagyis a kép ugrálása valós, úgy, mint a „csillagkép” alakváltozása.



1. ábra

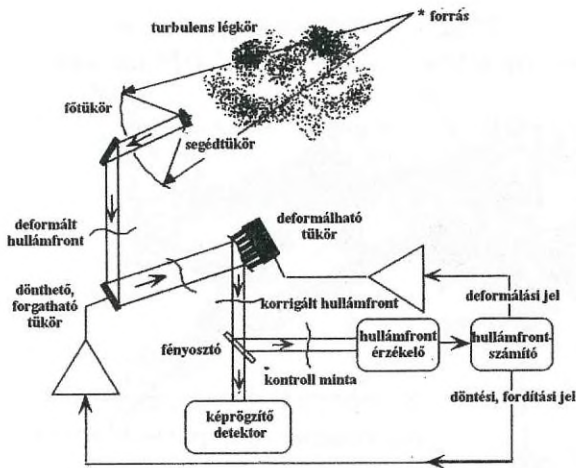
Mínél nagyobb távcsővel végezzük megfigyeléseinket, annál kifejezettebben jelentkezik az előbbi képeken bemutatott effektus. Egy 10 cm-es távcső sokkal gyakrabban mutat nyugodt képet, mint egy 30 cm-es — mondja az amatőrcsillagász tapasztalat. De a nagy obszervatóriumokban méteres távcsövek vannak, akkor azokkal soha sem lehet nyugodt képet látni? Valóban nem. Ezek a nagy távcsövek ugyan a Föld olyan pontjain találhatóak, ahol a legjobbak az észlelési körülmények, a levegő nyugodtsága is a lehető legjobb, de még ez is csak 0,8–1 ívmásodperces seeinget enged meg, aminél ezen távcsövek feloldóképessége jóval nagyobb. Egy pillanatra álljunk meg, és tisztázzuk a seeing, illetve a feloldóképesség meghatározását, mértékét.



2. ábra

A CCD rovatban már láthattunk egy ábrát, mely a digitális felvételeken a csillagok képének intenzitáseloszlását mutatja a képsíkban (ehhez hasonló az 5. ábra jobb alsó képe). Arról is volt szó, hogy ezt a „hegycsúcsszerű” felületet jó közelítéssel megkaphatjuk úgy, ha egy speciális matematikai formulával definiált görbét (pl. Gauss-görbét) megforgatunk a szimmetriatengelye körül. Ezt a görbét általában jól jellemzi egy paraméter, a félértékszélesség, vagyis a „hegycsúcs” vastagsága a magasság felénél. Egy adott optikával készítve egy felvételt, kiszámíthatjuk, mekkora a lépték a fókuszsíokban, vagyis hány ívmásodpercnek felel meg pl. a csillagok képének félértékszélessége; így kaphatunk egy ívmásodpercben kifejezett értéket, ami jellemző a légkör nyugodtságára.

A távcső feloldóképességét az objektív átmérője határozza meg. A jól ismert képlet szerint ívmásodpercben kifejezve a legkisebb feloldható szögtávolság  $13,8/D$ , ahol  $D$  az objektív átmérője cm-ben. (Természetesen a hullámhossztól is függ a feloldóképesség, nagyobb hullámhosszakra jobb — pl. infravörösben, amiről később szó lesz; illetve a központi kitakarás is hatással van rá.) Pl. egy 3,5 méteres távcső esetében ez mintegy 0,039 ívmásodpercnek adódik, ami 25-ször kisebb, mint a jó légkör által megengedett 1"-es seeing. Látható, hogy míg kis távcsövek esetében inkább az objektív átmérője, addig nagy távcsöveknél a légkör az, ami meghatározza a felbontást. De mi is történik tulajdonképpen? Mi az, ami zavarja a leképezést?



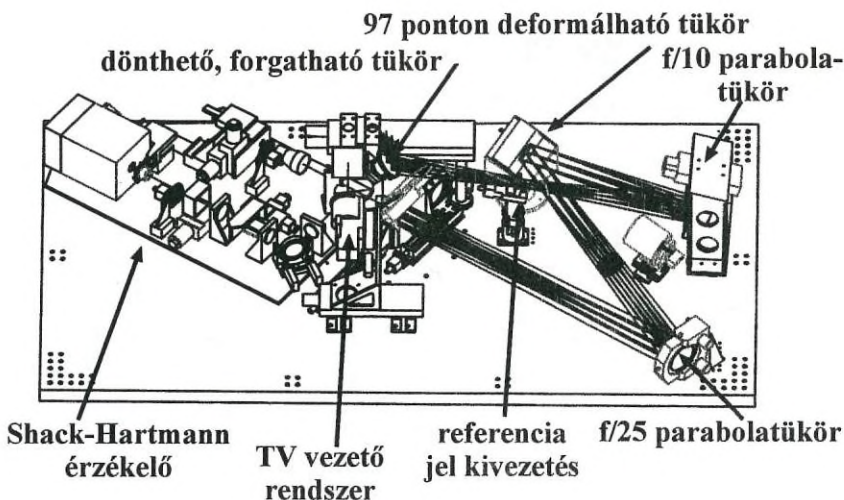
3. ábra

ba, hanem ún. turbulens cellák milliói kavarnak. Cellánként a hőmérséklet, a levegő sűrűsége, így törésmutatója is különböző; a cellák mérete erősen függ a légkör állapotától, az átlagos érték 10 cm körüli.

Képzeljünk el egy olyan hengert, aminek vastagsága megegyezik az objektív átmérőjével, és abból kiindulva a célobjektum felé mutat. Egy több méteres távcső esetén ezt a hengert valahol elvágva a keresztmetszet több száz cellát tartalmaz, míg egy kisebb távcső esetén csak egyet. Vagyis egy több méteres távcső esetén az objektív annyi apró „al-objektívra” bomlik szét, ahány turbulens cella található az előbb említett keresztmetszetben. Így a fókusz síkban a kép a több száz — tulajdonképpen különálló optikának tekinthető — résztávcső képének interferenciájaként áll elő. Az így kapott kép bizony messze van az ideálistól, mint ahogy ezt a 2. ábrán is láthatuk. Ráadásul a cellák helyváltoztatása, átalakulása, áramlása során századmásodperces időskálán változik a kép szerkezete és elhelyezkedése is. Hiába minden, egy 0,01 ívmásodperces kettős feloldásához úrtávcső kell — gondolták ezt egészen a 80-as évek második feléig, amikor is megkezdődött az adaptív optikák forradalma. Ma már többféle megoldása is van a légköri nyugtalanságot javító optikáknak. Mivel egyel már volt is szerencsém találkozni Calar Altón, és az ALFA elnevezésű egység felépítése a legelterjedtebb, így ennek kapcsán próbálom meg röviden bemutatni az adaptív optikák felépítését és működését.

A 3. ábrán látható a rendszer felépítésének elvi vázlata. A torzult hullámfront a távcső hagyományos optikai rendszerét elhagyva egy dönthető/forgatható tükörré esik, majd innen egy deformálható tükörré, és onnan a képet rögzítő egységre, azonban még ennek elérése előtt a fény egy részét kicsatolják egy bizonyos százalékban/hullámhosszon tükröző fényosztóval a hullámfront torzulását érzékelő detektorhoz. Ez egy igen nagy teljesítményű számítógéphez csatlakozik, mely szinte azonnal (0,001 másodpercnél rövidebb idő alatt) kiszámolja és továbbítja is a korrekcióhoz szükséges lépéseket, két részletben. Egyrészt a deformálható tükör piezoelektromos mozgatókú kis tüskéihez, melyek a megfelelő mértékben a megfelelő pontokon deformálják a tükör alakját; másrészt a dönthető/forgatható tükörhöz futnak a jelek.

A légkör különböző rétegeinek hőmérséklete eltérő, így ezen régiók között áramlások indulnak meg. A naplali besugárzás során a talaj felmelegszik, s éjjel tovább tartja a meleget, mint a gyorsan lehűlő magasabb légrétegek. Ezért a talajközeli melegebb levegő fölfelé áramlik, mint ahogy ezt (fokozottabb mértékben) jól megfigyelhetjük meleg nyári napokon az aszfalt felett elnézve, egy távoli tárgyat szemlélve. Csak hogy az áramlás nem egyenletes, nem vízszintes légrétegek emelkednek a magas-



4. ábra

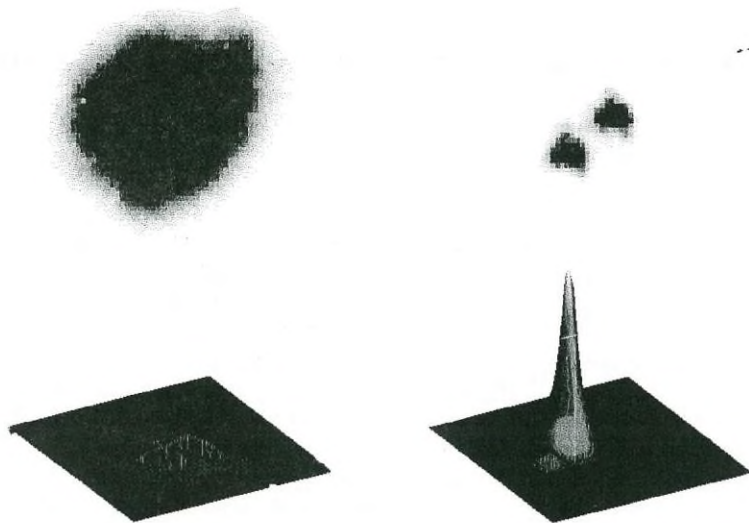
Az ALFA felépítési vázlatja látható a 4. ábrán. Már az igen „sűrű” rajz is sejteti, hogy nem egy egyszerű kis berendezésről van szó, de még így is csak elnagyoltan vannak berajzolva a legfontosabb alkatrészek. Élőben látni azt a sok tükröt, száloptikát, beállító mikrométert, csatlakozókat, érzékelőket, detektorokat, lézereket, és még ki tudja mi mindent — elég tiszteletet parancsoló látvány volt.

A több nagy tükröre azért van szükség, hogy a korrigált nyaláb ugyanoda fókuszálódjon, ahova eddig is szerelték a CCD kamerákat a 3,5 méteres távcsövön. (Az ALFA felszerelt állapotában is kiiktatható, ehhez elegendő két síktükröt elbillenteni.) A deformálható tükörnél általában 50–100 pontos alátámasztást alkalmaznak, az ALFA esetében 97-et, melyek segítségével mintegy 100 nm-es hibával tudják visszaállítani a hullámfront eredeti alakját. Mivel ennél a berendezésnél a hullámfront-érzékelő a kicsatolt vizuális tartományban működik, és a fényosztón áthaladó korrigált nyaláb az infravörös tartományba esik, pl. a 2,2  $\mu\text{m}$ -os hullámhossz mellett a 100 nm = 0,1  $\mu\text{m}$  pontosság igen jó eredményt sejtet. A tükör beállított alakját egy interferométer segítségével ellenőrzik (ez az f/10 és az f/25 parabolatükrök között helyezkedik el).

Az ún. Shack-Hartmann-érzékelő egy speciális CCD kamerát rejt magában, melyre 3x3 — 12x12 db szegmensre osztva vetíthető a kicsatolt nyaláb. Ez a CCD másodpercenként maximálisan 1200 képet olvas ki, igen kis zajszint mellett (6 elektron/pixel). A kamerát távirányítással lehet fókuszálni, ugyanis a végtelenből, ill. 100 km-es távolságból érkező sugarak fókuszpontja között 70 mm távolság van! A 100 km azért kitüntetett, mert ha nincs a megfigyelt objektum közelében egy elegendően fényes referenciacsillag, akkor lézeres „műcsillagot” alkalmaznak. A 3 W teljesítményű festéklézer fényét egy kis távcső segítségével az optikai tengellyel párhuzamosan küldik fel a magaslégkörbe, ahol 100 km-es magasságban egy nátriumban gazdag rétegben a lézerfény hatására egy világító folt keletkezik.

Az optikák beállítására és referenciajelként egy lézer optikai szállal a rendszerbe vezetett fénye szolgál (l. 4. ábra, referenciajel kivezetés), mely szinte tökéletes műcsillag, tekintve a szál magjának 3,6 mikronos átmérőjét.

A hullámfront torzulását, és ez alapján a szükséges korrekciókat egy speciális célszámítógép értékeli ki, mely a megkövetelt nagy sebesség miatt 20 db DSP-t (Digital Sign Processor = digitális jelfeldolgozó) tartalmaz! Ezek segítségével az igen bonyolult matematikai számításokat és optimalizálásokat, valamint a beállításokat 0,0007 másodperc alatt végzi el a rendszer (a Shack–Hartmann-szenzor 20 szubapertúráját használva).



5. ábra

A rendszer teljesítőképességét szemlélteti az 5. ábra, melynek bal oldalán a hagyományos, a jobb oldalán az adaptív optika alkalmazásával nyert képek láthatók. A felső sorban egy addig felbonthatatlan kettős szépen, tisztán kivehetően mutatja magát, míg alul egy csillag képének intenzitás-eloszlása látható a képsíkban: az igen lapos, szétkent Gauss-görbe igencsak kicsúcsosodik, jelezve ezzel a félértékszélesség, vagyis a seeing hatásának jelentős csökkenését. Egy számszerű adat: a hagyományos módon készített felvételeken mért 1,7 ívmásodperces seeing mellett az ALFA alkalmazásával a 0,24-es  $\phi$  UMA kettős bontható volt, másodpercenkénti 900 korrekció mellett...

Ennyit a lassan hagyományossá váló technikáról, bevezetésként és összehasonlítás-képp. A következő rovatban bemutatjuk az OTCCD-t, illetve röviden szó lesz ismét a kisbolygók fotometriájáról, bemutatva egy (technikai szempontból és a távcsőát-mérőt tekintve) igen érdekes és meglepő megfigyelést, valamint pár mondatban beszámolunk az eddig nyilvánosság elé nem tárt, igen sikeres Vértesi CCD-s Találkozóról, melyre 1998. szeptemberében került sor Várgesztesen.

FŰRÉSZ GÁBOR