



CCD technika

Sok „kicsi” sokra megy...

... tartja a közmondás, s ez a 21. század elejének csillagászati képrögzítésre is érvényes. A jelenlegi legnagyobb CCD-kamerák ugyanis nem egy hatalmas, hanem több kisebb csipből épülnek fel, bár itt a kicsi szót igazán árnyalt értelemben használhatjuk. Hogy miért? Erre egyszerű választ ad az alábbi rövid áttekintés, amely a jelen és közeljövő legnagyobb csillagászati detektorait mutatja be röviden. Legelsőként azonban említsük meg, hogy miért is van szükség a mozaikszerűen, több CCD-csip felhasználásával készített eszközökre!

A világ legnagyobb integrált áramköreinek is nevezhető CCD-k ugyanazzal a technológiával készülnek, mint minden más félvezető alapú „százlábú”. Ezen eljárás során egy szilícium hordozóra (ún. wafer) építik fel a bonyolult, sokrétű struktúrákat optikai levilágítással és különféle kémiai eljárásokkal. Az alkalmazott gépek és a technológia felső határt szab a hordozó méretére, ami ma 30 cm, bár a legtöbbit használt hordozók 15 cm-esek. A hordozó adta felületet igyekeznek minél jobban kihasználni, ugyanis a gyártás során nagy valószínűséggel előfordul bizonyos számú hiba. Ezek végtetesek lehetnek az IC működőképességét tekintve, azonban ha több száz áramkör helyezkedik el a waferen, akkor még a hibák ellenére is nagy százalékban készülhetnek hibátlan elemek. Amennyiben viszont egy nagy CCD foglalja el az egész hordozót, úgy nagy eséllyel lesz működésképtelen vagy csak egyszerűen sok hibával terhelt a csip. Vagyis egyetlen megfelelő minőségű érzékelő gyártásához sokat kell elkészíteni, ami nagyon megrágítja és gazdaságtalanná teszi az eljárást. (Gondoljunk csak bele, egyetlen kis hiba a kiolvasó regiszterben – ahol minden pixel tartalma áthalad a kiolvasás során – megakadályozhatja a kép letöltését az érzékelőből. Lehet hibátlan a struktúra mindenütt máshol, de mégis, ezzel az egész CCD hasznavehetetlenné válik.) Ezért a legnagyobb érzékelők nem haladják meg a kb. 50x50 mm-es méretet, ami 4096x4096 pixelnek felel meg. Az eddigi legnagyobb, egyben leggyártott CCD-t a Philips készítette. Az egyetlen, kísérleti darab mérete mintegy 11x9 cm, mely 7kx9k, egészen pontosan 7186x9216 darab 12 mikronos képpontot tartalmaz.

MegaPrime

A CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope) ma már eltörpül a Mauna Kea 8-10 méteres óriásai mellett. Ugyanakkor van valamű, amiben ez a távcső viszi el a pálmát: a MegaPrime elnevezésű CCD-kamera ugyanis a ma működő legnagyobb csillagászati detektor. Az észlelők számára 2003 januárjától elérhető eszköz, mint neve is utal rá, a 3,6 méteres teleszkóp primer fókuszában helyezkedik el. A Palomar-hegyi távcső mintájára készült műszerhez egy speciális tubusvégzáró gyűrűt készítettek, amely a

segédtükrök megszokott pozíciójától értelemszerűen jóval messzebb tartja ki a telefonfülkényi kamerát. A sík, nagy látómezőre korrigált fókuszfelületet előállító korrektor ugyanis tekintélyes méretű, s az elektronika, valamint a hűtőrendszer is sok helyet foglal. De szükség is van erre, hiszen majdnem egy A4-es lapnak megfelelő szilíciumfelület rejtőzik a berendezés mélyén. A 40 darab, 2048x4612 pixeles CCD alkotta mozaik (340 megapixel) 1x1 fokos látómezőt fed le az égbolton, 0,187 ívmásodperc/pixeles feloldás mellett (A Mauna Kea 0,7 ívmásodperces légköri nyugodtsága mellett ez kellő mintavételezést biztosít.) Általában az újhold körméki két hétben szerelik fel a MegaPrime-ot a CFHT-re, ahol a nagy látómezőt jó felbontással lefedő képrögzítési technikákat már régóta fejlesztik, csiszolgatják. A MegaPrime előtt ugyanis a CFH12K detektor 12 darab, az imént említettekkel azonos CCD-kből álló mozaik gyűjtötte a csillagfényt.

Említésre méltó még az az egyszerű kopstabilizáló rendszer, amivel a csillagok turbulencia okozta ide-oda ugrálását küszöbölik ki. Ezt a korrekciót egy páncsparallel kvarclemezzel 5 Hz-es döntögetéssel érik el, amely a fénynyalábot ± 1 ívmásodpercre téríti el. Miért nem adaptív optikát használnak? Egyrészt az adaptív optikák csak pár ívmásodperces látómezőre alkalmazhatóak – jelenleg. Másrészt azokban is a nagyléptékű képelmozdulást egy dönthető/billenthető tükrökkel (tip-tilt mirror) érik el, ami tulajdonképpen egyenértékű az imént említett lemezzel. (Az adaptív optikák deformálható tükrre az apró turbulens cellák által okozott, tulajdonképpen állandóan változó képsokszorozódásnak tekinthető hibát kompenzálja.)

A CFHT védelmében (merthogy hamarosan lebontani készülnek a műszert, l. Meteor 2003/12) érdemes megjegyezni, hogy a Mauna Kea óriási síncsenc felszerelve olyan CCD-kamerával, amely felvehetne a versenyt a MegaPrime hatékonyságával. A technikai szempontból talán vezetőnek tekinthető Subaru is csak egy 10 CCD-ből álló mozaikkal üzemel, amely szintén a primer fókuszba helyezhető, de az előbbihez hasonló feloldás mellett csak 34x27 ívperces látómezőt ad. (Természetesen ezt egy 8 méteres távcsőre szerelve, vagyis a határfényesség sokkal jobb, mint a MegaPrime esetében.)

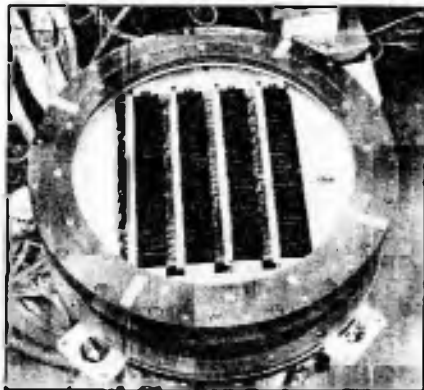


A MegaPrime CCD-mozaikja

QUEST

Képzékelő felületében ugyan a MegaPrime-nál kisebb, de a legtöbb CCD-ből álló és az égbolton legnagyobb területet lefedő kamera került nemrégiben a Palomar-hegyi 122 cm-es Oschin Schmidt teleszkópra. A QUEST a Quasar Equatorial Survey Team (Egyenlítői Kvazárfelmérő Csoport) kifejezésből kapta nevét, és a nem is olyan régen üzembe állított és igen eredményes NEAT kamerát váltotta le. A NEAT nevével sokat találkozhattunk, hiszen alig két éves működése alatt ezzel a kisebb (szintén mozaik) detektorral 189 földtől kisbolygót és 20 üstökösöt fedeztek fel, valamint a Quaoar, a Kuiper-öv jelenleg ismert legnagyobb tagját.

A NEAT helyét most egy 112 CCD-ből álló mozaik váltotta fel, minden reményt megadva a még eredményesebb kutatásra kisbolygók, szupernóvák és kvazárok után. A QUEST érzékelői 4 sorban helyezkednek el, s a soronként 28 darab 2400×600 pixeles (13×13 mikronos képpont méret) egység így 25×19 cm felületű. Ez a Schmidt optikai elrendezésnek és a speciális, sík fókuszfelületet biztosító korrekciós lencsének köszönhetően 4,6×3,6 foknak felel meg az égbolton. Az objektumok követése helyett a kisbolygókereső programoknál már jól bevált ún. TDI módban használják a CCD-eket. A Time Delay Integrate (Időkésleltetéses Expozíció) mód azt jelenti, hogy az álló távcső fókusz síkjában a Föld forgása miatt folyamatosan sodródó kép sebességével olvassák ki a detektorokat, így egy adott objektum fénye mindig ugyanazt az elektron-



A 112 CCD-hál álló QUEST

csomagot növeli, csak a CCD más és más pixeleiben. Bizonyos idő elteltével a csip egyik széléről a kiolvasó regiszterig érnek a töltések, innen pedig a következő lépésben már a számítógép tárolóiba kerül az égbolt egy pixelnyi szelete. A tetszőlegesen hosszú csíkokat több színben is fel lehet venni, hiszen a kelet-nyugat irányban elhelyezett négy sor CCD-t különféle szűrőkkel lehet ellátni. Így a színindex alapján lehet kiválogatni a kvazár- és szupernóva-jelölteket. (Az SDSS kamerája és keresési módszere ezzel megegyező,) Meteor csillagászati évkönyv 2002.) A QUEST fő célja ugyanis a csillagszerű rádióforrások és a típusú szupernóvák keresése lesz, a jelenlegi legtávolabbi objektumoké és legtávolabbra levő távolság-indikátoroké, melyek segítségével a kozmológiai modelljeink tehetők próbára. A keresőprogram jelöltjeit az 5 méteres Hale-teleszkóppal elvégzendő megfigyelésekkel erősítik majd meg, s csak az így alaposan megválogatott célpontok kerülnek a 10 méteres Keck észlelőprogramjába. Kicsit talán bizarrnak tűnik a világ évtizedeken át legnagyobb távcsövének efféle alárendelt szerepe. Ugyanakkor szép példája ez a többlépcsős együttműködés annak, hogyan lehet a jelen óriásainak méregdrága távcsövidejét hatékonyabbá tenni, valamint elkerülni ezáltal a régebbi, kisebb távcsövek bezárását (ami sajnos manapság egyre általánosabb folyamat).

MegaCam

E kamerának két okból is helyet szántam e rövid ismertetőben. Az egyik, hogy nemrégiben, 2003 novemberének végén készültek vele az első felvételek. A másik ok, hogy e berendezés igen közel áll a szívemhez, illetve én állhattam igen közel a csillagászati műszertechnika ezen csodájához. A MegaCam ugyanis az arizonai 6,5 méteres MMT (Monolithic Mirror Telescope) Observatóriumban található, ahová nemrégiben egy multiobjektum spektrográf üzembe helyezése okán utaztam. Munkám megkezdése előtt pár nappal érkezvén tanúja lehettem a „first light”-nak, azaz a legelső csillagászati képek készítésének. 36 tudományos és 2 vezetésre használt CCD,

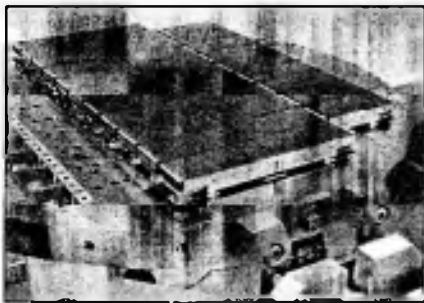
egyenként 4612x2048 pixel, pixelenként 13,5 mikronos méret, vagyis 350 millió képpont 24x24 ívperces látómező az MMT f/5-ös fókuszában – ez a MegaCam. Az eszköz leszerelésekor, ami a kisebb autónyi méretét és a kábelek százait tekintve egy fél napos munkafolyamat, volt alkalmam megtekinteni a 2 millió dollárt érő szilíciumlapkákat. Az egyenként 50 ezer dollárba kerülő csipek nem véletlenül ilyen drágák, hiszen az EEV cég szinte tökéletes, pixelhibamentes és egyeneses érzékenységgű (sima flat-field), valamint a maximális érzékenységnél majd' 94%-os kvantumhatásfokú csipeket szállított. Ezek a CCD-k nem kerülnek az IC-k szokványos százáblábú tokozásába, hanem egy nagyon kis hőtágulású invar tömbre ragasztják őket. Ráadásul a kiolvasó regisztert az egyik rövidebb élre teszik, s nagyon kis helyet elfoglalva a kiolvasó elektronikával a jelek az érzéklő felületére merőlegesen futó szalagkábelen jutnak az előerősítőbe. A többi három oldalon a csip pereméig pixelek találhatóak, a mozaik elkészítésekor így csak nagyon kis részek maradnak. Persze ezeket a részeket is be kell „tölteni”, vagyis egy szép, teljesen lefedett csillagászati kép elkészítéséhez három felvételre van szükség, melyek készítése között kicsit elmozgatják a távcsövet. Innen azonban még hosszú út vezet az akár 1x1 méteres méretben nyomtatható poszterig (fotóminőségben, 400 dpi-vel, ekkorára lehet nyomtatni egy MegaCam képet...). A csipek ugyanis kicsit el vannak fordulva egymáshoz képest, pár tized fokos az eltérés a mérések szerint. Így a részek lefedése céljából a kissé elcsúsztatott képek összcadása előtt pontosan meg kell határozni ezen eltéréseket, és az alapján minden CCD képet el kell forgatni és egy egységes koordináta-rendszerbe transzformálni. E mérést a csillagos égen, a MegaCam esetében az M67 asztrometriája segítségével teszik meg.

A következő probléma, hogy minden egyes csipben máshol van az alap jel-szint, és eltérőek az egyes CCD-k érzékenységei. Ráadásul egy CCD-n belül is két erősítő található a gyorsabb kiolvasás miatt, vagyis egy érzéklő képe is „kettéválílik” a feldolgozás előtt. (A 38 csip 76 erősítőjének köszönhetően azonban 40 másodperc alatt letölthető a teljes kép, s ha 2x2-es összevonást, ún. binning-et alkalmaznak, úgy 12 másodperc alatt kerül a winchesterekre a 700 megabájtos felvétel. Az átlagos seeing mellett ez utóbbi még mindig elegendő felbontóképességet biztosít.) Egy nyers képzet ezért nem lehet feldolgozás nélkül szépen ábrázolni, hiszen ha egy részkép fekete



„Egy vödörnyi homok”, kissé speciális elrendezésen – lélegzetelállító volt farkaszemet nézni 350 millió pixellel

háttere fekete és szépen látszanak az objektumok, akkor egy másik teljesen fehér vagy fekete téglalapként jelenhet meg a monitoron. Az ún. bias szintek és a világosképre történt korrekció után azonban gyönyörű, szinte felfoghatatlan részletgazdagságú kép tárul az ember szeme elé. Csak legyen számítástechnikai kapacitás mindehhez, ugyanis a feldolgozás során a képek mérete duplázódik, s a legtöbb művelet sok 1,4 gigabájtos képet kezel. Nem is beszélve a megjelenítésről, amuhoz nem árt a 2GB RAM. Reméljük, hamarosan a Meteorban is bemutatathatunk egy feldolgo-



A mozaikokhoz használt CCD-k tokozás nélkül, három oldalukkal teljesen szabadon készülnek

znt, színes felvétel az M81-ről.

A közeljövő két detektorát érdemes még megemlíteni, bár valószínűleg a nagy felületű mozaik CCD-k a 21. század távcsöveinek alapfelszereltségéhez tartoznak majd. A speciális optikai elrendezésű, háromtükörű DarkMatter, vagy ahogy újabban nevezik Large Synoptic Survey Telescope (Sötét Anyag Teleszkóp = Nagy Szinoptikus Felmérő Távcső) tervezett látómezeje 7 négyzetfok, és ezt az 55 cm átmérőjű felületet több mint 1000 darab 10 mikronos pixelméretű CCD-vel tervezik lefedni. A 8 méteres főtükör (a nagy központi kitakarás miatt mintegy 6,5 méteres effektív átmérő) 28 magnitúdós

határfényességet ad 6 órás expozícióval), s ha megelégszünk a 24 magnitúdós határral, akkor 4 éjszaka alatt a teljes égbolt leképezhető. Ez azonban még csak a jövő zenéje, a VLT Survey Telescope-hoz tervezett OmegaCAM azonban már hamarosan csillagfényt lát. A VLTST-nek ez lesz az egyetlen műszere, 10 éven keresztül fog hasonló célokat szolgálni a VLT 8 méteres óriásai számára, mint ami a fentebb említett Oschin-Hale-Keck szimbiózisban valósul meg. Maga az OmegaCAM szinte már a szokványos 32 darab 4kx2k CCD-t tartalmaz, 4x8-as elrendezésben (vagyis a teljes kamera 16kx16k). A 15 mikronos pixellekkel ez 260x260 mm felületnek, azaz a fókusz-síkban 1x1 foknak felel meg. Az átlag 30 perces expozíciók és az évi 300 derült éjszaka alapján extrapolálva egy év alatt 10 terabájt kalibrációs és 20 terabájt tudományos felvétel készül majd. Hiába, eljöttek a hosszú terabájtok éjszakái...

FŐRÉSZ GÁBOR

Belépési nyilatkozat

Kérem felvételemet a Magyar Csillagászati Egyesületbe **rendes tagként 2004-re** (a tagdíj összege 4800 Ft, illetmény: Meteor csillagászati évkönyv 2004 és a Meteor c. folyóirat)

Név:

Cím:

Szül. dátum: év hó nap

Telefonszám: E-mail:

A tagdíjat az MCSE postacímére (1461 Budapest, Pf. 219.)
kérjük feladni rózsaszín postautalványon!

M2004/1.