



# CCD technika

## Az AmaKam kamerák története

Szinte pontosan két évvel ezelőtt történt, amikor több amatőr barátom biztatására belefogtam egy hűtött CCD kamera fejlesztésébe. Célkitűzésünk: elérhető áron, jó minőségű kamerával ellátni az amatőrársadalmat, hogy a fantasztikus érzékenységgű eszköz a digitális képfeldolgozás áldásaival felvértezve helyet kaphasson a magyar amatőr távcsöveken. Hiszen volt a külföldi piacon jobb-rosszabb CCD, de eget verő áron. A baja Astrotech Kkt. vállalta a fejlesztés koordinálását és menedzselését. Az önbizalmam és a kedvem nagy volt, hiszen építettem már lineáris CCD-t, elektronikai mérnök vagyok, munkahelyemen pedig használok CCD kamerákat, 15 éve amatőröködm a távcső végénél, semmi probléma, két hét múlva kész lesz a kamera! Az elképzelések hamar körvonalazódtak: léghűtéses, egyfokozatú Peltier chiphűtés, 16 bites A/D konverzió, DOS alól futtatható kezelőprogram. A CCD érzékelők közül a Texas Instruments gyártmányú TC-255-re esett a választás. Frame-Transfer chip, így az exponálás elektronikusan vezérelhető, 324x243 db 10x10 μm aktív pixelt tartalmaz, így a képterület 3,2x2,4 mm, nem túl nagy, de nem is a legkisebb. A kvantumhatásfok viszont kiemelkedő, 100 beérkező fotonból 70 db elektron lesz a maximális érzékenységgű spektráltartományban, ami ráadásul pont a hidrogén-alfa sugárzás hullámhosszának közelébe esik.

Hát nosza! Rögtön első lépésként a chip beszerzésével zátonyra futottunk, kis mennyiségben egyetlen cég sem foglalkozik velünk. Végül nagy nehezen megtaláljuk a helyes utat, persze kissé többet kell venni, mint gondoltuk. A minőségből nem engedhetünk, így neves gyártó cég 16 bites Analóg Digitál konvertere kerül az elektronika szívébe. Amíg várjuk, hogy megérkezzenek az elektronikai alkatrészek, addig a mechanikai részeket kivitelezjük, és megírom DOS alá a kezelőszoftvert. Csak alapvető funkciókat tartalmaz: képletöltés és mentés a kameráról, szürke és hamisszínes paletta váltás, expozíciós idő msec-sec-perc egységben, valamint hisztogram kirajzolás és interaktív stretch. A CCD-chip hőmérsékletkijelzés igazi kényelmi funkció már. A program már jól fut 386DX gépen, 400 kB-ot foglal a DOS-memóriából, és csak 0,5 MB Vesa kompatibilis videokártyát igényel. Két hónap múlva egyszerre érkezik meg minden alkatrész. Hurrá hangulat uralkodik el rajtunk! Kissé tömpítja ugyan az örömet a kiadott több százezer forint, de hát kockázat nélkül nincs győzelem! Az elképzelés: Berakjuk a tokokba az IC-eket, ezt-azt kóregetek a panelen, és már rohanhatunk is ki a távcsőhöz... Hmm, elsőre se kép, se hang, egyre nagyobb aggodalommal bevetek mindent, amit egy elektronikai labor nyújtani tud. Többszörös leválasztott tápegységek, jelgenerátorok, feszültség és árammérők tucatjai, kétsugaras 100 MHz-es digitális tárolós oszcilloszkópok, PC-s emulátor, már minden paramétert külön-külön mérünk, de egyidőben, valami szörnyű állapotba kerülök minden nap, úgy hajnali kettő körül. Mindegy, hogy hétköznap van, vagy hétvége, derült az éjszaka vagy felhős. Csak a forrasztópáka van és az össze-vissza

random kóborló elektronok. Múlnak a hetek! a panel már úgy néz ki, mint egy sündisznó, mindenhol mérőpontok, plusz ráforrasztott lógó alkatrészek. Végül megszületik a hihetetlen eredmény: a Texas dokumentáció az, ami hibás. Kísérletezés kezdődik a vezérlőjelék és azok fázishelyzeteivel, végül egy éjjel a PC monitorán ott díszelg a tesztábra, persze miután túlvagyok a fókuszálás horrorján. Néhány napi tesztelés és kiderül a következő gond, nem megfelelő az A/D konverter. Egy paraméterre nem figyeltem eléggé a tervezésnél, nem tűnt túl fontosnak, az eredmény: a teljes A/D rendszert újratervezni, gyártatni. A régit, ami iszonyú pénzbe került, kidobjuk. Ismét várunk egy hónapot alkatrészeire. Megérkezik. Újabb gondok merülnek fel, ahogy egy problémát megoldunk és továbblépnénk, rögtön három másik kerül előtérbe. Fűrészből Gábor segít, ahol tud, de a dolog csak nem gurul. Végül '97 őszi hétvégén minden működőképesnek tűnik. Száguzok ki Érdre Lázár Józsefhez, nagy reményekkel és várakozásokkal szereljük a Starfire végére a kamerát. Az eredmény: fél óra múlva a CCD chip felületén milliméteres jégcsaptűk növekednek. Hiába a szilikagél, túl nagy a bezárt tér a kameratestben. A következő héten megindul a vákuumtechnikai továbbképzés: vákuum szilikonzsír, tiszta argon, négykilences nitrogén, különböző deszilikátor anyagok tucatjai jelzik a vérverejtékes utat. Végül már hetekig képes a kamera jéglefagyás nélkül működni.

Érdre kétnaponta ingázom esténként (jó az ég), fókuszálunk, objektumot keresgélünk és beállítunk (billenőtükör nélkül, ez nem LX 200!), képfeldolgozunk és fejlesztgetjük az elektronikát, még ezt meg azt, hogy jobb, szebb, gyorsabb legyen. Aztán úgy érezzük, most igen, most jó! Igaz, hogy két-három hetenként kell cserélni a szilikagélt, de már jó a kép. Gyerünk ki Agárdra, jobb ég alá! Kérünk, este 10 óra, -10 fok, tintafekete ég... otthon hagytam az okulártoldatot. 60 km oda, 60 km visszaút áll előttünk, vagy mégsem... A lelkesedés lobog bennünk. Villámgyors mozdulattal tépjük szét a Zenit alapobjektívet az M42 menetes gyűrű kedvéért. Flexibilis plasztikus rögzítés (szigetelőszalag) tartja a kamerát 3 centiméter vastagságban a távcső végén. Bekapcsolunk, hűtünk, jön a kép... A Pesten tökéletesen működő kamera értelmetlen, kusza zajt produkál csupán, próbálkozunk, talán a... vagy a... netalán a másik IC? Hajnalban elcsigázva térünk haza. A kamera otthon megint tökéletes. Sikerül a dolog nyitjára viszonylag hamar rájönni József felesége segítségével. Plusz a mosógépével. A dolog ugyanaz, mint Agárdon. A hálózatról szedjük össze a zajt. Hiába, az előerősítő ugye már 10  $\mu$ V-ot lát. Most mit tegyünk? Továbbképezem magam, könyvekkel fekszem, könyvekkel kelek, kondenzátor ide, kondenzátor oda, ferrit mag, toroid + bifilláris tekercselés. Elektromérnök kollégáim visítva menekülnek előlem, kérdéseim és problémás kapcsolási rajzaim elől. Végül egy szép derült este, Józseffel megyünk Agárdra, kipakolunk, bekapcsolunk, billenőtükörrel dolgozunk. És... minden működik! Jönnek a halvány galaxisok, a képeken 16<sup>m</sup> a hmg, minden megy könnyedén, szikrázik, ragyognak felettünk a csillagok. Végre! Aztán elgondolkozom, Istenem több mint egy év telt el! Aztán jön Berkó Ernő, aki a semmiből indulva példászerű kitarással fölénk nőtt. 10 cm-es lencséje nekünk soha nem sikerült mélységekbe vitte a hmg-t és a pontosságot. A kamera most pedig már jó úton, egyre finomodva fejlődött tovább, de mintha bennem csökkent volna a tűz. Mibe is került mindez? Pénzben, időben, energiában? Ebből micsoda kamerát is vehettünk volna? Persze a tapasztalatot, a tudást nem veheti el senki tőlünk, de én már eget akarok látni, CCD képeket készíteni, szupernóvát keresni, várni szívdobogva a mélykék esti eget, ma nincs Hold!... József, gyerünk Agárdra! A kamera: egy munka lett, már nem dobog

hevesebben a szívem, ha ránézek. Igen, most már jó. Már valóban nagyon-nagyon JÓ. De az átélt küzdelem az emberben marad. Ha valaki azt mondja nekem: István, fejlesztetek egy CCD kamerát ... azt mondom neki barátilag, teljes jószándékkal: NE!!!

Rengeteg idő, energia és pénz ráfordítása után az Amakam kamera mára kiforrott konstrukciónak mondható. Rengeteg fejlesztési szakutacát és tétutat kellett bejárni, ennek tudható be a kezdetektől eltelt két év. Sikertült megoldani a CCD chipre a hűtés során lefagyó víz problémáját, ami hosszú hónapokig kísértett minket.

## A Kamera

Egy 70 mm átmérőjű 140 mm hosszú, 650 g tömegű, hűtőbordákkal ellátott, matt fekete éloxált alumínium cső kameratestben kapott helyet az összes elektronika. A PC normál printer portjára csatlakozik egy 50x50 mm méretű kis interfészen keresztül a kamera, max. 10 m hosszú kábellel. A Peltier-elem áramstabilizátora egy 100x100 mm méretű hűtőbordákkal ellátott fémdoboz, ez a másik csatlakozó kábel, ami a kamerára kapcsolódik. Az összes tápfeszültséget az asztali PC tápegységéből nyerjük szabvány csatlakozón keresztül. Lehetőség van lappal való működtetésre is, de külső tápegység, autó akkumulátor szükséges, külön interfésszel. A kamera a távcsőre három módon csatlakoztatható: 2" Meade szabvány okulárkihuzatba direkt módon, vagy 1,2" okulárkihuzatba egy tartozékként adott közdarabbal, vagy a szabvány M42x1 mm menetű objektívek rátekerhetőek a kameratestre. A Peltier-elem a rászertelt CCD érzékelővel és a hőmérő IC-vel egy légmentesen lezárt néhány cm<sup>3</sup> térfogatú térben kapott helyet, egy kis mennyiségű szilikagéllal. A delta T = 25 °C, természetesen a külső környezeti hőmérséklethez képest. Méréseink szerint kb. 10 perc intervallumban a hőmérséklet pár tized fokra állandó, ez a stabilizált hűtőáram miatt van így. A lezáró ablak mindkét oldalán többszörös visszaverődésgátló réteggel (MC) ellátott plánpáralel optikai üveg. Az Analóg Digitál konverzió valódi 16 bites, 65 000 dinamikával, ez nem kis részben a hardveresen megoldott kétszeres mintavételnek köszönhető. (Akinek ismerősebb az angol megfogalmazás: CDS = Correlated Double Sampling). Az ADU érték, azaz az elektronika átalakítási faktora 1 foton/elektron. Az elektronika kiolvasási zaja 25–30 elektron körül van. A képletöltési idő függ a PC-től, de mindenképpen 10 s alatt van, tipikusan 6–7 másodperc. Mivel fókusztáláshoz még ez a viszonylag rövid idő is kellemtelenül hosszú lehet, (aki próbált Meade-kamerát fókusztálni, tudja miről beszélek), ezért beépítésre került egy (második) gyors, 8 bites A/D konverter, amely fókusztáláshoz a kameráról a PC-nek. Fókusztáláshoz automatikus az expozíciós idő váltás. A fókusztáláshoz és objektumkereséshez-beállításához billenőtüköröt javasolok a kamera elé, például az Almási Csaba vagy Rózsa Ferenc által fejlesztettet. A kamera teljes DC/DC leválasztással van ellátva, a digitális jelek pedig optocsatolókkal galvanikusan leválasztottak a PC-ről, így a kamera érzéketlen a külső elektromos zajokra. (Ez sokkal drágább kameráknál sincs mindig így!).

A tartozékként adott DOS alatt, illetve Windows 3.x/95 alatt teljes képernyős alkalmazásként futó vezérlőprogram 500 Kbyte memóriával megelégszik, és ez már tartalmazza a Dark kép memóriapufferét is. Kijelzi a CCD chip hőmérsékletét tized C fokra, és az alkalmazott paletta két hamisszínes (pseudocolor) vagy szürkeszíntek (gray) közül választható. Az expozíciós idő msec–sec–min léptékben választható tetszőleges értékre. Az exponálás után a képletöltést követően grafikus hisztogramot ad a képről automata stretch-csel, de tetszőleges hisztogramvágás is kijelölhető és

elvégezhető. Szintén ekkor lehet kivonni az előzőleg készített és eltárolt Dark képet, majd utána menteni a képet .FITS vagy .ST6 formátumban. Egy önteszt menüpont egészíti ki a szoftvert még, de ezen felül más képfeldolgozási eljárást nem tartalmaz, a képek utólagos feldolgozására speciális programokat javaslok, például a Lázár József által fejlesztett CCDMaster-t. Ez a program Linux/Windows alól futtatható, ráadásul tartalmazza a kameradrivert, azaz az exponálás és képletöltés csupán egy menüpontra kattintást jelent. A mentési formátumokat sok más 16 bites képfeldolgozó program támogatja, pl. a Sky & Telescope, vagy Astronomy lapjairól jól ismert MaximDL, vagy Imagine 32.

A kamerával készült mély-ég felvételek hmg-je, a változócsillag-, kisbolygófénygörbék felbontása és stabilitása talán bizonyítja, hogy jó minőségű kamerát tudunk a magyar amatőrök kezébe adni, kb. egyharmad áron, mint hasonló nyugati eszközök esetén. A kamerákat az Astrotech Kkt. forgalmazza, érdeklődni Hegedűs Tibornál lehet. A továbblépést a MidiKam kamerák jelentik jelenleg. Ezek gyakorlatilag ugyanazt a szolgáltatást nyújtják, mint az Amakam, csak nagyobb pixel és aktív képmérettel (természetesen magasabb áron), az alábbiak szerint:

**Amakam:** Texas TC-255: 1/3" chip 324x243 db 10x10 µm pixel, 3,2x2,4 mm aktív képterület;

**Midikam1:** Texas TC-245: 1/2" chip 377x242 db 17x19,7 µm pixel, 6,4x4,8 mm aktív képterület;

**Midikam2:** Texas TC-241: 2/3" chip 377x244 db 23x27 µm pixel, 8,7x6,6 mm aktív képterület.

Plusz felár ellenében, nagyobb kameratesttel, lehetőség van két fokozatú Peltier hűtés beépítésére  $\Delta T = 40^\circ\text{C}$  értékkel, hőmérsékletstabilizált kivitelben.

## A jövő

Elkezdjük egy 1000x1000 pixeles 12x12 mm aktív képterületű, többfokozatú Peltier hűtésű kamera tervezését és fejlesztését. Az eredmények a Meteor lapjain olvashatóak lesznek.

PAPP ISTVÁN

## Hátsó belső borítónk CCD felvételei: galaxisok a tavaszi égen

Balra fent: **M99 (Com)**, 1999.01.3. 03:05 UT, 5 p. expozíció; jobbra fent: **M106 (CVn)**, 1999.01.22. 23:28 UT, 5 p. expozíció; középen: **M98 (Com)**, 1999.01.23. 02:58 UT, 5 p. expozíció és **M64 (Com, Feketeszem-galaxis)**, 1999.01.22. 04:40 UT, 5 p. expozíció. Balra lent: **NGC 4038+4039 (Crv) galaxispár (Csáp-galaxisok)**, 1999.01.22. 02:30 UT, 5 p. expozíció, jobbra lent: **NGC 5905+5908 (Dra) galaxispár**, 1999.01.23. 04:36 UT, 5 p. expozíció.

Valamennyi felvétel a Pizskés-tetői obszervatórium 60/90/180 cm-es Schmidt-teleszkópjával készült, Photometrics CCD kamerával (14 bit, 1536x1024 pixel).