



CCD technika

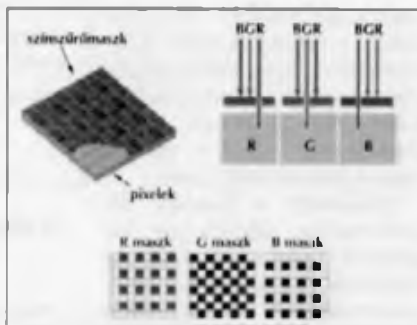
Van új a pixel alatt

A digitális érzékelők világában tünetlen a fejlődés íve, szinte hétről hétre látnak napvilágot az újabb és újabb CCD- vagy CMOS-érezékelők, eddig ismeretlen technikákat alkalmazva. Vagyis van új a nap alatt. A pixelszámot ma már megdöbbenés nélkül fejezzük ki milliókban, talán csak az okoz kis meglepetést, ha egy tucatnál több milliót emlegetnek valahol. Bár talán már az sem, hiszen profi fotósok körében a szinte a 6x6-os filmformátummal is versenyképes 22 millió képpontos digitális háttfalak kereskedelmi forgalomban bármikor beszerezhetőek. Persze még kissé borsos áron, de pár éve még a 6 megapixelés digitális fényképezőgépek is elérhetetlennek tündek, ma pedig 2000 euró körül mozog az áruk, s ez filmes társaikkal összemérhető (alig másfélszeres faktor választja már csak el a két technológiát). Hogy miért beszélék, illetve írunk digitális fényképezőgépekről? Hiszen azokban nincs hűtés, nem csillagászati célokra készültek, s a sötétáram, a zaj megöli a halvány objektumok képét. Hűtött fényképezőgépek valóban nincsenek. De van-e ott zaj, jelentős mértékű-e? A válasz egyre inkább a „nem”-hez közelít. Következő cikkünkben erről szeretnénk beszélni, bemutatni, mennyire használhatók a mai digitális fényképezőgépek asztrotrofotózásra. A „következő cikk” megnevezés ne bizonytalanítson el senkit, a rovat hosszabb hallgatásáért utólagosan is elnézést kér a rovatvezető, és mentegetőzés helyett inkább újabb információkkal, írásokkal szeretne szolgálni. Íme legyen itt az első néhány kis színes, szó szerint, nézzük meg, mi újság a kis színes képpontok világában!

Háromdimenziós képrögzítés?

Mint a CCD-alapismeretekben ismertettük, a digitális érzékelők képpontjai, a pixelek nem képesek különböző színű fotonok megkülönböztetésére. Pusztán egy foton beérkezését érzékelik, annak hullámhosszát – vagyis a színt – nem. Legalábbis a hagyományos detektorok esetében. Egy cikkben beszámoltunk az STJ-kről, a „sajnos túl jó” detektorokról (Superconductive Tunnel Junction – félvezetőkben fellépő alagút effektus), melyek mégiscsak képesek a hullámhossz meghatározására. Rövid ismétlésként csak annyit, hogy egy hagyományos CCD-ben a legjobb esetben 1 foton 1 elektront kelt. (Ekkor 100% a hatásfok, amit egy bizonyos hullámhosszon vagy szűk tartományban tudnak is az érzékelők, de általában elmondható, hogy egy elektron kelléséhez 1 vagy néhány foton szükséges. Az STJ-kben a -260 °C környéki hűtésnek, a létrehozott mágneses térnek és alkalmazott speciális anyagoknak köszönhetően azonban egy beérkező foton nem egy, hanem számos elektront kelt, s ezen elektronok száma arányos a beérkezett foton hullámhosszával.) Vagyis ha biztosítjuk, hogy egy pixelre egy pillanathban csak egy foton érkezzék, akkor a pixelből kiolvasott jel nagysága adja a foton színét.

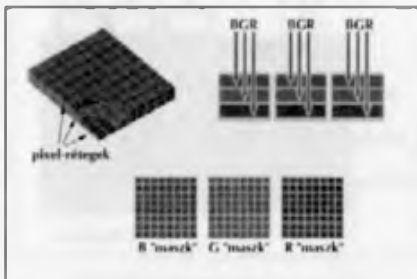
Természetesen a színes CCD-k nem így működnek. Azokban egymás melletti pixelek színszűrő maszkokkal vannak ellátva (l. 1. ábra), s általában 2x2 pixel fényességértékeiből állítható elő egy színes képpont. Emek egyik hátránya, hogy a pixelméret által meghatározott fizikai feloldóképességnél rosszabb feloldást kapunk. Másik – a csillagászati alkalmazásban kevésbé előforduló – hiba, hogy sűrű, periódikus mintázat esetén Interferenciajelenséget figyelhetünk meg. Ez az ún. Moiré-mintázat csak akkor kerülhető el, ha egyetlen képpontban mindhárom alapszín érzékelésére/megjelenítésére lehetőség van. Vagyis míg analóg fotográfiában, hagyományos fotókon nem tapasztalhatunk ilyet, addig digitális fényképezésben vagy egy kép monitoron történő megjelenítéskor óhatatlanul szembekerülünk e problémával.



1. ábra. Színszűrő maszk elhelyezkedése és szerepe egy hagyományos érzékelő esetén

Ma már azonban létezik olyan digitális érzékelő, melyben a színérzékelés nem egymás melletti, hanem a színes filmekhez hasonlóan egymás alatti rétegekben történik. A Foveon nevű cég egy éve, 2002 februárjában jelentette be X3 jelzésű szenzorának kifejlesztését, mely az első „háromdimenziós” színes digitális érzékelő. A három dimenzió azt jelenti itt, hogy a képi információ egy felületen történő rögzítése mellett a színek nem e felület felosztásával, hanem egymás alatti rétegek elhelyezésével, vagyis egy újabb dimenzió megnyitásával rögzülnek (2. ábra).

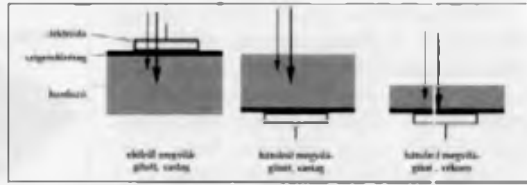
A működési elv tulajdonképpen nagyon egyszerű. A jelenség, miszerint a különböző hullámhosszúságú fénysugarak különböző mélységben nyelődnek el egy pixelen belül, már régóta ismert. Ez vezetett a hátulról megvilágítható detektorok elvékonyításának kifejlesztéséhez is. Az első csillagászati CCD-eket ugyanis vastag alaprétrege (hordozóra) építették, ez mechanikai szilárdságot adott és viszonylag egyszerű volt az elkészítés módja. Csakhogy ha egy ilyen detektort az elektródákon át világítunk meg, akkor azok fényelnyelése miatt csökken az érzékelés határfoka (ún. frontside CCD, l. a 3. ábra bal oldalán). Ha azonban ezt elkerülendő hátulról világítjuk meg a CCD-t, akkor a vastag hordozóban az elektródától túl nagy távolságban történik az elnyelődés. Ekkora távolságból az elektróda nem képes hatékonyan összegyűjteni a fotonok által keltett elektronokat, azok nagy része elveszik, s végeredményképp a határfok ismét csak csökken. A hordozó elvékonyításával azonban mindezek a problémák kiküszöbölhetőek (l. a 3. ábra jobb oldalán, az ún. thinned backside CCD-t). Csakhogy az el-



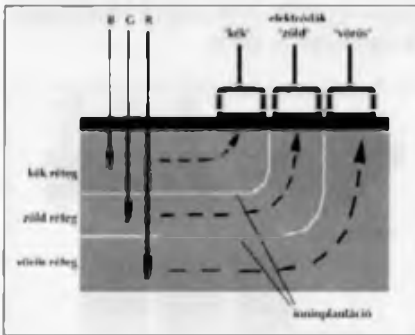
2. ábra. A Foveon X3-as színérzékelése

vékonyítás nehezen kivitelezhető, s a vékony hordozó igen sérülékeny. Ilyen detektorokat csak nagyon körültekintően szabad hűteni, kezelni, amatlórsillagász korokban emiatt nem is igen használatosak.

Visszatérve a Foevon X3 szenzorához, nézzük meg, az előbbiek alapján hogyan is működik! A 4. ábrán egy pixel keresztmetszeti képe látható, a 3. ábra egy-egy pixeléhez hasonlóan. A hordozó anyaga azonban nem homogén, bizonyos mélységeken egy ún. ionimplantációs zónát helyeznek el a hordozó szilíciumkristály növesztése során. Ezek a zónák negatív töltésűek, vagyis egy elektron számára kedvezőbb az ionzónák között maradni. Mivel a zöld fotonok mélyebbre hatolnak a hordozóba, mint a kék, ezért a keletkezett „kék fotoelektronok” és „zöld fotoelektronok” nem tudnak keveredni, egy elektronokat taszító ionréteg akadályozza ezt meg. Két, megfelelő mélységben elhelyezett ionréteggel a kék, zöld és vörös fotonok keltette elektronok szeparálhatók. Most már csak ezek külön-külön összegyűjtéséről és elvezetéséről kell gondoskodni. Az ionrétegek megfelelő kialakításával (4. ábra) és egy pixelen belül három elektróda alkalmazásával ez megoldható, s innentől már minden a hagyományos CCD-k működésével egyezően történik.



3. ábra. Kék és vörös fény elnyelődése előlről és hátról megvilágított CCD-ken



4. ábra. A Foevon X3 felépítése

tegségei. A zaj egyelőre magasabb, mint a CMOS szenzorokban, és a telépítésből adódóan a színegyensúly sem tökéletes. Tekintsünk csak a 4. ábrára, amely azt mutatja, hogy kék tartományban tulajdonképpen egy hátról megvilágított szenzorunk van, míg vörösben egy hagyományos, elölől megvilágított. Vagyis, mivel a kék fotonok nem, a vörösek nagy része viszont áthalad elektródákon, így kékben érzékenyebb a detektor. Igaz, ezt némiképp ellensúlyozza a kék réteg kisebb hasznos felülete, azonban nem teljesen.

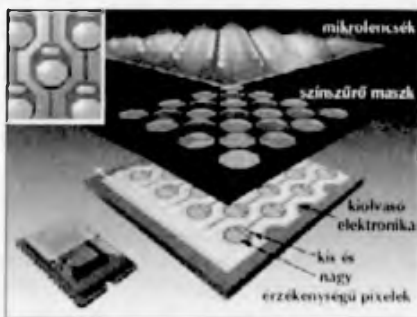
A Foevon szenzorát már egy kereskedelmi forgalomban is kapható digitális kamerába építették. Az objektívjeiről ismert Sigma egy 3 millió képpontos X3 érzékelőt helyezett saját fejlesztésű vázába, s igen versenyképes áron dobta piacra a termékét 2002 végén. Gondolhatnánk, 3 megapixel nem is sok manapság, azonban bizonyos értelemben ez a gép 9 megapixelesnek tekinthető. Képmínőség tekintetében más, 6 megapixeles gépekkel összevetve egyértelműen nagyobb feloldást biztosít, s a képeken nem jelentkezik a nagyon zavaró Moiré-jelenség sem. Természetesen, mint minden új technikának, ennek is megvannak a gyermekbetegségei.

Szinte bizonyos, hogy ezen „hibákat” hamarosan kijavítják a fejlesztő mérnökök, s pár év múltán csak ilyen felépítésű detektorokat találunk a digitális kamerákban, talán még a csillagászati CCD-kamerákban is. Mert a mai 6 megapixeles gépek, amelyek versenytársaként jelent meg a Sigma gépváza, bizony, nagyon alacsony zajszintjük miatt alkalmasak csillagászati célokra is, hűtés nélkül. Egy 2000x3000 képpontos színes Orion-kód felvételt nem kis küzdelem 500x750-es vagy még kisebb pixelszámú kamerák kepeiből mozaikszerűen összerakni. Nem is beszélve arról, hogy minden színben külön felvételeket kell készíteni, míg színes digitális kamerák esetén már egyetlen kép is színeket ad. De minderről bővebben a következő alkalommal szólnunk.

Szuper CCD szuper dinamikával

A Fuji SuperCCD már eddig is külön volt a maga hatszögletes pixeleivel. Ezen képpontok méhsejtszerű elhelyezkedése ugyanis lehetőséget ad arra, hogy egy megegyező pixelszámú, de négyzetes pixelekből felépített érzékelőnél kicsit finomabb feloldású képet állítsunk elő, szoftveresen. Így pl. egy 6 megapixeles szuper CCD 12 millió ponthoz álló képet is adhat. A Fuji nemrégiben bejelentett negyedik generációs szuper CCD detektorát, melyben nemcsak hogy hatszögletesek a pixelek, de egy pixel igazából két pixel, egy kicsi és egy nagy. Az 5. ábrán látható a legújabb CCD felépítése.

A hatszögletes pixelek közötti elektronika terkitöltése csökkentené a hasznos felületet, azonban egy a pixelek és a színzűrő maszk fölő helyezett mikrolencsemátrix segítségével egy-egy pixel valós (tehát az elektronikával együtt értendő) területére beérkező összes fényt az adott pixel fényérzékelő felületére vetítik. Ebből pedig immáron kettő van, az ábrán is látható módon. Mire jó mindez? Az emberi szem logaritmikus, vagyis nagyon nagy intenzitáskülönbségeket képes egyszerre megfigyelni. A CCD-k linearitása (ami egy képen lévő objektumok pontos tényesség összehasonlításához, pl. csillagászati totometriához elengedhetetlen) és digitális képek általánosan színcsatornánként csak 256 szintes ábrázolása (LCD panelen, monitoron, nyomtatásban) nem kedvez a nagy intenzitáskülönbségek visszaadására. Míg pl. egy napsütötte hőmező előtt lévő arcon szabad szemmel látunk részleteket, addig digitális – de akár hagyományos – géppel felvételt készítve vagy az arc lesz sötét és a háttér részletei megmaradnak, vagy a háttér beég és az arc vonásai láthatóak. A CCD-k nagy dinamikai tartománya lehetőséget ad a képek nem lineáris, hanem logaritmikus skálázással történő megjelenítésére, de a detektálás folyamata lineáris. Sokszor a fotoemulzióknál majd' 100-szor szélesebb dinamikai tartomány sem elegendő a szélsőséges intenzitásvizonyok arányos rögzítésére. A beégelt pixeleken már az utólagos, szoftveres skálázás sem segít, illetve az alig megvilágított pixelek zaját sem lehet utólag csökkenteni.



5. ábra. Negyedik generációs szuper CCD

A Fuji a dinamikai tartomány további növelését úgy oldotta meg, hogy egy pixel területére két pixelt építettek. Az egyik kis méretű és kis érzékenységű, a másik nagy méretű és érzékenyebb. Ha az utóbbi telítésbe is megy a túl erős megvilágítás miatt, a kisebb pixelben – érzékeltlenebb lévén – még mindig a megvilágítással arányos jel gyűlik. A kiolvasáskor eldönthető, hogy egy szuperpixelnél szükség van-e a kis méretű pixel információjára vagy sem. A 6. ábrán látható példa mutatja az ötlet eredményességét. A napsütötte udvar helyes exponálásakor az előtér túl sötét volna. Ha mégis erre az előtérre állapítjuk meg az expozíciós időt, az udvar képe beég. Az új szuper CCD esetén azonban nyugodtan exponálhatunk a sötét előtérre: azon részlet képét a nagyobb, míg a világos udvar képét a másik, kisebb és érzékeltlenebb pixelek felhasználásával állíthatjuk elő.



6. ábra. A szuper CCD egy képe valójában két kép összege

A szuper CCD-nek a csillagászatban kevesebb szerep fog jutni, a hétköznapi életben azonban valószínűleg annál több. Mindenesetre talán volt nem haszontalan bemutatni ezen újdonságokat.

FŐRÉSZ GÁBOR

Felhívás aktív CCD-s amatőrökhöz!

Hosszú évtizedek óta működik egy lelkes, profi és amatőr csillagászok által életben tartott nemzetközi szervezet, az IAPPP (International Amateur-Professional Photoelectric Photometry), amely a változó fényű égi jelenségek minél átfogóbb, minél precízebb tanulmányozását tűzte ki céljául. Az IAPPP hazánkban működő szárnya a Hungarian Wing (IAPPP HW). Többek között ez a szervezet is segítette a professzionális csillagászat által is felhasználható magyar amatőr fotoelektronos mérési tevékenységet a 80-as években. Részen ennek is köszönhetően lendülhetett fel a CCD technika hazai alkalmazása a csillagászati fotometria területén.

Egy átfogó beszámoló elkészítéséhez kérjük a témában aktívan működő valamennyi hazai amatőr csillagászt, hogy közölje a tevékenységével kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat! Érdekes lehet az évek óta aktívan CCD-ző amatőrök jelentkezése épp úgy, mint a készítés alatt álló CCD-kamerákról szóló beszámolók! 1-2 olyan (feldolgozott vagy nyers) CCD-kép mellékelését is várjuk, amire készítjük a legbüszkébb! Az adatközlésre a www.bajaobs.hu honlapról letölthető furmányomtatvány használható. Ha valaki ismer a környezetében további aktív, sikeres CCD felhasználót, az juttassa el hozzánk mások főbb adatait is, hogy minél teljesebb legyen az áttekintő felmérés! Köszönjük!

HEGEDÚS TIBOR