

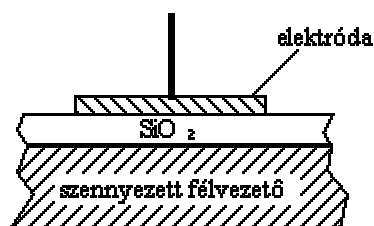
CCD kamerák

A CCD kamerák alapelvét még 1970 táján fejlesztették ki a Bell Laboratóriumokban. A kutatás eredményeként olyan eszközöket készítettek, melyek ún. MOS (Metal Oxide Semi-conductor, Fém-Oxid Félvezető) alapú kondenzátorokat használtak föl analóg jelek, különböző nagyságú töltéscsomagok tárolására. Ezekből a kis tárolókból több ezer darabot tudtak elhelyezni egy parányi félvezető-lapocskán, s ezeket egy kiolvasó áramkörrel összekötve memóriaegységeket, optikai érzékelőket alkottak.

CCD alapismeretek

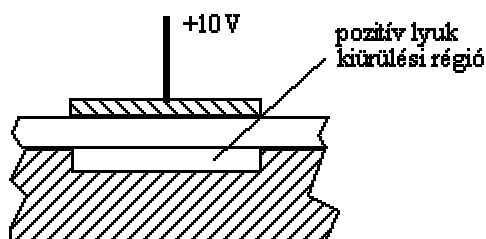
A MOS tárolóegység:

Egy ilyen kis tároló három alapvető részből áll: szennyezett félvezető alapréteg, szigetelő zóna (általában szilícium-dioxid), elektróda.



A szilícium alapréteg vezetési tulajdonságát a tiszta Si kristály szennyezésével lehet befolyásolni. A szilícium négy vegyértékelektronnal rendelkezik, melyek a kristályrácsba épülve kötéseként létesítenek a szomszédos atomok szabad elektronjaival. Így minden atom 4 másikkal kapcsolódik össze, s a kötést 2-2 elektronból álló párok alkotják. Ha a kristály kialakításakor három vegyértékelektronnal rendelkező atomokat juttatunk a szilíciumok közé, akkor ezek kapcsolódásakor csak három teljes értékű kötés alakul ki. A szabadon maradt elektron mellett egy, a környezethez képest "pozitív töltésű lyuk" jelenik meg. Ekkor beszélünk P-típusú, pozitívan szennyezett kristályról. Ha nem három, hanem öt külső elektronnal rendelkező atomokkal szennyezzük a kristályt (pl. arzén), akkor kialakul mind a négy teljes értékű kötés, de marad egy szabad, "fölösleges" elektron. Ekkor N-típusú, negatív szennyezésről beszélünk. A szennyezésre azért van szükség, hogy a kristályrácsban elektromos vezetés jöjjön létre. Egy P-típusú félvezetőben egy elektron áramlása (megfelelő mozgató erő, pl. elektromos mező hatására) valahogy úgy képzelhető el, hogy "helyet cserélget" a pozitív lyukakkal.

Ha egy P-típusú egységet veszünk, s az elektródára pozitív feszültséget kapcsolunk, akkor a félvezető rétegben a Si-SiO₂ határéteg közeléből eltávolodnak a pozitív lyukak az elektródára kapcsolt pozitív feszültség taszítása miatt. Ezt a zónát nevezzük pozitív lyuk kiürülési régióknak.



A kristály kovalens kötésben lévő elektronjai ugyanis szabadabbá válhatnak az egymással való ütközéseik közben szerzett plusz energiával. (Ez természetesen nagyobb hőmérsékleten valószínűbb, hisz akkor több ütközés zajlik le.) Ilyenkor elektron-lyuk párok keletkeznek, amelyek szétválasztódnak az elektromos mező hatására, s az elektronok fölgyülemlenek közvetlen az elektróda "alatt", az ún. inverziós rétegben. Ez előbb-utóbb egy egyensúlyi állapotot eredményez. Az ezt kialakító effektust sötétáramnak nevezünk, mely néhány másodperc vagy néhányszor tíz másodperc alatt zajlik le. A kiegyenlítőidő erősen függ a hőmérséklettől, és a félvezető anyagi minőségétől.

A fényérzékelésre használt eszköz azonban csak egyensúlytalan állapotban képes ellátni feladatát, amikor is a beérkező fotonok hatására szakadnak fel a kötések a kristályban. A fotóeffektus hatására a beérkezett fény mennyiségével arányos nagyságú töltés halmozódik fel az inverziós rétegben. Az összegyűlt töltés nagyságát megmérve következtethetünk a beérkezett fény mennyiségére. Azonban a mérés csak akkor lesz pontos, ha a megvilágítás ideje alatt (ez az ún. integrációs idő, ami a hagyományos expozíció megfelelője) a töltéscsomaghoz hozzáadódó sötétáram-elektronok száma elhanyagolható. Ezért szükséges a kiegyenlítőidő elnyújtása, azaz a sötétáram csökkentése, melynek legjobb módja a hűtés.

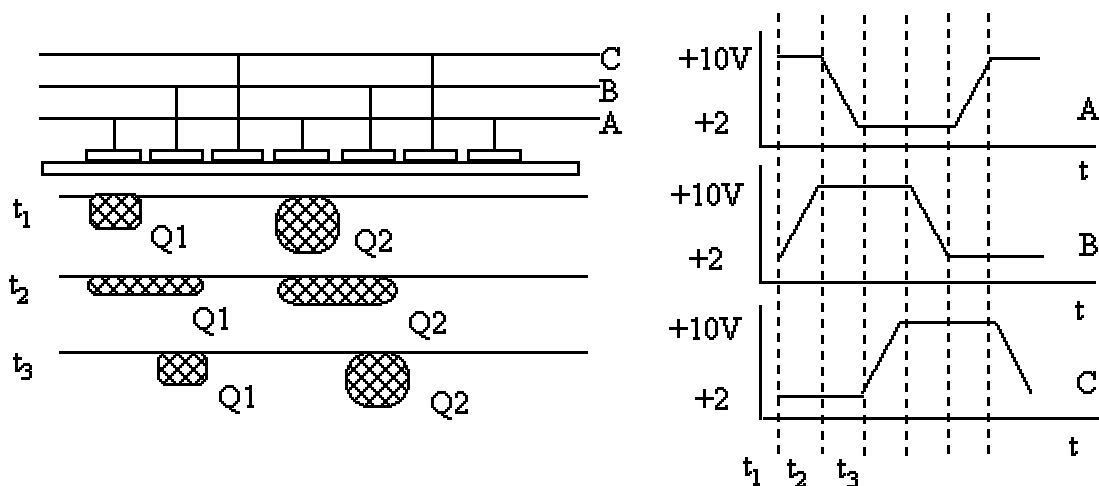
Az integráció alatt összegyűlt töltés megméréséhez az elektronokat el kell juttatni egy megfelelő kiolvasóegységhez. Ha azonban az elektródára kapcsolt feszültséget megszüntetjük, akkor az elektronok rekombinálódnak a pozitív lyukakkal. Ezt a problémát oldja meg a töltéscsatolás.

Töltéscsatolás és kiolvasás

A CCD rövidítés mögött is ennek a folyamatnak az angol elnevezése bújik meg. CCD = Charge Coupled Device, azaz töltéscsatolt eszköz. Ha egymás mellé több elektródát helyezünk el, s megfelelően változtatjuk az ezekre kapcsolt feszültséget, úgy a töltéscsomag mozgathatóvá válik. Ezt technikailag több módon is megoldható, s így megkülönböztetünk kettő-, három- és négyfázisú eszközöket.

Háromfázisú töltéscsatolás

Ennél a megoldásnál minden harmadik elektróda van összekötve, s ezeken a feszültségeket az ábra jobboldali diagramja szerint változtatva az egyes töltéscsomagok balról jobbra mozognak.

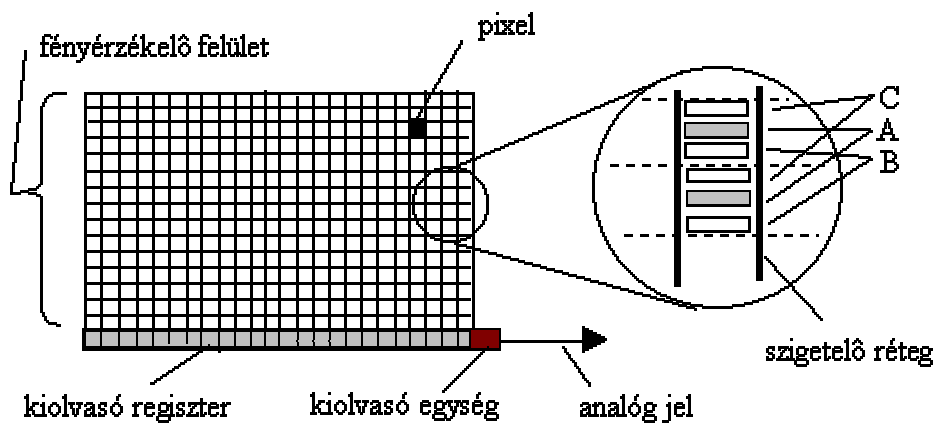


t1 időpillanatban a töltések csak az A jelű elektródák alatt találhatók, mivel mellettük, B és C elektródákon alacsonyabb feszültség van. t2 időpont eléréséig B-re is fokozatosan a magasabb feszültséget kapcsoljuk. Így az elektronokat tartalmazó "potenciálgödör" kiszélesedik, majd A-n csökkentve a feszültséget ismét csak egy elektródányi területen helyezkednek el a töltések, de ekkor már B alatt (t3). Ezt a folyamatot ismételve a töltések elléptethetők a kiolvasó egységig, lépésenként 99.9990 %-os hatásfokkal.

A kiolvasás úgy történik, hogy egy nagyon pontos referenciafeszültséggel kalibrált kondenzátorra léptetnek egy töltéscsomagot, majd annak kisütése során mért feszültségből levonva a referenciafeszültséget megkapják az analóg jelet, mely arányos a beérkezett fotonok számával. Gyakran alkalmazzák az "egybeolvasást" (binning), amikor is 2-5 töltéscsomagot léptetnek föl egymásután a kiolvasó kondenzátorra, s azok együttes töltésmennyiségét mérik.

A CCD chip felépítése

MOS tárolóegységekből és az azokhoz kapcsolódó töltésléptető elektródákból helyezünk most egymás mellé egy síkra több darabot. Ha így mozaikszerűen "kitöltünk" egy kis téglalap (négyzet) alakú szilíciumlapkát, és hozzákapcsolunk egy kiolvasó áramkört, máris készen van a CCD chipünk.



A mozaik egy elemét, ami a végül számítógép segítségével megjelenített kép egy pontja lesz, nevezzük pixelnek (az angol picture element, kép elem szavak rövidítése). Egy oszlopon belül a pixelek nincsenek egymástól ténylegesen elszigetelve, mint ahogy az egyes oszlopok egymástól SiO_2 réteggel, hiszen ekkor lehetetlen lenne a töltésléptetés. Az egymás "alatti" pixeleket ezért elektromos tér segítségével választják el egymástól. Maradva a háromfázisú példánknál az ábra kinagyított részletén látható az egy képelemhez tartozó három elektróda. Ezek közül az A jelűn pozitívabb feszültség van, mint B-n és C-n. Így az elektronok A felé áramlanak az integráció (megvilágítás ideje) alatt, a másik két elektróda szigetelőként szolgál. A kép kiolvasásakor az ábra szerint történik az összegyűlt töltések léptetése. (Az ábra egy oszlop keresztmetszeteként képzelhető el.) Egy léptetés során minden sor egyel lejjebb kerül, a legalsó sor pedig a kiolvasó regiszterbe. Ez egy olyan speciális sor, melyben a már ismert módon, de oldalirányban lehet mozgatni a töltéseket a kiolvasó egységig.

Miután a kiolvasó regiszter kiürült, jöhet a következő sorléptetés. A közben eltelt idő alatt azonban a még ki nem olvasott sorok továbbra is fényt kapnak, de már nem azon a helyen, ahol az integráció alatt! Ennek elkerülésére sok chipet dupla mozaikfelülettel készítenek (vagy mechanikus zárszerkezetet építenek a kamerába). Ennél a megoldásnál az érzékelő-felület egyik részét egy alumínium-maszkkal takarják el, s az integráció végén erre a fénytől védett tárolóra léptetik a töltéseket (frame transfer). Mivel a sorokat egyszerre lehet léptetni, ez viszonylag rövid időt vesz igénybe, s ezután történhet a kiolvasás. (Egy n sorból és m oszlopból álló chipnél ha egy léptetés t ideig tart, a teljes kiolvasás $(n \cdot m) \cdot t$ időt vesz igénybe, míg ha van egy tároló, akkor $n \cdot t$ idő alatt fénymentes részre vihetők a töltések.)

Nagyobb chipeknél, melyek több millió pixelt tartalmaznak, előfordul több kiolvasó regiszter és - elektróda alkalmazása a kiolvasási idő csökkentésére, ami különben akár egy perc is lehet.

A chip méretei

A pixelek alakja és mérete változó. A négyzetes pixelek előnyösebbek, azonban kicsit nehezebb ezek előállításuk. Általában a pixelméret 9×9 mikrométer és 30×30 mikrométer közötti. Az alsó határt a gyártási technológia szabja meg, illetve az, hogy egy adott méretű elem nem képes végtelen sok elektron tárolására. Ha túl kicsire választjuk a pixeleket, azok rövid megvilágítás után telítődnek, s az elektronok átáramlanak egyikből a másikba. Az értelmes felső határt általában az elérni kívánt felbontás adja, mint ezt majd később megvizsgáljuk.

A mozaik mérete, alakja a pixelek számától (és azok nagyságától) függ. Alkalmazznak - pl. scannerekben - olyan chipeket, melyek csak néhány sorból, és több száz - néhány ezer oszlopból állnak (linear array CCD). Csillagászati alkalmazásban azonban olyan chipeket használnak, melyek kiterjedése mindkét irányban több tucat - néhány ezer pixel (area array CCD): a 32×32 -től az 5192×5192 -ig. (Az érzékelő felület nem mindig négyzetes, főleg a spektroszkópiában használt eszközöknél eltérő.)

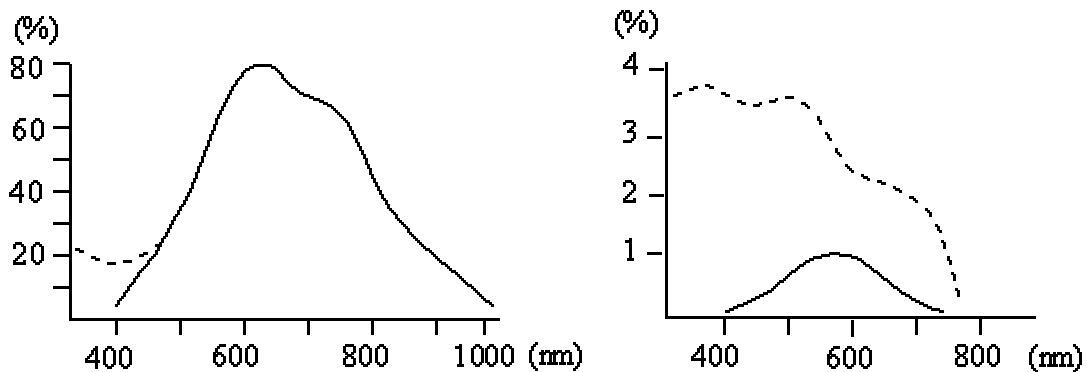
A mozaik vastagsága függ attól, hogy milyen hullámhossztartományban szeretnénk használni az érzékelőt. A vörös fotonok ugyanis 500 mikrométert is képesek megtenni a félvezető rétegben, azonban a kék fotonok pár mikrométer után elnyelődnek.

Az előlről, az elektródák felől megvilágított (frontside) CCD-k érzékenyebbek a kék tartományban, mivel a rövid hullámhosszú fotonok által keltett elektron-lyuk párok így közvetlen az elektródák közelében keletkeznek. Itt még sokkal erősebb az elektromos tér szétválasztó hatása, mint 500 mikrométerrel távolabb,

ahol a vörös fotonok lépnek kölcsönhatásba a szilíciummal. Előny ennél a megoldásnál, hogy a Si alapréteg lehet vastag, ami nagyobb mechanikai szilárdságot biztosít és könnyebben előállítható. Hátrány viszont, hogy a fénynek át kell hatolni az elektródákon és a szigetelő rétegen, így nagy a veszteség. A kvantumhatásfok, ami a detektált és beérkezett fotonok aránya, "csak" 50% körüli csúcserőket ér el. (Az emberi szem érzékenysége így kifejezve 1, a fotóanyagoké 3-4%!!!) A hátulról, vagyis a Si alapréteg felől megvilágított (backside) CCD-k viszont a fent említett okok miatt inkább vörös-érzékenyek. Az alapréteg néhányszor 10 mikrométeresre vékonyításával bizonyos mértékig kiegyenlíthető a spektrálérzékenység, ami nehéz technikai feladat, de megoldható. Ezek az elvékonyított érzékelők (thinned CCD) viszont - mivel a beérkező fénynek semmi sem állja útját - a 80%-os kvantumhatásfokot is elérhetik a legkedvezőbb hullámhosszon!

A CCD jellemzői

Spektrálérzékenység

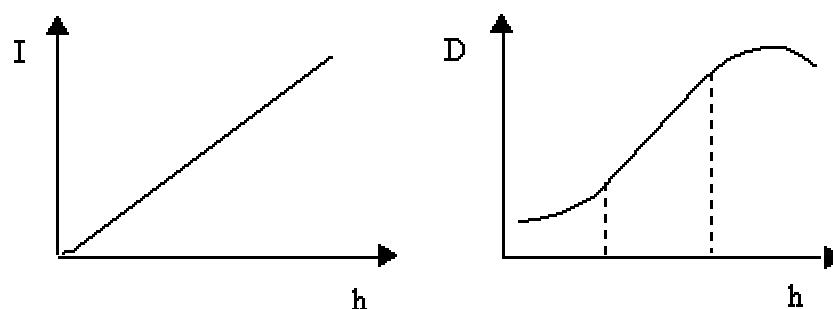


Az ábrán a függőleges tengelyeken a kvantumhatásfok, a vízszintes tengelyeken a hullámhossz van feltüntetve. Már említettük a kvantumhatásfokot, aminek kimagasló értéke az egyik legfontosabb tulajdonsága ezeknek az érzékelőknek, hiszen a fotóelektronokszorozó-csövek 20-40%-os hatásfokát is túlszárnyalják.

Az ábrán jól látható, hogy a CCD sokkal érzékenyebb a vörös tartományban, mint az emberi szem. Egy pankromatikus fotoemulzióval szemben pedig még nagyobb eltérés tapasztalható. Megjegyzendő, hogy léteznek olyan eljárások, melyekkel a CCD chip érzékenysége kiterjeszthető a kék tartományban is. Ez úgy érhető el, hogy egy nagyon vékony rétegben olyan anyagot visznek fel az érzékelő felületére, mely a 300 nm-es tartomány környékén elnyel, s az elnyelt fotonokat valahol 500-600 nm környékén sugározza vissza. Az így megváltoztatott érzékenységet jelöli a bal oldali ábra szaggatott vonala.

Linearitás

Nagyon fontos szempont egy detektornál, hogy pl. kétszer akkora megvilágítás hatására kétszer akkora jelet adjon. Ez teljesül a CCD teljes működési tartományára, míg a fotoemulzióknál csak annak egy harmadára. Ez jól látható az alábbi két görbén, ahol a CCD-k és a fotóanyagok "jelleggörbéje" van ábrázolva. Előbbinél a kiolvasott, analóg jel nagysága (I), utóbbinál a feketedés, az un. denzitás (D) van feltüntetve a megvilágítás (h) függvényében.



Dinamikus tartomány

Az egyszerre intenzitáshelyesen megjelenített legfényesebb és leghalványabb képpontok fényességaránya a fotográfiában 100 körüli érték (ez kb. 5 magnitúdónak felel meg), ellenben a CCD-k esetében ugyanez mintegy 10000 (ami 10 mg)! Utóbbi esetben felső határt szab a pixelek telítődése, vagyis az, hogy csak véges számú elektront tartalmazhat egy képelem. Ha ezt a határt túlléptük, a töltések "átfolynak" a szomszédos pixelekbe (blooming). (Léteznek olyan technikai megoldások, ahol ezt a jelenséget csökkenteni tudják a pixelek közötti "elvezető csatornákkal", ez az ún. antiblooming gate technika.)

Felbontás, érzékelő felület

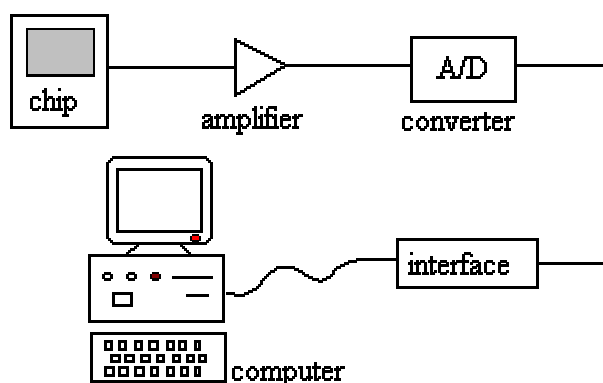
Átlagos pixelmérettel számolva a felbontás 66 vonal/mm, ami elmarad néhány, akár 300-400 vonal/mm-es felbontást elérő fotoemulzióktól. Ráadásul a valódi felbontás ennél rosszabb. A kép legkisebb rögzíteni kívánt részleteinek ugyanis legalább két-két pixelre kell esni (Shannon-féle mintavételezési tétel), különben ezek egybeemosódhatnak.

Az érzékelő felületének nagyságát a pixelméret és a pixelszám határozza meg. Ez általában néhány tized és pár cm² között mozog, a legnagyobbaké is csak 36 cm², ami szintén elmarad az óriási, több száz cm²-es fotólemezektől. Szinte csak ezen a két területen van hátránya a CCD-knek a hagyományos technikával szemben.

Sötétáram, hibák

Semmi sem tökéletes, a CCD chip sem. Szó volt már róla, hogy az elektronok nem csak fotonok hatására, hanem a hőmozgás során is elszabadulhatnak, s ez a filmeknél ismert "alapfátyol"-hoz hasonlóan jelenik meg a képen. Ennek értéke, eloszlása azonban teljesen véletlenszerű, erősen függ a hőmérséklettől, s az integrációs idő alatt folyamatosan gyűlnek ezek a "zavaró" elektronok is. Az egyes pixelek érzékenysége is különböző, így a rögzített kép egyes pontjainak relatív fényessége is megváltozik. Ez a két hatás azonban, mint látni fogjuk, nagyon egyszerű eljárásokkal csökkenthető, sőt, majdnem meg is szüntethető. Nem küszöbölhető ki azonban a gyártás során keletkezett pixelhibák. Gyakran előfordulnak érzéketlen, "halott" képelemek, s ezek legrosszabb esetben az egész chipet használhatatlanná tehetik. (A hibák száma alapján osztályozzák az elkészített chipet - a legjobbakban általában 10-nél kevesebb hiba van -, s ettől függően szabják meg azok árát.)

A CCD-kamera felépítése



Most már részletesen ismerjük a CCD chip szerkezetét, tulajdonságait, azonban a képalkotáshoz még sok más kiegészítő egység is szükséges. Ezek együttesét nevezzük CCD-kamerának, mely a következő főbb elemekből áll:

- CCD chip
- erősítő
- A/D átalakító
- interface

Fontos része a kamerának a tápegység és a hűtőrendszer is. A számítógép is elengedhetetlen kellék, mégsem tekinthető teljesen a kamera részének. (Sok más perifériához hasonlóan - mint pl. a szintén CCD technikát alkalmazó scanner- inkább a kamera a gép kiegészítője.)

Erősítő

Feladata a chipből érkező igen gyenge jelek fölerősítése, ami feltétlen szükséges azok továbbításához, hisz a legkisebb zavaró tényezők, zajok hatására elveszhet az információ. Ennek elkerülésére a speciálisan kialakított, ún. "alacsony zajú" erősítőt közvetlen a chip közelébe kell helyezni. Így a későbbiekben keletkező zavarok nagysága jelentősen csökkenthető a hasznos jelhez képest. Nem javíthatók viszont az integrálás és a kiolvasás során keletkezett hibák, melynek okai a következők: a sötétáram pixelenkénti eloszlásának véletlenszerűsége, ennek időbeli változása; a léptetések során elmaradó töltések; a kiolvasó kondenzátor referencia-feszültségének apró változásai; csillagászati kameráknál a kozmikus sugárzásból származó, nagyenergiájú fotonok okozta "beégések". (Ezek hatása jól meghatározható bizonyos képletekkel, melyek együttesen adnak egy hibakorlátot, amit figyelembe kell venni az adatok pontos kiértékelésénél.)

A/D átalakító

A számítógéppel való kapcsolat miatt szükség van az analóg jel digitalizálására. Az egyes pixelek fényességértékével arányos feszültségjelek bináris számokká történő átalakítását végzi az Analóg/Digitál konverter. Jellemzője a kamerának, hogy ez az egység hány szintet képes megkülönböztetni a chipből érkező jelben. Pl. egy 12 bites A/D átalakító esetén $2^{12}=4096$, 16 bit esetén 65536 különböző fényességérték, illetve szürkeárnyalat lehet a képen.

A már említett linearitást befolyásolhatja az átalakító linearitása, vagyis az, hogy a feszültségjellel arányos-e a digitalizált jel.

Nem megfelelő felbontású A/D átalakító esetén a rögzíteni kívánt kép finom részletei eltűnnek amiatt, hogy a kis fényességkülönbségű képpontokhoz ugyanazt a digitális egységet (ADU, Analog Digital Unit) rendeli az átalakító. A szükséges felbontást a chip, az elektronika tulajdonságai, a megfigyelés körülményei és az objektum együttesen határozzák meg.

Megfelelő hűtés mellett, alacsony zajú elektronika és profi chip esetén a mérés pontosságát akkor nem zavarja ez a tényező, ha az átalakító min. 15 bites. Amatőrök által is elérhető lehetőségek mellett a 12 bites konverzió megfelelő felbontást biztosít, ennél kevesebb azonban a mérés pontosságának rovására mehet.

Itt kell még említeni az átviteli sebesség kérdését is. Egy CCD kamerából a mai igényeknek megfelelően max. 100 képet kell kiolvasni. Ezzel már maximálisan biztosítható a folyamatosság. Ennél nagyobb értéket nem szükséges választani, hiszen a további feldolgozó eszközök sem alkalmasak ennél nagyobb sebességre (pl monitor, TV, ahol 25-100 kép/másodperc az általánosan használt). Azonban egy ilyen 100 kép/sec. átviteli sebességű rendszernél egy viszonylag nagy felbontású CCD esetén igen nagy átviteli sebességigény merül fel az A/D átalakítóval szemben (pl. 1024×1024 pixeles színes CCD 50 kép/másodperc esetén már $1024 \times 1024 \times 3 \times 50 = 157\,286\,400$ byte/s adódik, ami nagyon komoly igényeket támaszt a további feldolgozó eszközökkel szemben). Olyan esetekben ahol nem folyamatos az átvitel, pl. digitális fényképezőgépek esetén ez a probléma nem jelentkezik ilyen kiélezetten, hiszen ott adott esetben akár csak egy képek kell továbbítani.

Interface

Ennek az egységnek a feladata csupán az illesztés, azaz a kamera elektronikájának és a számítógép jeleinek megfelelő összekapcsolása. Egyes kameráknál az A/D átalakító és az interface külön dobozban, vagy egy, a számítógépbe szerelhető kártyán kap helyet. Utóbbi megoldás jelentősen gyorsítja az adatátvitelt a gép és kamera között.

Tulajdonképpen az eddig felsorolt egységek jelentik a kamera elektronikáját. Ezek apró hibái együttesen eredményezik a jelben megjelenő zajt, aminek nagysága szintén egy fontos jellemzője a kamerának. Az ún. kiolvasási zaj (readout noise) egy hűtött (elhanyagolható sötétáramú) és fénytől elzárt chippel készített kép zaja, mely a chip és az elektronika hibáinak együttes hatásaként keletkezik. Értéke néhány tucat - profi kameráknál egy-két - elektron pixelenként és másodpercenként.

Tápegység

A kamera elektronikájának, és termoelektromos hűtés esetén a Peltier-elemnek az áramellátását végzi.

Hűtés

A sötétáram szobahőmérsékleten akár néhány másodperc alatt telítésbe viheti a pixeleket. A jelenség csökkenthető, szinte teljesen meg is szüntethető a chip hűtésével. A "minél hidegebb, annál jobb" azonban nem igaz, mert -100 C környékén a töltésléptetést akadályozó jelenségek lépnek fel a szilícium lapkában a Si-SiO₂ határréteg közelében. A "túlhűtéstől" amatőr kameráknál nem kell tartani, ezeknél ugyanis termoelektromos hűtést alkalmaznak. Az előbb említett Peltier-elem két vékony porcelánlap között lévő félvezető lapokból álló eszköz, melynek két oldala közt - megfelelő áramerősség és feszültség mellett -

állandó a hőmérsékletkülönbség. Ez típustól függően 30-60 fok lehet, s így a meleg oldalhoz erősített hűtőbordával a környezet hőmérsékletétől ennyivel lehet eltérni.

A hűtőrendszer második fokozataként esetleg vízűtést, vagy egy másik Peltier-elemet és ahhoz kapcsolt hűtőbordát is lehet alkalmazni. Mivel a termoelem meleg oldalának hűtésével a hideg oldal is hűl (igaz, kisebb mértékben), így akár -70 C is elérhető, ahol a sötétáram már csak néhány elektron pixelenként és másodpercenként.

Profi kameráknál és alkalmazásoknál, ahol nem jelent(het) gondot a folyékony nitrogén vagy oxigén kezelése, ott ezekkel hűtik a kamerákat. Amatőr célokra ezek a beszerzés és tárolás, valamint a kezelés nehézsége miatt nem alkalmasak. Olcsó, és viszonylag egyszerű megoldás azonban szárazjég alkalmazása, amivel stabil, -76 C-os hőmérséklet érhető el.

A chip, a hűtőrendszer és az erősítő kap helyet (egyes esetekben az A/D konverter és az interface is) a kamerafejben. Ennek feladata a chip hermetikus elzárása a környezettől, a megfelelő mechanikai csatlakozás biztosítása a távcsőhöz. A kamerafej - amatőrök által is használt kameráknál - általában a "kézbe fogható" kategóriába tartozik, s ehhez járul a tápegység és elektronika doboza.

Színes CCD

Mint a hagyományos fotográfiában, itt sincs különleges, színes érzékelő. A színes film elvéhez hasonlóan, színszűrőkkel állíthatjuk elő a színes képeket. (A színes filmek három emulziórétegből állnak, köztük megfelelő színszűrők. Így az egyes rétegekben csak a "vörös", "kék", illetve "zöld" képek keletkeznek, természetesen szürkeárnyalatokban rögzítve, mindhárom esetben ezüstbromid kristályok által.) Egyes videokamerákban a beérkező fényt némiképp hasonlóan három részre osztják, s a képet egy időben, három színben rögzítik. Egy másik, videokamerákban alkalmazott megoldás, amikor egy érzékelőt használnak, azonban ennek egyes pixeljei vannak ellátva RGB (red, green, blue - vörös, zöld, kék) szűrőkkel. Egy ilyen chipnek viszont nagyon rossz a felbontása, hisz egy "valódi", négyzetes képpont rögzítésére három egymás melletti, elnyúlt téglalap alakú pixelt kell felhasználni.

A számítógép is elengedhetetlen kellék. Feladata a kamera vezérlése (ill. a megfelelő jelek továbbítása a vezérlést ténylegesen elvégző kamera-elektronikához), a kép megjelenítése, annak tárolása, ill. rögzítése. Ezek elvégzésére egy egyszerűbb PC is megfelel, azonban a chip és az elektronika megszabnak bizonyos követelményeket.

A chip méretéből és a digitalizálás bitszámából adódik a kép mérete. Pl. egy ST-6-os kamera 242x375 pixeles CCD chipet tartalmaz, s pixelenként 16 biten (=2 byte) digitalizálja a képet, ami így 242x374x2 = 181500 byte = 177,3 Kbyte méretű. (A

kép kiolvasása és digitalizálása után ennél a típusnál azonban, mielőtt a számítógépnek továbbítaná, az elektronika tömöríti a képet, ami így "csak" 90-150 KByte.) "Kép" alatt most egy nullákból és egyesekből álló (bináris) számhalmazt értünk, amiben a kiolvasás sorrendjében követik egymást az egyes képpontok fényességértékei. Ezek sorrendjét, a kép felépítését adja meg az ún. fejléc, mely szintén része a képnek. Csillagászati alkalmazásokban a fejléc általában a használt eszközökre (távcső, kamera, szűrő, stb.) és a megfigyelés körülményeire (integrációs idő, hűtés, stb.) vonatkozó adatokat is tartalmazza. Többféle nemzetközileg elfogadott szabvány, képfórmátum létezik a számítástechnikában (tif, gif, jpg, pic, stb.), de a csillagászatban általánosan elterjedt az ún. FITS fórmátum. Egy ilyen .fts kiterjesztésű file első része tartalmazza a képre és a kép készítésére jellemző adatokat, majd ezeket követik az egyes pontok fényességértékei. Minden CCD-kamerát kezelő program ismeri ezt a fórmátumot, azonban a kamerából letöltött kép sosem egyezik meg ezzel. Minden kamera rendelkezik egy saját, csak arra a típusra jellemző képfórmátummal, amit a vezérlő program képes FITS, esetleg más fórmátumra is "fordítani".

A számítógépnek legalább akkora memóriára van szüksége a kép megjelenítéséhez és tárolásához, amekkora egy kép. A hamarosan ismertetésre kerülő képfeldolgozási eljárásokhoz viszont háromszor ekkora memóriára van szükség. Az amatőrök által is használt, viszonylag kis pixelszámú kamerák esetében bőven megfelel egy 286-os AT, 2 MByte RAM-mal, ami ma már nem elérhető. Egyes speciális, profi alkalmazásokban előfordul, hogy a 64 MByte-os(!) képnek külön tárolóegységet építenek még a kamerába, s több kis darabban történik meg a letöltés és a képfeldolgozás. Utóbbi eljáráshoz már tekintélyes számítási igény tartozik, még kisebb kamerák esetén is, így célszerű az előbb említettél nagyobb teljesítményű gép alkalmazása.

Ha minden eredeti képet megtartunk (ami a tudományos kutatásoknál sosem árt), akkor bizony sok MByte-nyi tárolóra van szükségünk. A képek tárolása történhet winchesteren, mágnesszalagon vagy -lemezen, és ma már CD-n is. Nagy előny, hogy az így tárolt adatok időállóbbak, mint a hagyományos adathordozók (pl. fotólemez) információi, amik könnyen sérülhetnek vegyi, mechanikai hatásokra. Fontos viszont ügyelnünk arra, hogy a számítástechnika rengeteg eszköze könnyen meghamisíthatóvá teszi a képek hordozta információt. Mint látni fogjuk, sok esetben segít bizonyos természetű elemek kihangsúlyozása vagy elnyomása, ezen eszközök alkalmazása azonban a valótól eltérő eredményre vezethet. Mivel a beavatkozásoknak általában nyoma sem marad, ezért felelősséggel és figyelemmel használjuk a képfeldolgozás adta lehetőségeket!

A CCD alkalmazási területei

Digitális fényképezőgépek

Előzmények:

A digitális fotózásban a japán cégek állnak élen. A SONY már a nyolcvanas évek elején előállt Mavrica nevű digitális fényképezőgéppel. Ám rendkívül magas ára és viszonylag gyenge minősége nem hozott sem technikai sem üzleti áttörést.

A legtöbb digitális gép a kilencvenes évek közepéig az átlag felhasználónak elérhetetlenül drága volt. 1995-ben a Casio bemutatta QV 10 típusú gépét, mely 500 dolláros árával már elérhetővé tette a digitális fényképezést, és szinte vásárlói lavinát indított meg. Bár Casio tartja vezető helyét mégis mostanra már sok másik cég is megtalálható a piacon (SONY, KODAK, OLYMPUS, ...). A készülékek ára 500-1000 dollár között mozog.

Előnyök, hátrányok:

A digitális fényképezés egyik fő előnye, hogy gyökeresen megváltoztatta a hagyományos fényképkészítés menetét. A fényérzékeny filmek használata megszűnt, és már nincs szükség a filmelőhívás és nagyítás hosszú procedúrájára. Az elektronikus felvételt film helyett a CCD érzékeli, majd a gép a digitális képet egy chipbe vagy lemezen tárolja. A gép memóriájától függően 40 vagy akár jóval több képet is készíthetünk. A legtöbb gép hátulján található folyadékkristályos kijelzőn azonnal visszanezhetjük az elkészült felvételeket, sőt keresőként is működhetnek. A nem tetsző felvételeket egy gombnyomással törölhetjük. A másik nagy újítás az, hogy a fényképezőgépet TV készülékre vagy akár számítógépre is csatlakoztathatjuk, és ezzel eddig elérhetetlen felhasználási módok nyílnak meg a felhasználó előtt. A digitális fényképezés talán egyetlen, de igen nagy hátránya az, hogy a képminősége még nem éri el a kívánt szintet. Míg egy amatőr digitális fényképezőgép 350 ezer képpontot rögzít egységenként (a legújabb kamerák elérhetik az 1,4 millió képpontot is), addig egy tükörreflexes gép 2 milliót, ugyanakkora területen.

Az alábbiakban áttekintést nyújtunk azokról a kamerákról, amelyeket a gyártók amatőr ill. félprofi felhasználóknak szántak.

Egy hagyományos fényképezőgéppel készített fotónak a minőségét nagymértékben meghatározza a film minősége és a kamera objektívje ill. mechanikája. A digitális fotózásban a film minőségének a szerepét a CCD és az alkalmazott képtárolási-tömörítési algoritmus veszi át. A CCD szerepe ugyanaz, mint a közönséges camcorderekben, a kamera szemét alkotja. Minél több a rajta levő pixelek száma annál jobb felbontás érhető el. A kép tárolásakor minden kamera felajánl valamilyen (általában JPEG) tömörítési lehetőséget. Ezek az algoritmusok más szisztémán alapulnak, mint pl. a file-tömörítések (ARJ, ZIP): adatvesztéssel járnak. Minél nagyobb a sűrítés hatásfoka, annál több adat veszik el, tehát a színátmenetek sávossá válhatnak, stb. Csábító a nagy mennyiségű kép tárolásának lehetősége de sajnos az eredmény rovására megy.

A digitális kamera objektívjének ugyanaz a szerepe, mint a filmre dolgozó gépek esetében. A magasabb kategóriájú gépekben (Olympus C-1000L, 1400L, Agfa ePhoto1280) jó minőségű lencsékkel, igényes technikákkal (pl. optikai zoom) találkozhatunk.

Az itt bemutatott készülékeket két csoportba oszthatjuk: az alsó kategóriába a kis felbontással, automata fényképezőgépeknek megfelelő tudással és kezelhetőséggel rendelkező készülékek, a felső kategóriába a legalább 1024*768 felbontással, minőségi objektívvel, zoommal, bőséges állítási lehetőséggel (vaku-derítés, vörös-szem effektus, fehéregyensúly, rekesz, zársebesség manuális beállítása, panorámafotó, automata programok, stb) bíró fényképezőgépek sorolhatóak. Ez utóbbiak azoknak ajánlhatóak, akik nemcsak szeretnek, hanem tudnak is fotózni. Ezekben a készülékekben már általános a SmartMedia (SSFDC) memóriakártya alkalmazása, mely könnyű cserélhetőségével és kis helyigényével tűnik ki.

Digitális kamerák

A digitális videokamerák működése nagyon hasonló az analóg kamerák működéséhez, csak a digitális kamerák nem alakítják vissza a jeleket analóggá és a jelet egy sokkal kisebb digitális szalagon rögzíti. A digitális kamera 600 sort képes rögzíteni, de ezt át kell alakítani ahhoz, hogy az analóg televíziókon is le lehessen játszani. Az egyszerűbb kamerákban egy, az újabb komolyabb kamerákban 3 CCD chip látja el a digitális kép rögzítését. A színérzékelés RGB szűrőkkel történik. A CCD chipekről 100 Mbit/s sebességgel történik a szalagra a képek rögzítése. A mai kamerák átlagos felbontása 600*800 képpont területelemenként.

Az ilyen típusú kamerák esetében fontos jellemző a használt kódolási eljárás, amivel csökkenteni lehet az átvinni vagy rögzíteni kívánt adatmennyiséget. A mai digitális rendszerek két eljárást alkalmaznak. Az egyik a cos transzformáció, melynek ismertetése e munka terjedelmét is meghaladná, lényege röviden, hogy a kép 2D-s spektrumát továbbítjuk. A másik eljárásnál - ez a differenciálkép átvitel - a kép változását továbbítjuk. Ezen eljárásokkal lényegesen csökkenthető az adat mennyisége.

Szkenner

Ebben a részben a szintén CCD technikát alkalmazó szkenner kerülnek bemutatásra. Nem volt cél a részletes bemutatás, ismertetés, mert azzal külön szakdolgozat foglalkozik. Itt csupán egy rövid vázlatos, áttekintő rész kerül ismertetésre.

Az elektronikus képfeldolgozás és képtovábbítás már az ötvenes években megjelent a gyakorlatban. Mivel a személyi számítógépek tévékamerás képbevitelre a nagy mintavételezési frekvencia miatt nem alkalmasak, a képek tárolására illesztőkártyákat fejlesztettek ki. A mai illesztőkártyák (pl.:FAST,MIRO) valós idejű képfeldolgozási feladatok megoldására alkalmasak, viszont drágák, és nem teszik lehetővé egy A/4-es lap olyan felbontását, melyen az apró betűk is felismerhetőek lennének. A nyolcvanas évek elején kezdtek olyan képbeviteli eszköz kifejlesztésébe, amely nem olyan gyors, mint a kamera, tehát csak állóképek bevitelére alkalmas, viszont a felbontása annál jóval nagyobb. Az első ilyen szkennernek (scan = letapogatni) nevezett eszközt a MIKROTEK nevű tajvani cég állította elő, és felbontása 200 dpi (200 dpi=8 pont/mm Maga a dpi rövidítés a következőt jelenti: dots per inch).

A szkenner érzékszerve CCD elemekből áll, lehet például egy fotótranszisztor-sor, amelyet gyakran vonalkamerának is neveznek. Ez végzi a képi információ digitalizálását.

Az elektronikus képfeldolgozás a biológiai látáshoz hasonlóan a képek pontokra való felbontásával kezdődik. Az első lépés a mintavételezés, a kép sorokra, majd a sorok képpontokra való bontása. Ezután a képpontokhoz hozzárendeljük a világosságukat jellemző számot. Ez a szám 0-tól 255-ig terjedhet. A képpontokhoz rendelt számok egy mátrixot határoznak meg. Ez a mátrix a digitális kép, s így egy képpont adatainak tárolása lehetővé válik 1-byte-on. Következésképpen egy sor annyi pontra bomlik, ahány elemű a vonalkamera. Az egyes fotótranszisztorokon átfolyó áram erőssége a vizsgált képponttól visszaverődő fény intenzitásával arányos. A fotótranszisztorok kimenő ellenállásán keletkező feszültségességét egy komparátor áramkör összehasonlítja a megengedett szintjeivel, és eredményül annak a szintnek a kódját adja, amelyhez közelebb esik. A kódok az órajel hatására egy pufferbe kerülnek, ahonnan egy multiplexer periodikusan kiolvassa, és sorfolytonosan beírja a kijelölt tárterületre. Ezalatt a digitalizálandó kép éppen annyival mozdul el vonalkamerára merőlegesen, hogy a következő képsor kerüljön a látótérbe. Ily módon a szkenner az egymás utáni órajelek hatására rendre a soron következő képsort digitalizálja.

Különlegesen gyors szkenner a FUJITSU, amelynél egy sor olvasása csak 1ms-ot vesz igénybe, de ezek csak kétszintű képet adnak. Színes képek szkennelésére alkalmas szkennerknél (pl.:MICROTEK,UMAX) az érzékelő elé cserélhető színszűrőket tesznek. Más szkenner (pl.:EPSON,SHARP) három különböző színű fénycsóval dolgoznak. A legújabb szkennerekben (pl.:HEWLETT-PACKARD) prizmas fényosztót, három színszűrőt, és három egyidejűleg működő CCD fényérzékelőt alkalmaznak, s így egyetlen szkennelés ideje alatt a teljes színes kép leolvasható.

A szkenner több nagy családját különböztetjük meg a másodlagos szkennelési irány szerint, úgymint görgős, síkgyas (flat bed), kézi, vonalkód-olvasó (fényceruza) szkenner.

A szkenner alapjában véve három területen lehet jól hasznosítani: képek, illetve nyomtatott szövegek bevitelére, és a telefax alkalmazásban.

A szkenner szoftvertámogatása igen változatos. A cégek a legtöbb szkennerhez csomagolnak valamilyen programot, amellyel a szkenner összes üzemmódját ki lehet próbálni, a beolvasott képeket meg lehet jeleníteni, valamint tárolni lehet őket valamilyen szabványos formátumban. A legjelentősebb ilyen formátumok: a JPG, a GIF, a PCX, stb. Néhány ilyen program még egyszerű manipulációkat is lehetővé tesz a képeken. A technika fejlődésével a szkenner az egyéni felhasználók számára is egyre elérhetőbbé és megszokottabbá válnak, mivel áruk folyamatosan csökken, az egyre újabb termékek megjelenésével.

PC-hez kapcsolható kamerák

A PC-hez kapcsolható kamerák jellemző felhasználási területe az ipari és egészségügyi, gyógyászati alkalmazásokban van. Ezen területek azonban olyan speciális ismereteket igényelnek, melynek ismertetése messze túlmutat e munka terjedelmén. Ezért választottam az átlagos felhasználó által is elérhető alkalmazási területeket, melyek a következők: képtovábbítás, a videotelefon,

és konferencia szolgáltatások. A jövő alkalmazása lehet az azonosítás terén a kamera, az íriszazonosítással, mely jóval nagyobb védelmet nyújt az eddigi hagyományos jelszavas védelemmel szemben. Egyes hardvergyártó cégek ezt az eljárást már ma is alkalmazzák. Ha a beépített kamera által közvetített kép elemzéséből az derül ki, hogy szabad azon a gépen dolgoznia, akkor beléphet.

A számítógéphez kapcsolható videokamera ma már akár gomb nagyságú is lehet, és az ára is gyorsan csökken. Nincs már szükség még camcorder nagyságú gépre sem, ha valaki be akar rendezkedni a videó-konferenciára.

A Connectix az első viszonylag olcsó PC kamerát 1994-ben, éppen július 14-én dobta piacra. A QuickCam akkor a Macintosh soros portjára csatlakozott, és négy bites szürkeárnyalatos képet adott 240x320 képponton, másodpercenként legfeljebb 15-öt. Azóta több változatot is készített a Connectix, a legújabb a tavaly őszi PC-s modell, a QuickCam VC – VC mint videokonferencia vagy mint videó-kommunikáció - már milliárdnyi szint tud megkülönböztetni egymástól. A golfabda nagyságú, f2,0/3,6 milliméteres lencsével ellátott kamerán a távolságot kézzel kell beállítani, 2,5 centimétertől végtelenig. A mélységélessége azonban a legtöbb alkalmazásnál szükségtelenné teszi az állítgatást. Képes a 640x480-as felbontásra is, de

mozgóképnél a leggyorsabb - 15 kép másodpercenként -, ha 352x288 képpontra bontja a látóterét. Ez az úgynevezett általános képcsere-formátum (CIF). Kétségtelen, hogy ez még csak a fele a tévénél szokásos 30-nak, vagyis kicsit töredezett lesz a mozgás, de videó-konferenciánál ez nem zavaró. A képpontok színét 24 biten adja tovább a PC-nek. Csatlakoztatható párhuzamos és USB-portra egyaránt. A mellé adott Connectix VideoPhone 3.0 szoftverrel megvalósítható a szabványos H.324 protokoll szerinti modem-modem kapcsolat, valamint a képek internetre küldése is. Alkalmas videó-konferenciára például a PictureTellel, vagy az interneten a Microsoft NetMeeting 2.1-gyel. A beépített drótlevel opciót használva a Connectix QuickCam VC-vel felvett álló- vagy mozgókép e-mailként is elküldhető minden MAPI-kész levelezőrendszerből.

A PC-videokamerával felvett állókép közvetlenül átadható képszerkesztőnek, például az Adobe Photoshopnak vagy a közkincként olcsón használható Paint Shop Prónak, de a Connectix szoftverben magában is vannak képszerkesztési lehetőségek. Az Amerikában gyártott Connectix QuickCam VC ára az Újvilágban száz dollár körül van. Európában csak Spanyolországba, Franciaországba és Portugáliába exportálják hivatalosan.

A valamivel drágább - 169 dolláros - Kodak DVC323 már képes a teljes sebességre, azaz 30 kockát ad át a PC-nek másodpercenként, szintén CIF formátumban, tehát egy kép 352x288 darab, 24 biten megadott színű képpontból áll. Ez a PC-videokamera már csak USB-portra csatlakoztatható, de ugyanúgy működik mind Windows 95-tel, mind Windows 98-cal, mint a QuickCam VC.

Összefoglalás

Várható tendenciák a CCD fejlődésében

A CCD, mint fényt elektromos jellé alakító eszköz, nagyon sokrétűen alkalmazható olyan területeken, ahol képek digitális feldolgozása a végső cél. A digitális feldolgozás előnyei miatt (teljes reprodukálhatóság, nincs minőségromlás a feldolgozás során, adatként való egyszerű továbbíthatóság, stb.) a hagyományos analóg eszközöket is kezdi kiszorítani a piacról. A jövő pedig mindenképp a digitális rendszereké, az előbb említett előnyök miatt. Ez nem csak a képfeldolgozásra és átvitelre jellemző, hiszen pl. a hangtárolás, feldolgozás területén is már évek óta egyre jelentősebb mértékben jelen van a digitális technika. Több területen azonban már egyeduralkodó a CCD. Mivel a CCD jellemzői a folyamatos kutatás, fejlesztés során mindinkább javulnak, egyre több felhasználási területe alakul ki.

A hatalmas iramú fejlődés miatt a hagyományos CCD is lassan elavulnak tekinthető, hiszen megjelent a CCD-k egy újabb generációja, mely CMOS technikával készül, s így elérhető az, hogy egyetlen chip tartalmazza az érzékelőt, az analóg-digitális konvertert, a jelerősítőt, a kamera vezérlő funkcióit ellátó elektronikai egységeket. S nem csak a kis méret jelent előnyt, hisz több más kedvező tulajdonsággal is rendelkeznek ezek az eszközök. Például a dinamikai tartományuk 200-szor akkora, mint egy átlagos CCD-nek. Ezekkel a kamerákkal igen nagy fényességkülönbségek jeleníthetők meg intenzitáshelyesen, s pl. egy hegesztési eljárás, vagy egy lézeres interferenciakép esetében a fényes részek "beégés" nélkül tanulmányozhatók a halványabb struktúrákkal együtt. Az eddigi tendenciák szerint a felhasználási területek azon részén, ahol a CCD technika egy más, régebbi megoldást vált fel, ott mindenképpen térhódítása várható (pl. digitális fényképezőgépek). Az olyan területeken, ahol eddig is egyedüli megoldás volt a CCD (pl. kamerák, videotelefon rendszerek), ott az adott terület fejlődési képessége határozza meg, hogy mennyire lesz elterjedt. Szinte biztosan várható a videotelefon rendszerek tömegcikké válása, és talán ez vár a PC-alapú kamerákra is...

Forrás: Magyar AmatőrCsillagászok Baráti Köre (MACSBK)