

Fotogrammetria 16.

Digitális kamerák

Dr. Engler, Péter

Fotogrammetria 16.: Digitális kamerák

Dr. Engler, Péter

Lektor: Dr. Barsi, Árpád

Ez a modul a TÁMOP - 4.1.2-08/1/A-2009-0027 „Tananyagfejlesztéssel a GEO-ért” projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió és a Magyar Állam 44 706 488 Ft összegben támogatta.

v 1.0

Publication date 2010

Szerzői jog © 2010 Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

Kivonat

A fényképezés szempontjából a XX. század vége és a XXI. század eleje a digitális korszak kezdetét jelentette. Mind az amatőr fényképezés, mind a fotogrammetriai felvételek készítése terén nagy változásokat hozott ez az időszak. A földi fotogrammetria területén már korábban használtunk digitális kamerákat, míg a légifényképezés területén az elmúlt években fejlesztették ki a gyártók saját digitális légi mérőkamerájukat, digitális érzékelőjüket. A gyorsléptékű technikai fejlődés tette lehetővé, hogy ma már olyan digitális kamerák állnak rendelkezésre, amelyek egyre jobban kielégítik a fotogrammetriai kiértékelések elvárásait, mind a pontosság, mind a képminőség szempontjából.

Jelen szellemi terméket a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény védi. Egészének vagy részeinek másolása, felhasználás kizárólag a szerző írásos engedélyével lehetséges.

Tartalom

16. Digitális kamerák	1
1. 16.1 Bevezetés	1
2. 16.2 Digitális kamerák felépítése és jellemzői	1
2.1. 16.2.1 CCD alapismeretek	1
2.2. 16.2.2 A CCD chip felépítése	2
2.3. 16.2.3 A digitális érzékelők fajtái	3
2.4. 16.2.4 A CCD spektrális jellemzői	4
2.5. 16.2.5 Színes fényképezés	5
2.6. 16.2.6 A CCD képérzékelők jellemzői	6
2.7. 16.2.7 A CCD kamera felépítése	8
3. 16.3 Digitális földi kamerák	9
3.1. 16.3.1 Amatőr digitális földi kamerák	9
3.2. 16.3.2 Digitális földi mérőkamerák	12
4. 16.4 Digitális légi kamera	13
4.1. 16.4.1 Mátrix rendszerű érzékelővel ellátott kamerák	13
4.2. 16.4.2 Lineáris érzékelők, szenzorok	15
5. 16.5 Összegzés	17

16. fejezet - Digitális kamerák

1. 16.1 Bevezetés

A fényképezés szempontjából a XX. század vége és a XXI. század eleje a digitális korszak kezdetét jelentette. Mind az amatőr fényképezés, mind a fotogrammetriai felvételek készítése terén nagy változásokat hozott ez az időszak. A földi fotogrammetria területén már korábban használtunk digitális kamerákat, míg a légifényképezés területén az elmúlt években fejlesztették ki a gyártók saját digitális légi mérőkamerájukat, digitális érzékelőjüket. A gyorsléptékű technikai fejlődés tette lehetővé, hogy ma már olyan digitális kamerák állnak rendelkezésre, amelyek egyre jobban kielégítik a fotogrammetriai kiértékelések elvárásait, mind a pontosság, mind a képminőség szempontjából. Ez a fejlődés a filmes korszak lezárását is előre jelzi. Annak dacára, hogy teljesen különböző technológiát használnak, a filmes és a digitális kamerák nagyon hasonló módon működnek, tehát a képkészítés technikája, bármelyik rendszerrel is készül, szinte azonos [8].

A modulban bemutatjuk a digitális fényképezés alapjait, a digitális kamerák felépítést, jellemzőit, megoldási módjait.

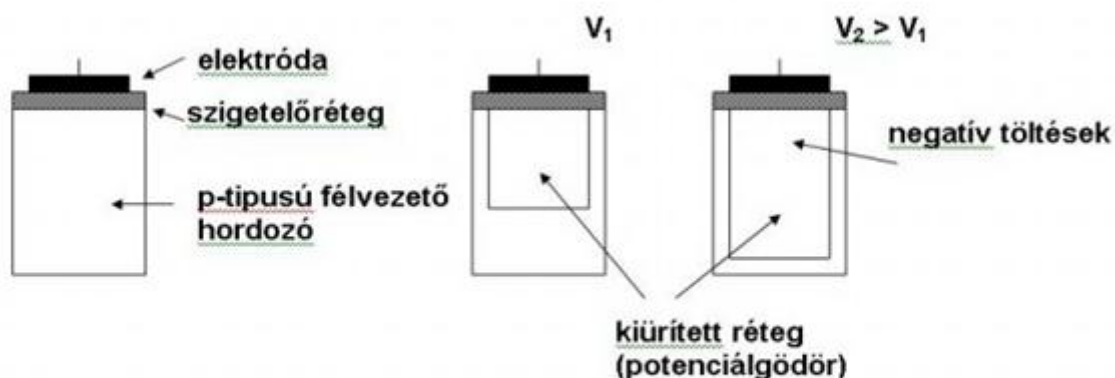
Külön-külön fejezetben foglalkozunk a földi és a légi kamerák típusaival, paramétereivel. Bemutatjuk a legelterjedtebb kamerákat.

2. 16.2 Digitális kamerák felépítése és jellemzői

A digitális kamerák alapelvét a 70'-es években fejlesztették ki. Olyan eszközöket fejlesztettek ki, amelyek az ún. MOS (Metal Oxide Semiconductor = fém-oxid félvezető) alapú kondenzátorokat használtak fel analóg jelek, különböző nagyságú töltéscsomagok tárolására. Ezekből a kis tárolókból több ezer darabot tudtak elhelyezni parányi félvezető lapocskán, s ezeket egy kiolvasó áramkörrel összekötve memóriaegységeket, optikai érzékelőket alkottak.

2.1. 16.2.1 CCD alapismeretek

Egy tároló egység három alapvető részből áll: félvezető alapréteg, szigetelő réteg és elektróda (16-1. ábra).



16-1. ábra Tároló egység

A szilícium alapréteg vezetési tulajdonságát a tiszta Si kristály szennyezésével lehet befolyásolni. A szennyezésre azért van szükség, hogy a kristályrácsban belül elektromos vezeték jöjjön létre. Ha egy P-típusú egységet veszünk, s az elektródára pozitív feszültséget kapcsolunk, akkor a félvezető rétegben eltávolodnak a pozitív lyukak az elektródára kapcsolt pozitív feszültség taszítása miatt. Ezt a zónát nevezük kiürített rétegnek, vagy potenciálgödörnek. Ilyenkor elektron-lyuk párok keletkeznek, amelyek szétválasztódnak az elektromos mező hatására, s az elektronok fölgyülemlenek közvetlen az elektróda "alatt", az ún. inverziós rétegben. Ez

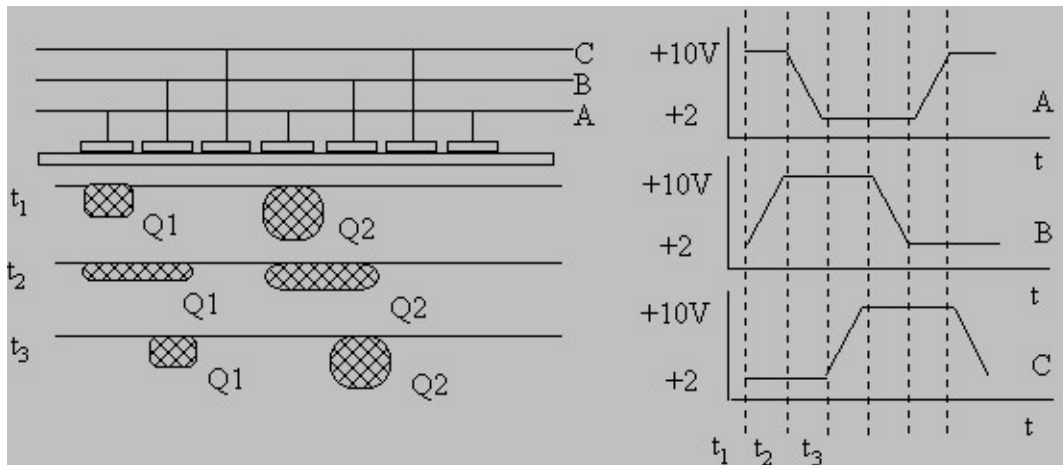
előbb-utóbb egy egyensúlyi állapotot eredményez. Az ezt kialakító effektust sötétáramnak nevezünk, mely néhány másodperc vagy néhányszor tíz másodperc alatt zajlik le. A kiegyenlítődési idő erősen függ a hőmérséklettől, és a félvezető anyagi minőségétől.

A fotoeffektus 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 kiegyenlítődési idő elnyújtása, azaz a sötétáram csökkentése, melynek legjobb módja a hűtés.

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

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 [6.].

Jellemző megoldás a háromfázisú töltéscsatolás. Ennél a megoldásnál minden harmadik elektróda van összekötve, s ezeken a feszültségeket a 16-2. ábra jobboldali diagramja szerint változtatva az egyes töltéscsomagok balról jobbra mozognak.



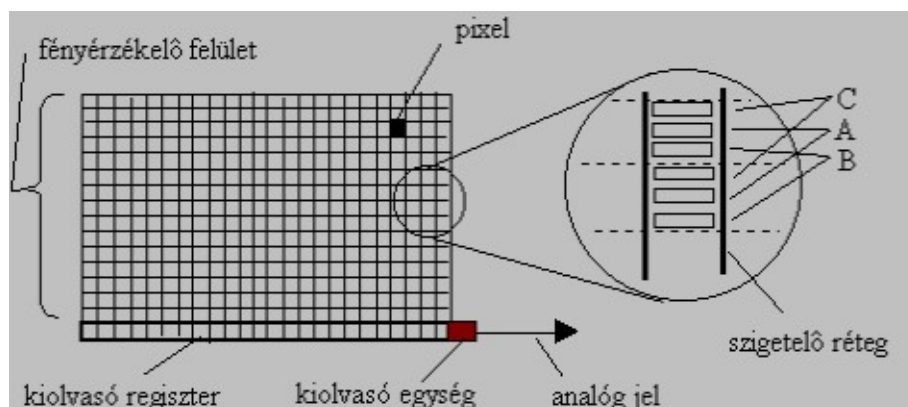
16-2. ábra Háromfázisú töltéscsatolás [6.]

A t_1 időpillanatban a töltések csak az A jelű elektródák alatt találhatók, mivel mellettük, B és C elektródákon alacsonyabb feszültség van. t_2 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 (t_3). Ezt a folyamatot ismételve a töltések elléptethetőek 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 megkapják az analóg jelet, mely arányos a beérkezett fotonok számával. Gyakran alkalmazzák az "egybeolvasást", amikor is 2-5 töltéscsomagot léptetnek föl egymásután a kiolvasó kondenzátorra, s azok együttes töltésmennyiségét mérik.

2.2. 16.2.2 A CCD chip felépítése

Az érzékelőkben a tároló egységeket sorban vagy mátrixszerűen rendezik el egymástól elszigetelten. Ha így mozaikszerűen "kitöltünk" egy kis téglalap (négyzet) alakú szilíciumlapkát, és hozzákapcsolunk egy kiolvasó áramkört, máris készen van a CCD chipünk (16-3. ábra).



16-3. ábra CCD chip [6.]

A mozaik egy elemét, ami végül számítógép segítségével megjelenített kép egy pontja lesz, nevezzük pixelnek (az angol **p**icture **x** element, képelem szavak rövidítése). A töltések, vagyis az egyes képelemeknek megfelelő világosságértékek kiolvasása szekvenciálisan, a töltések egymás utáni kiléptetésével történik

A kép kiolvasásakor a 16-3. ábra szerint történik az összegyűlt töltések léptetése. Egy léptetés során minden sor eggyel lejjebb kerül, a legalsó sor pedig a kiolvasó regiszterbe. Ez egy olyan speciális sor, melyben 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. 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 ezáltal 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.

2.3. 16.2.3 A digitális érzékelők fajtái

Két fő csoportot különböztetünk meg [7.]:

- **CCD (Charge Coupled Device = töltéscsatolt eszköz)**, ahol az érzékelők értékeit sorosan kell kiolvasni, így egy pixel megcímzésére nincs lehetőség az érzékelőn belül
- **CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor = kiegészítő fémoxid félvezető)**, ahol minden képponthoz elhelyezhető az elektron-feszültség átalakító, ennek köszönhetően sor- és oszlopcímzéssel rendelkezik, vagyis az érzékelő minden egyes képpontja külön címezhető

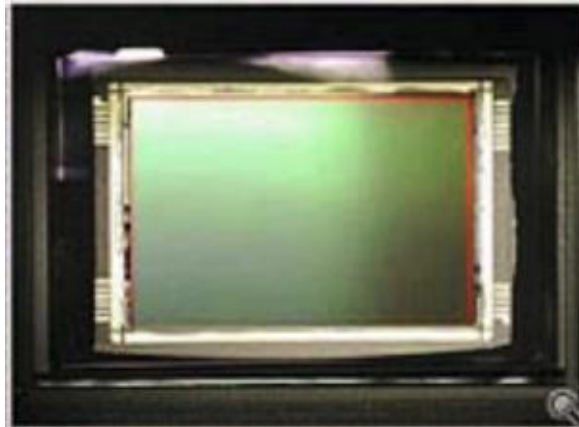
A **pixelek alakja és mérete** változó. A négyzetes pixelek előnyösebbek, azonban kicsit nehezebb ezek előállításuk. Általában a pixelméret 9×9 mikrométer és 30×30 mikrométer közötti. Az alsó határt a gyártási technológia szabja meg, illetve az, hogy egy adott méretű elem nem képes végtelen sok elektron 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.

A **mozaik mérete**, alakja a pixelek számától (és azok nagyságától) függ. Alkalmazznak olyan chipeket, melyek csak egy sorból, és több száz - néhány ezer elemből állnak. Ezeket lineáris érzékelőknek nevezzük (16-4. ábra) és jellemzően szkennerekben, fénymásolóknak és elmozdulás érzékelőkben alkalmazzák.



16-4. ábra Lineáris érzékelő

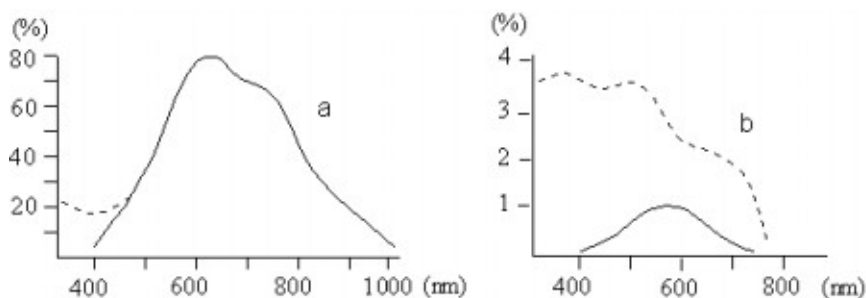
A másik típusa az érzékelőknek a kétdimenziós vagy mátrix rendszerű érzékelők csoportja, amelyek képérzékelés, kétdimenziós helyzetérzékelésre használhatók (16-5. ábra). Az ilyen érzékelők több száz vagy ezer sorból és oszlopból állnak.



16-5. ábra Mátrix rendszerű érzékelő

2.4. 16.2.4 A CCD spektrális jellemzői

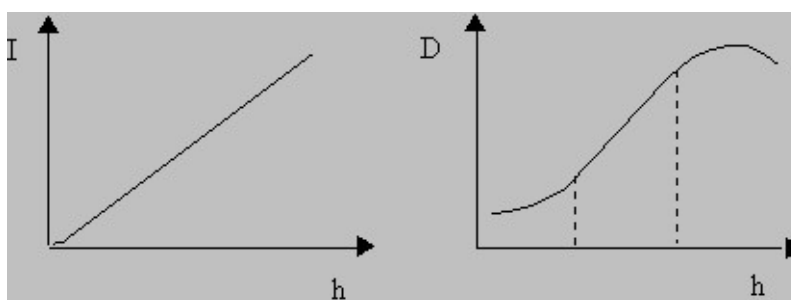
Egyik nagyon fontos jellemző a spektrális érzékenységi tartomány [6.]. Az előlről, az elektródák felől megvilágított CCD-k érzékenyebbek a kék tartományban, mivel a rövid hullámhosszú fotonok által keltett elektron-lyuk párok így közvetlen az elektródák közelében keletkeznek. Itt még sokkal erősebb az 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 csúcserőértékét ér el. (Az emberi szem érzékenysége így kifejezve 1, a fotóanyagoké 3-4%) A hátulról, vagyis a Si alapréteg felől megvilágított CCD-k viszont a fent említett okok miatt inkább vörös-érzékenyek. Az alapréteg néhány száz 10 mikrométeresre vékonyításával bizonyos mértékig kiegyenlíthető a spektrális érzékenység, ami nehéz technikai feladat, de megoldható. Ezek az elvékonyított érzékelők viszont - mivel a beérkező fénynek semmi sem állja útját - a 80%-os kvantum hatásfokot is elérhetik a legkedvezőbb hullámhosszon. Ez utóbbi megoldás az elterjedtebb.



16-6. ábra A CCD (a) és az emberi szem (b) spektrális érzékenységi tartományai

A 16-6. ábrán a függőleges tengelyeken a kvantumhatásfok, a vízszintes tengelyeken a hullámhossz van feltüntetve. Az ábrán jól látható, hogy a CCD (16-6. a ábra) jellemzően érzékenyebbek a vörös tartományban, mint az emberi szem (16-6. b ábra). Egy pánkromatikus 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.

Nagyon fontos szempont egy detektornál, hogy pl. kétszer akkora megvilágítás hatására kétszer akkora jelet adjon. Ezt a **linearitást** fejezi ki, ami teljesül a CCD teljes működési tartományára, míg a fotoemulzióknál csak annak egy harmadára. Ez jól látható az alábbi két görbén (16-7. ábra), ahol a CCD-k és a fotóanyagok "jelleggörbéje" van ábrázolva. Előbbinél a kiolvasott, analóg jel nagysága (I), utóbbinál a feketedés, az ún. denzitás (D) van feltüntetve a megvilágítás (h) függvényében.



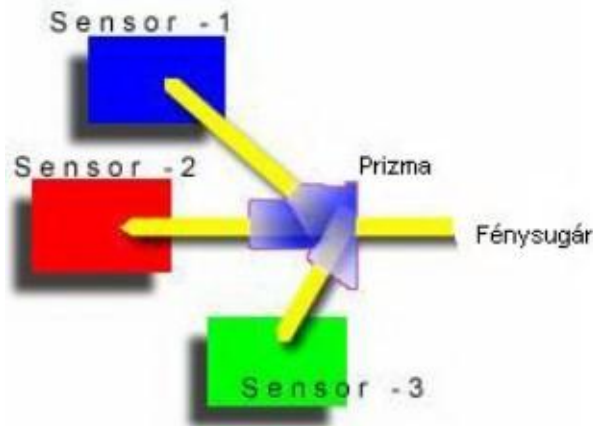
16-7. ábra Linearitás

Az egyszerre intenzitáshelyesen megjelenített legfényesebb és leghalványabb képpontok fényességaránya a fotográfiában 100 körüli érték, ellenben a CCD-k esetében ugyanez mintegy 10000. 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 "átfolyanak" a szomszédos pixelekre. Léteznek olyan technikai megoldások, ahol ezt a jelenséget csökkenteni tudják a pixelek közötti "elvezető csatornákkal".

2.5. 16.2.5 Színes fényképezés

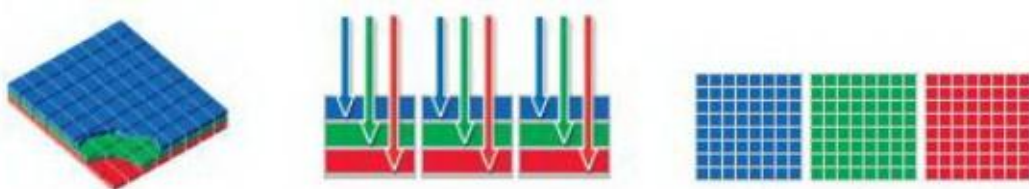
Mint a hagyományos fotográfiában, itt sincs különleges, színes érzékelő. A színes film elvéhez hasonlóan, színszűrőkkel állíthatjuk elő a színes képeket. (A színes filmek három emulziórétegből állnak, köztük megfelelő színszűrők. Így az egyes rétegekben csak a "vörös", "kék", illetve "zöld" képek keletkeznek, természetesen szürkeárnyalatokban rögzítve, mindhárom esetben ezüstbromid kristályok által.) A CCD érzékelő „színvak”, ezért a három alapszínnek megfelelő színcsatornákat külön kell rögzíteni. A színes felvételek készítésére többféle megoldást dolgoztak ki:

A, **Prizmarendszerrel** a fénysugarakat prizmákkal felbontják a három alapszínre bontva külön-külön CCD érzékelőre osztják fel (16-8. ábra)



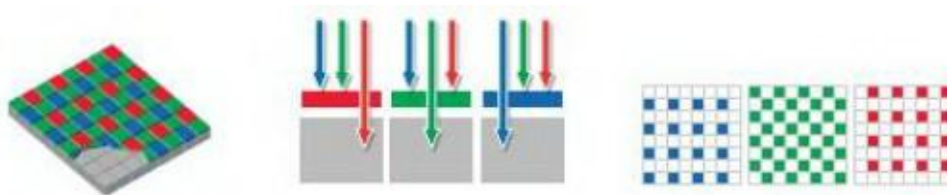
16-8. ábra Prizmarendszer

B, **Foveon X3 szűrésnél** (16-9. ábra) a képérzékelő lapkán a szilíciumban három külön rétegben helyezkednek el az érzékelők. Mivel a különböző hullámhosszú fény különböző mélységig hatol be a szilíciumba, minden réteg külön színt rögzít. Így egyedül a Foveon X3 érzékelő lapka rögzíti külön a piros, a zöld és a kék színeket minden pixelhelyen.



16-9. ábra Foveon X3 szűrés [8]

C, **Mozaik elrendezésnél** (16-10. ábra) a hagyományos rendszerekben a színszűrőt egy rétegben, mozaikszerűen teszik az érzékelőre. A szűrők csak egy-egy színű fényt engednek át, így minden pixelben csak egy színadat rögzíthető. A színek aránya: R/G/B=1/2/1 arány. Így általában az ilyen érzékelő lapkák felületének 50%-a csak zöld, 25-25%-a pedig csak piros, vagy csak kék szín rögzíthető. Ezt Bayer-féle elrendezésnek is nevezzük.



16-10. ábra Mozaik elrendezés [8]

2.6. 16.2.6 A CCD képérzékelők jellemzői

A CCD képérzékelőket jellemezhetjük:

- a, a felbontás,
- b, érzékenység,
- c, a képzaj és
- d, a hibás pixelek szerint.

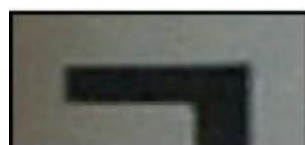
A, A pixelek méretétől függő **felbontás** sok esetben elmarad a fotoemulziók felbontásától. Ráadásul a valódi felbontás ennél rosszabb, mert a kép legkisebb rögzíteni kívánt részleteinek legalább két-két pixelre kell esni, különben ezek egybemosódhatnak.

Az érzékelő felületének nagyságát a **pixelméret** és a **pixelszám** határozza meg.

A Mp-ben megadott felbontás érték a sorok és a oszlopok számának szorzata. Megkülönböztetünk teljes vagy effektív pixelszámot. Ez általában néhány tized és pár cm² között mozog, a legnagyobbaké is csak 36 cm², ami szintén elmarad az óriási, több száz cm²-es fotólemezekétől. Szinte csak ezen a két területen van hátránya a CCD-knek a hagyományos technikával szemben.

B, A digitális gépek **érzékenységet** a nemzetközi szabványoknak megfelelő ISO értéket adják meg (értéke megegyezik az amerikai ASA értékeivel). Általában ISO 50 és ISO 200 közötti, de van ISO 400, ISO 800, ISO 1600. Az érzékenység analóg erősítéssel (vagyis még az A/D átalakítás előtt) megnövelhető.

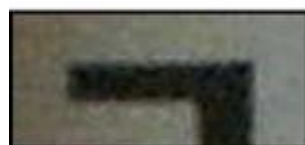
C, Az elektronok nem csak fotonok hatására, hanem a hőmozgás során is elszabadulhatnak, s ez a filmeknél ismert "alapfátyol"-hoz hasonlóan jelenik meg a képen. Ennek értéke, eloszlása azonban teljesen véletlenszerű, erősen függ a hőmérséklettől, s az integrációs idő alatt folyamatosan gyűlnek ezek a "zavaró" elektronok is. Az egyes pixelek érzékenysége is különböző, így a rögzített kép egyes pontjainak relatív fényessége is megváltozik. Gyakran találkozunk a gyártás során keletkezett pixelhibákkal. Ezek együttes hatása a **képzaj** (16-11. ábra). Minél nagyobb az érzékenység, annál nagyobb a „képzaj” (ami egyébként nő az expozíciós idő növelésével is).



ISO100



ISO200



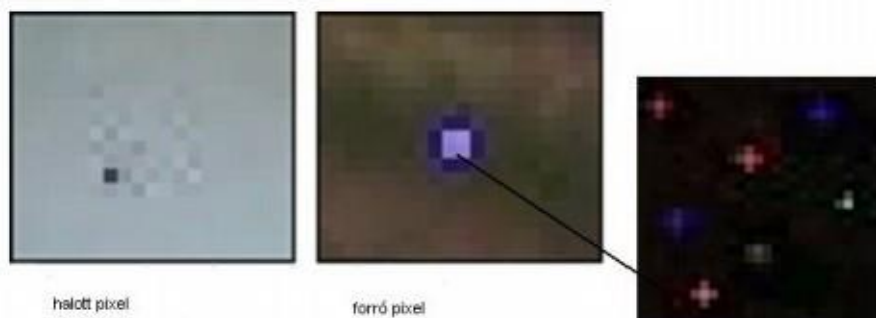
ISO400



ISO800

16-11. ábra Képzaj

D, Gyakran előfordulnak hibás vagy érzéketlen pixelek (16-12. ábra). Ezek lehetnek halott képelemek (fekete), beégett pixelek (fehér) és forró pixelek (kék, zöld, vagy piros). Ezek legrosszabb esetben az egész chipet használhatatlanná tehetik.

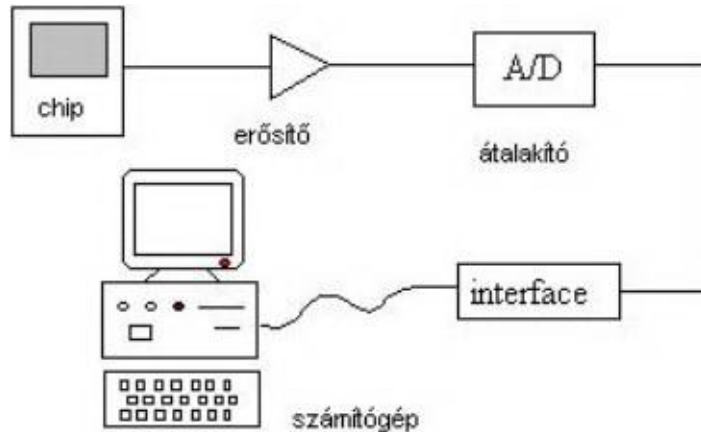


16-12. ábra Hibás pixelek

2.7. 16.2.7 A CCD kamera felépítése

A képkészítéshez a CCD chipen kívül még sok más kiegészítő egység is szükséges. Ezek együttesét nevezzük CCD kamerának (16-13. ábra), mely a következő főbb elemekből áll:

- objektív,
- CCD chip,
- erősítő,
- A/D átalakító,
- interface,
- kiegészítő egységek.



16-13. ábra CCD kamera felépítése [6]

Az **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.

A számítógéppel való kapcsolat miatt szükség van az **A/D átalakító**ra, 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 4096, 16 bit esetén 65536 különböző fényességérték, illetve szürkeárnyalat lehet a képen.

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.

Itt kell még említeni az átviteli sebesség kérdését is. Egy kb. 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 $1024*1024*3*50 = 157\ 286\ 400$ byte/s adódik, ami nagyon komoly igényeket támaszt a további feldolgozó eszközökkel szemben).

Az **interface** 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.

Fontos része a kamerának a tápegység és a hűtőrendszer is. A számítógép is elengedhetetlen kellék, mégsem tekinthető teljesen a kamera részének.

A **tápegység** a kamera elektronikájának, és termoelektromos hűtés esetén annak az áramellátását végzi.

A sötétáram szobahőmérsékleten akár néhány másodperc alatt telítésbe viheti a pixeleket. A jelenség csökkenthető, szinte teljesen meg is szüntethető a chip **hűtésével**. A chip, a hűtőrendszer és az erősítő kap helyet (egy esetben az A/D konverter és az interface is) a kamerafejben. Ennek feladata a chip hermetikus elzárása a környezettől, a megfelelő mechanikai csatlakozás biztosítása az objektívhez. A kamerafej - amatőrök által is használt kameráknál - általában a "kézbe fogható" kategóriába tartozik, s ehhez járul a tápegység és elektronika doboza.

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 hatalmas iramú fejlődés miatt a hagyományos CCD is lassan elavultnak 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. Meg kell említeni, hogy ugyanakkor a képek „zajosabbak”.

3. 16.3 Digitális földi kamerák

A digitális földi kamerákon belül alapvetően két csoportot különböztetünk:

- amatőr kamerák,
- mérőkamerák.

3.1. 16.3.1 Amatőr digitális földi kamerák

A digitális fényképezés már több évtizedre nyúlik vissza, de széleskörű elterjedésre az elmúlt évtizedben történt meg. A digitális fényképezőgépek gyakorlatilag felváltják a hagyományos filmes fényképezőgépeket. Sok olyan fotogrammetriai feladat van, amiben jól fel lehet használni a nem mérőkamerás, azaz amatőr kamerás gépekkel készített felvételeket. Emiatt röviden foglalkozunk ezekkel a fényképezőgépekkel.

Az amatőr kamerák felbontásának minimum 3 megapixelesnek kell lennie. A kamera tartozéka az objektív, ami a tárgyról ad valódi képet. Működése az emberi szemhez hasonlítható. A látószögbe összegyűjti a fényt, majd az optikai tengelyére merőleges anyagra rögzíti. Az objektívet fényereje, és gyújtótávolsága alapján

jellemezhetjük. A fókusz távolság lehet változtatható, vagy állandó. Ha a tárgytávolságot szeretnénk módosítani, akkor a fókusz távolságon változtatni kell. Ez a változás a kép méretarányát is változtatja. Fotogrammetriai célra a rögzített fókuszú gépek az optimálisak. Rövidebb fókuszhoz nagyobb nyílásszög tartozik. Nagyobb nyílásszög esetén torzulás lép fel. Kisebb nyílásszög esetén pedig több képet kell elkészítenünk a lefényképezendő objektumról. Az objektívben a belső fény mennyiségét a blende határozza meg. Minél kisebb a blende, annál nagyobb az áteresztett fény mennyisége, a mélységélesség. Nagyobb blendénél nagyobb a torzulás a kép széléin. Az éles látás tartományát a mélységélesség határozza meg. A kezdő távolság a blende értékétől is függ, és azzal együtt változik. A RolleiMetric 6008-as fényképezőgép például 2.8-as blende értékénél 17 métertől, 22-es blende értékénél 2 métertől a végtelenig képezi le a kép élességének a tartományát.

Egyre nagyobb a szakirodalma a digitális fényképezésnek. Ezek többféle módon csoportosítják a fényképező gépeket. Egy, a legáltalánosabban elfogadott csoportosítás a következő:

A, Ultrakompakt: A legkisebb, zsebben könnyen hordható gépek kategóriája. Előnyük a kis méret és súly adta kényelem. Hátrányuk, hogy sok esetben képességeik terén is elmaradnak az átlagtól, és a kis méretből adódóan használatuk néha kényelmetlen. Egyszerű hobbi- és amatőr használatra többnyire megfelelőek.

B, Kompakt: A digitális fényképezőgépek legszélesebb kategóriája, minden olyan, viszonylag kisméretű gép ide sorolható, amely egymagában sokféle fotós feladatra alkalmas. Előnyük a relatív kis méret és súly, valamint a széleskörű használhatóság. Hátrányuk a későbbi korlátozott bővíthetőség. Egyszerűbb modelljeik hobbi- és élményfotózásra, komolyabb modelljeik igényesebb amatőr fotózásra kiválóak lehetnek (16-14. ábra).



16-14. ábra Kompakt digitális fényképezőgép [9]

C, SLR-like: Tükörreflexes kinézetű, meglehetősen erőltetett kategória. Az olyan, kompakt csoportba tartozó, formára komolyabb gépeket sorolják ide, amik a tükörreflexes gépek kialakítására, külsejére emlékeztetnek. Nem jelent feltétlenül komoly tudású gépet is, de a legtöbbet tudó kompakt gépek ide sorolhatók. Jelesebb modelljeik az igényes amatőrök kedvelt eszközei, de ha valakit behatóbban érdekel a fotózás, akár kezdőgépként is megfelelő lehet (16-15. ábra).



16-15. ábra SLR-like digitális fényképezőgép [10]

D, Bridge: Egyfajta átmenet a komolyabb kompakt és a tükörreflexes (SLR) gépek között. Ezek a "tükörreflexes" keresővel ellátott, azonban nem cserélhető objektívű gépek (16-16. ábra).



16-16. ábra Bridge digitális fényképezőgép [11]

E, Tükörreflexes (D-SLR, vagy DSLR): A tükörreflexes keresővel ellátott, cserélhető objektívű digitális gépek csoportja. (*DSLR = Digital Single Lens Reflex*). Általában profi fotósok, vagy a fotózás iránt érdeklődő komoly amatőrök használják. Előnye az igény szerinti szabad bővíthetőség, megannyi kiegészítővel és objektívvel. Hátránya a mérete és a súlya, valamint az ára.

Többek között ezeket is figyelembe véve elsősorban az utolsó csoportba tartozó tükörreflexes gépek használhatók fotogrammetriai célokra.

A fényképezőgépeket több paraméterrel is jellemezhetjük, mint például felbontás, ISO érzékenység, képstabilizátor. Egy fénykép annál pontosabb adatokat tud szolgáltatni, minél jobb a geometriai, a radiometriai, illetve a spektrális felbontása. A maximális felbontás (pixel*pixel) értéke adja az összes pixelszámot, ami meghatározza egy kép digitális méretét. Többek között ezeket is figyelembe véve elsősorban az utolsó csoportba tartozó tükörreflexes gépek használhatók fotogrammetriai célokra.

A fotogrammetriai célokra jól használható egyik ilyen fényképezőgép a **Sony DSC R1** típusú amatőr digitális kamera (16-17. ábra).



16-17. ábra Sony DSC R1 digitális fényképezőgép

A kamera fontosabb jellemzői:

- Felbontás: 10,3 Mpixel
- Maximum: 3888*2592 pixel (38.88 mm* 25.92 mm)

- Minimum: 1296*864 pixel
- Érzékelő típusa: CMOS technológia 3:2 oldalarányú 21,5*14.4 mm (Szenzor méret: 10 μ)
- Zárídő: (akár 3 min)
- Maximum: 30/2000 s
- Minimum: 1/2000 s
- Fényérzékenység: ISO 100-3200, automata: ISO 160-400
- Fókusz távolság: 24-120 mm (25,2487 mm)
- Fényerő: f/2,8-4,8 Carl Zeiss zoom objektív

3.2. 16.3.2 Digitális földi mérőkamerák

A digitális mérőkamerák nagyobb felbontással bírnak a hagyományos kamerákkal szemben, és pontosabb kiértékelést is tesznek lehetővé. A mérőkamera belső adatai pontosan ismertek.

A kamerakalibrációs jegyzőkönyvben megadják a képfőpont koordinátáit és a kameraállandót. Megadják a CCD vagy CMOS szenzorok lapkaméretét, és a pixelek számát. Ha ezeket mind ismerjük, akkor kiszámolhatjuk, hogy 1 pixel mekkora méretű.

Tanszékünk egy Rolleimetric 6008-as digitális mérőkamerával rendelkezik (16-18. ábra). A kamera 3 fő részre tagolódik:

- Objektív
- Kamera test
- Digitális hátfal, ami tartalmazza a CCD szenzort és az LCD kijelzőt



16-18. ábra Rolleimetric 6008 tükörreflexes mérőkamera

A képek rögzítése tükörreflexes zárszerkezet segítségével történik. A képi adatokat közvetlenül RAW formátumban lehet tárolni CF (Compaq Flash) memóriakártyán a digitális rátétben. A képek utófeldolgozással jönnek létre. A tömörített képek a kamerahoz tartozó programmal – Capture One Pro 3.7.6 - kicsomagolhatók. Kicsomagolás után a képek élességét, és fényét változtathatjuk, hogy a kiértékeléshez jobb minőségűek legyenek.

Felvételkor a mérőkamera szimulálja a hagyományos filmek fényérzékenységét, amely digitális rátétől függően lehet ISO 50, 100, 200, 400, 800. Közvetlen meghajtású, elektronikusan vezérelt központi zárszerkezettel rendelkezik. Minden objektív metrikusan kalibrált.

A gép alapfelszereltsége: kamera test rögzített digitális rátéttel, kameravédő sapka, kézi fogantyú, kamera elem készlet gyorstöltővel, kereső ernyő nagyítóval, CaptureOne DB szoftver, újratölthető elem és töltő a digitális rátéhoz, védő doboz.

Javasolt kiegészítők: kioldó kábel, sztereo-kioldó, 45°-os vagy 90°-os prizmás kereső. A kamera méretei kb. 143x139x177mm (szélesség x magasság x mélység), súlya kb. 2000g objektív nélkül.

A fényképezésnél négy lehetőség közül választhatunk:

- egyszerre egy képet rögzít
- egyszerre hármat azonos beállítások mellett
- három képet, de azokat egy kicsit különböző beállításokkal
- folyamatos felvételezés

Fontosabb adatok:

- kameraállandó: $c_k = 51.99\text{mm}$
- CCD szenzor mérete: 36.684mm x 36.720mm
- pixelek száma: 4076 x 4080
- pixel méret: 9 x 9 mikron
- LCD kijelző mérete: 2.2"
- 16 Mpixel-es felbontás
- színmélység: 16 bit színenként
- színérzékenység: ISO 50, 100, 200, 400 a digitális rátétől függően.

A kamerával készült felvételek feldolgozása többek között a Rolleimetric cég MSR – Metric Single image Rectification (egyképes képátalakítás) feldolgozó programjával, valamint a képek tájékoztatóhoz és vonalas kiértékeléséhez a CDW szoftverrel történhet.

4. 16.4 Digitális légi kamera

A digitális kamerák területén két fejlesztési irány van a felhasznált érzékelőktől függően:

- mátrixos érzékelők,
- lineáris érzékelők.

4.1. 16.4.1 Mátrix rendszerű érzékelővel ellátott kamerák

A mátrix rendszerű érzékelőknél a CCD elemek egy sorokból és oszlopokból álló felületet képeznek. Erre a megoldásra mutat példát a **Z/I Imaging DMC 2001** digitális kamerája (16-19. ábra). A DMC (**D**igital **M**odular **C**amera rendszer = moduláris digitális kamera) többféle üzemmódban, többféle felvételt készíthet egyszerre. A kamera hármass felépítése alapvetően hasonló a hagyományos kamerákéhoz, megoldásában természetesen azonban lényegesen eltér attól. Az optikai kerete 8 kamerát tartalmazhat, 4 nagyfelbontású páncromatikus és 4 multispektrális kamerát. Az optika fölött van az összes kiszolgáló elektronika. Ez az elektronika kapcsolódik a vezérlőhöz, ami végzi az irányítást és a képtárolást. A kameratest megegyezik a hagyományos RMK-TOP Zeiss kamera girostabilizált kameratestével.



16-19. ábra DMC 2001 [5.]

A DMC 2001 kamerával a következő paraméterű és típusú felvételek készíthetők:

Pánkromatikus ($f = 120$ mm, $f:40/ 2$ sec/kép)

képelemek száma látószög

P1 (1 lencsével) 7.000x4.000 pixel 39°x22°

P2 (2 lencsével) 7.000x7.500 pixel 39°x42°

P4 (4 lencsével) 13.500x8.000 pixel 74°x44°

színes/multispektrális ($f = 25$ mm, $f:40/ 2$ sec/kép, 12 bit-es radiometriai felbontás)

RGB (3 lencse) 3.000x2.000 pixel 72°x50°

RGB + IR 3.000x2.000 pixel 72°x50°

A repülés során legalább két szoftver működik: a repülést felügyelő rendszer és a kamerát vezérlő rendszer. Ezen kívül van még egy „rögtön betekintő” szoftver is, amellyel azonnal megtekinthető és ellenőrizhető a képminőség, valamint a helyes pozíció, vagy navigáció. A felvételek elkészítése után az adatokat rögzítő merevlemezeket kiveszik földi feldolgozásra.

A feldolgozás elsődleges célja, hogy a képeket előkészítsék a fotogrammetriai kiértékelésre. Ebben a folyamatban elvégzik a képnormalizálást, a képtranszformálást, a színekódolást. A repülés egyéb adatait külön adják meg.

A Magyarországon eddig elkészített digitális lég felvételek a **VEXCEL UltraCam_x** kamerával (16-20. ábra) készültek.



16-20. ábra VEXCEL UltraCamx [4.]

Néhány jellemzője:

- pankromatikus „képméret” 17.310x11.310 pixel (9 CCD),
- színes és NIR 5.770x3.770 pixel (4 CCD),
- pixel méret 6 μ m.

A teljes pankromatikus képet 9 képmozaikokból „rakják” össze szoftver segítségével.

A Leica kifejlesztette az RCD100 digitális kamerát, ami pankromatikus, színes és színes infra képeket készít. A felbontása 7.216 x 5.412 pixel.

4.2. 16.4.2 Lineáris érzékelők, szenzorok

Lineáris érzékelőt alkalmaznak az **LH Systems ADS40** típusú légi digitális szenzorban (16-21. ábra). Valójában itt nem kameráról beszélünk, hanem légi digitális érzékelőről (**Airborne Digital Sensor**). A műszer felépítése hasonló itt is a hagyományos kamera felépítéséhez. A leképezés az RC 30-hoz hasonló, jó minőségű optikai rendszeren keresztül történik (DO64 digitális optika), amely f:4.0 nyílászólynál is biztosítja a 150 vonalpár/mm felbontást. A bejövő fényt egy osztó alapszínekre bontja, így nem veszik el spektrális információ. A kamerát az RC 30-as kamerához használt keretbe helyezik el (PAV 30).



16-21. ábra Leica ADS40 [3.]

A képsíkban 3 lineáris CCD érzékelő a pánkromatikus és 4 lineáris CCD érzékelő a színes és színes infra felvételeket készíti.

Az érzékelők spektrális tartományai:

pánkromatikus 465 – 680 nm

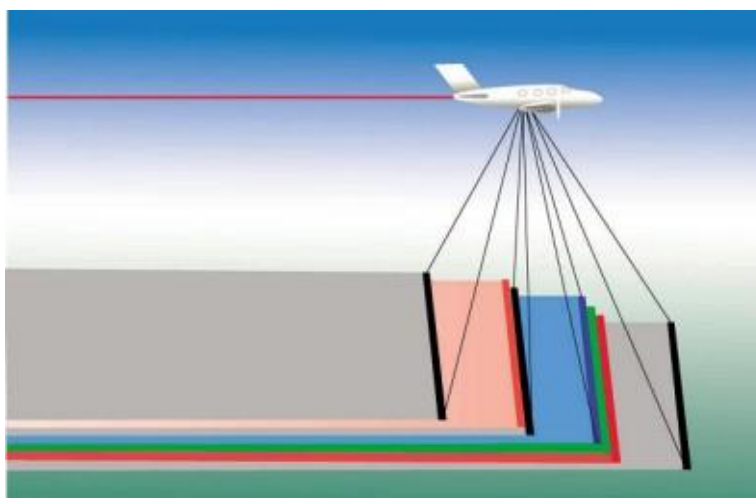
R (red = vörös) 610 – 660 nm

G (green = zöld) 535 – 585 nm

B (blue = kék) 430 – 490 nm

IR (közel infra) 835 – 885 nm

A három pánkromatikus érzékelő közül egy előre tekintve, egy függőlegesen, egy hátra tekintve érzékel (16-22. ábra). Mindegyik CCD sor 12.000 3,5 μm -es elemből áll.



16-22. ábra Az érzékelés irányai [3.]

A képeket nagyméretű merevlemezen tárolják. Az FCMS (repülés- és kameravezérlő, valamint felügyelő rendszer) szoftvert speciálisan az ADS 40-re írták.

A szenzor továbbfejlesztett változata az ADS80, ahol több újdonság mellett lényeges változás, hogy az érzékelés irányában „hátra” irányban is lehet színes és színes infra felvételeket készíteni.

5. 16.5 Összegzés

A modulban összefoglaltuk és bemutattuk a digitális fényképezés alapjait, ezen belül a CCD érzékelők felépítését, fajtáit, jellemzőit, a digitális kamerák felépítését, elemeit. Ismertettük a földi és a légi digitális kamerákat, azok legfontosabb paramétereit.

A modul tananyagának elsajátítása után választ kell tudni adni a következő kérdésekre:

1. Egy CCD chip felépítése, működése.
2. Milyen egy CCD spektrális érzékenysége?
3. Mivel jellemezhetjük a CCD képérzékelőket?
4. Milyen elemekből épül fel a digitális kamera, mik ez egyes elemek feladatai?
5. Hogyan csoportosíthatjuk az amatőr digitális kamerákat?
6. Mutassa be a digitális mérőkamerákat!
7. Milyen digitális légikamerákat ismer, mik azok jellemzői?

Irodalomjegyzék

1. K. Kraus: *Fotogrammetria*, Tertia Kiadó, Budapest, 1998
2. Engler P.: *Fotogrammetria I.*, FVM VKSZI, Budapest, 2007
3. www.leica-geosystems.com/products
5. <http://www.ifp.unistuttgart.de/publications/phowo01/Hinz.pdf>
6. <http://bertab.fw.hu/>
7. <http://ccd.mcse.hu/ccd.html>
8. D. Lezano: *Fotós biblia*, Pannon-Literatúra Kft., Kisújszállás, 2007,
9. www.electrostore.hu/images
10. <http://www.fotozz-alkoss.info/images>
11. <http://dagicams.hu/tp/media/image>