

Fotogrametrinin Temelleri

Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

Harita Mühendisliği Bölümü
Fotogrametri Anabilim Dalı

Doç. Dr. Naci YASTIKLI

İstanbul 2010

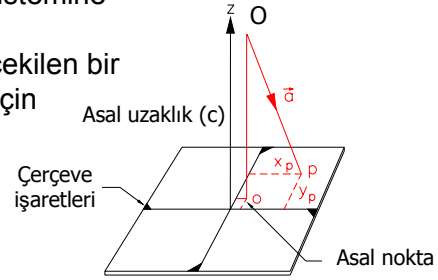
Optik Temeller

- Metrik kameralar (Ölçü kamerası)
 - Genel olarak bir fotoğraf makinasıdır
 - Amatör kameralardan farkı geometrik bakımdan merkezsel izdüşüme –teorik olarak sadık olmasıdır
 - Böyle bir kamerada arazideki bir P noktasından bir ışın doğru bir yol izleyerek O izdüşüm merkezinden geçer ve izdüşüm (fotoğraf) düzleminde P' noktasını oluşturur
 - Fotoğraf çekimi bu varsayıma uygun olarak gerçekleştirilir
 - Bu kameraların en önemli özelliği iç yöneltme elemanları ve kamera distorsiyon hatalarının bilinmesidir

Optik Temeller

- İç yöneltme elemanları

- Fotogrametrik kameraların iç yöneltme elemanları bilinir. Bu elemanlar asal uzaklık (c) ve asal noktanın konumu (x_0, y_0) dur
- Asal uzaklık, net görüntünün oluştuğu fotoğraf düzleminin izdüşüm düzlemine olan uzaklığıdır
- Asal noktanın konumu, fotoğraf çerçeve işaretlerinin belirlediği fotoğraf koordinat sistemine göre tanımlanır
- Fotogrametrik bir kamera ile çekilen bir fotoğraf ile ölçü yapılabilmesi için izdüşüm parametrelerinin yani iç yöneltme elemanlarının bilinmesi gerekir



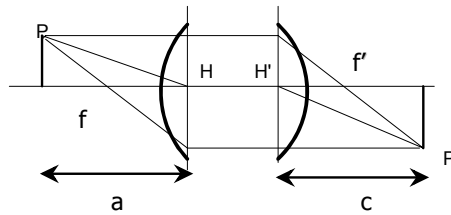
Optik Temeller

- Fotoğraf düzlemi

- Objektiften a kadar uzakta bulunan bir nesnenin görüntüsü, yine objektiften itibaren c kadar uzakta bulunan bir düzlemde oluşuyorsa mercek denkleminde göre

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{c}$$

P : cisim noktası
P' : izdüşüm noktası
f : odak uzaklığı
a : cisim uzaklığı
c : görüntü uzaklığı



Optik Temeller

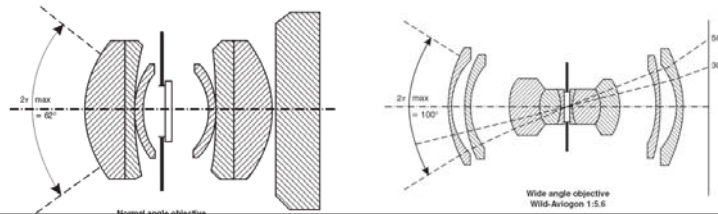
- Fotoğraf düzlemi

- Fotogrametride nesnenin objektife uzaklığı a , f odak uzaklığına göre çok büyüktür ve bu nedenle $a=\infty$ alınabilir
- Bu durumda mercek denkleminde göre $\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{c}$
 $c=f$ bağıntısı bulunur
- Fotogrametride net görüntü odak düzleminde oluşur. Bu nedenle hava kameralarında f odak uzaklığı yerine c görüntü uzaklığı özel deyim ile asal uzaklık alınır
- Fotogrametrik kameralarda görüntünün oluştuğu yüzey tam düzlemdir
- Analog kameralarda, emülsiyon taşıyıcısı olarak önceleri cam kullanılmış sonraları kırılma riski nedeni ile film tercih edilmiştir

Optik Temeller

- Fotoğraf düzlemi

- Fotogrametrik kameralarda mercek sistemi çok sayıda merceğin bir araya gelmesinden oluşan bir sistemdir
- Geometrik olarak nokta şeklinde düşünülen izdüşüm merkezi yerine biri nesne diğeri fotoğraf uzayında olmak üzere iki izdüşüm merkezi vardır
- Bu iki noktanın tek bir izdüşüm merkezi olarak alınmasında, ışının optik eksenle yaptığı açının çıktıktan sonrada aynı kalması koşulu ile hiçbir sakınca yoktur



Optik Temeller

- Nedenlerine göre mercek kusurları
 1. Eksene yakın bölgede olan ancak farklı yükseklikten merceğe gelen ışınların iz düşümündeki kusurlar
 - Küresel aberasyon
 2. Eksenin uzağında bulunan bölgelerin iz düşümünde ortaya çıkan kusurlar
 - Koma
 - Astigmatizm
 - Görüntü alanının eğriliği
 - Distorsiyon
 3. Farklı dalga boyundaki ışık için
 - Kromatik veya renksel aberasyon

Optik Temeller

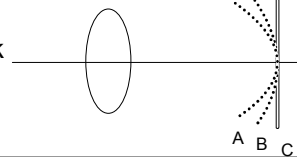
- Görüntü kalitesini etkileyen hatalar
 - Küresel aberasyon,
 - Koma,
 - Astigmatizm,
 - Görüntü alanının eğriliği,
 - Kromatik veya renksel aberasyon
- Görüntü geometrisini etkileyen hatalar
 - Distorsiyon

Optik Temeller

- **Aberasyon**
 - Optik sistemden kaynaklanan kusurlar nedeniyle nesnelerden gelen bütün ışınların izdüşüm düzleminde olmaları gereken yerden daha farklı bir yerde olmaları olarak tanımlanabilir
- **Küresel aberasyon**
 - Optik eksene paralel olarak gelen ışınlar sistemden geçtikten sonra bazılarının odağın gerisinde bazılarının ilerisinde kesiştikleri görülür
 - Bu sapmanın nedeni merceğe farklı yükseklikten gelen ışınların farklı küresel eğrilikli yüzeylere ve dolayısıyla farklı kırılma indisli ortamlara rastlamasıdır
 - Optik eksene en yakın gelen ışınlar en uzakta kesişir, yüksekten gelen ışınlar önce büyük sapma değerleri vermekte, daha sonra kenara doğru bu sapma değerleri azalmaktadır

Optik Temeller

- **Koma**
 - Objektiflere gelen geniş açılı ışınlar resimdeki keskinliği kaldırır
 - Bu nedenle nokta olarak görünmesi gereken ışınlar virgül veya kuyruk biçiminde görünürler
 - Bu hata objektiflerin hesaplanmasında göz önüne alınır ve sistem bir çok mercekten oluşturularak olanakların elverdiği derecede ortadan kaldırılır
- **Astigmatizm**
 - Objektife gelen ışınlardan dar açı teşkil edenleri resim düzlemi üzerinde görüntü oluşturacakları yerde iki ayrı yüzeyde ayrı ayrı görüntü verirler Şekilde A ve B yüzeyleri bu duruma örnekler
 - Objektif sistemlerinde merceklerin uygun birleştirilmeleri ile görüntünün tek bir yüzeyde oluşması sağlanır. Ayrıca bu yüzeyin kamburluğunun ortadan kalkmasının sağlanmasına çalışılır

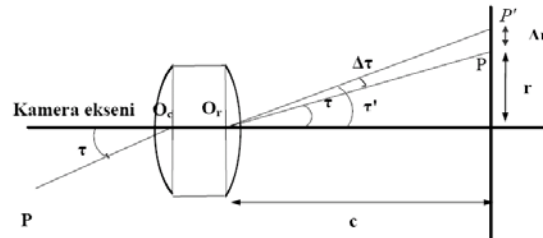


Optik Temeller

- Görüntü Alanının Eğriliği
 - Astigmatizm hatası tek bir yüzeye çevrilse bile bu yüzeyin kamburluğunun giderilmesi mümkün olmamakta bu da görüntü iz düşümünün eğri bir yüzeyde oluşmasına neden olmaktadır. Bu hata güçlü objektif sistemlerinde ortadan kaldırılabilir.
- Renksel Aberasyon
 - Muhtelif renkte olan, farklı dalga boyundaki, ışıktan oluşan güneş ışını merceğe rastladığı zaman bu farklı ışınlar farklı şekilde kırılmaya uğrayacaklardır ve bu durumda optik izdüşüm sonunda görüntülerin konumu odak düzleminde değil farklı iz düşüm düzlemleri ortaya çıkacaktır
 - İz düşüm sonucunda oluşan görüntülerin tek bir fotoğraf düzlemi üzerinde bulunmayışı fotoğraf üzerinde bir bulanıklık oluşturur
 - Bu hatayı ortadan kaldırmak için resim çekimi sırasında objektifin önüne filtreler konulur

Optik Temeller

- Distorsiyon
 - Bir P noktasından gelen ışın kamera eksenini ile τ açısı yaparken kamera objektif sistemindeki kusurlardan dolayı fotoğraf uzayında τ' açısı yaparak çıkacaktır.
 - Sonuç olarak P noktasının görüntüsü P noktası yerine olması gerekenden Δr kadar farklı bir konumda P' noktasında oluşacaktır
 - Bu farka kamera distorsiyon hatası denir

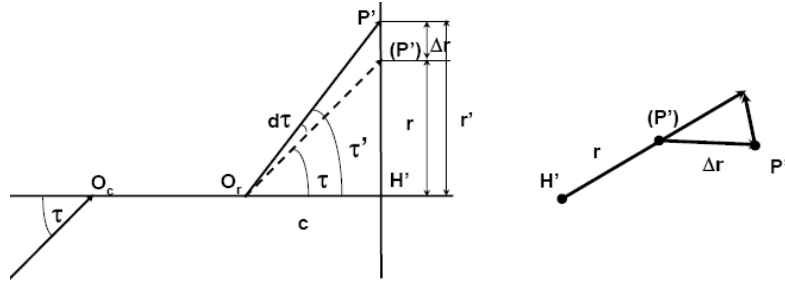


Optik Temeller

- Distorsiyon

$$\Delta r = r' - r = r' - c \cdot \tan \tau = f(\tau) - c \cdot \tan \tau$$

- (P') ve P' noktasını birleştiren Δr doğru parçası verktörel hatadır. Bu çap ve teğet yönünde iki bileşene ayrılabilir
- Çap yönünde (r yönünde) olan bileşenine çapsal (radyal) distorsiyon, diğerine de teğetsel distorsiyon denir



Optik Temeller

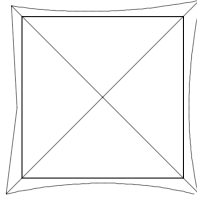
- Distorsiyon

- Distorsiyon hatasının minimum olması için kameralar üretilirken gerekli önlemler alınır. Fakat yine de yukarıda açıklanan nedenlerin ortaya çıkmasını sağlayan hatalar oluşur
- Laboratuar ortamında yapılan duyarlı ölçmeler sonunda kameranın belirli koşullara göre distorsiyonu hesaplanır. Bu durum bir raporla kullanıcılara verilir
- Daha önce bahsedilen diğer hata kaynakları optik sistem ile iz düşürülen görüntünün kalitesine etki etmektedir
- Distorsiyon ise görüntünün yer değiştirmesine neden olur ki, bu yer değiştirme fotoğraf düzleminde ölçek değişimine sebep olur

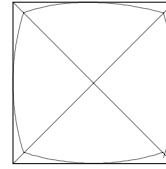
Optik Temeller

• Distorsiyon

- Bu değişim iki biçimde olur. İlkinde ölçek izdüşüm düzleminin kenarlarına doğru artar. Bu durumda pozitif bir distorsiyondan söz edilir ve bir kare biçimindeki cismin izdüşümü yastık biçiminde olur
- Eğer izdüşüm ölçeği kenara doğru azalacak olursa, distorsiyon negatif olur aynı kare biçimindeki cismin izdüşümü fıçı şekline dönüşür



pozitif distorsiyon



negatif distorsiyon

Optik Temeller

• Distorsiyon

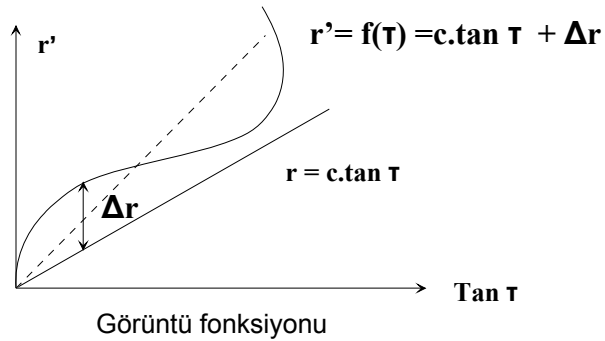
- $r=c \cdot \tan \tau$ fonksiyonu ile elde edilecek izdüşüme distorsiyonsuz izdüşüm adı verilir ve $r=c \cdot \tan \tau$ bağıntısına da görüntü fonksiyonu denilir
- Teorik ve teknik nedenlerden dolayı distorsiyonsuz objektiflerin yapımı olanak dışıdır ancak distorsiyon değeri ancak belirli bir değerin altında tutulabilir
- Bu nedenle gerçek fiziksel izdüşümün resim fonksiyonu $f(\tau)$ ile teorik resim fonksiyonu ile teorik görüntü fonksiyonu $r = c \cdot \tan \tau$ arasındaki fark distorsiyon nedeni ile doğan Δr sapmasıdır. Bu sapma

$$\Delta r = r' - r = r' - c \cdot \tan \tau = f(\tau) - c \cdot \tan \tau$$

Optik Temeller

- Distorsiyon

- Eğer ordinat eksen $y = f(\tau)$ değerlerini absis ekseninde $\tan \tau$ ya gösterecek biçimde seçilirse elde edilen grafik aşağıdaki şekilde görülür
- Aynı grafik gösterimle $r = c \cdot \tan \tau$ doğrusu da çizilsin. Her iki grafik gösterim arasındaki fark Δr distorsiyon ötelemeleridir



Optik Temeller

- Distorsiyon

- Fotogrametrik uygulamalarda en çok kullanılan yöntem resim üzerinde distorsiyonların cebirsel toplamının sıfır olmasıdır. Eğer elde n tane distorsiyon değeri var ise bu koşul

$\sum_{i=1}^n \Delta r = [\Delta r] = 0$ şeklinde olup buradan elde edilen yeni c değeri olarak

$$C_k = \frac{[r']}{[\tan \tau]}$$

c_k =kamera sabiti

Optik Temeller

• Distorsiyon

Çapsal (radyal distorsiyon)

$$\delta r = k_0 r + k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7 + k_4 r^9 + \dots$$

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$\frac{\delta r}{r} = \frac{\delta x}{x} = \frac{\delta y}{y}$$

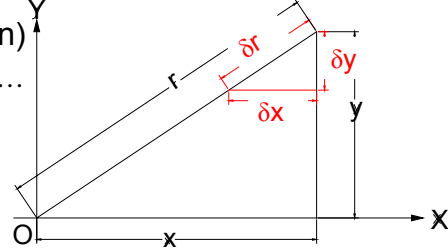
$$\delta x = \frac{\delta r}{r} x = (k_0 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots) x$$

$$\delta y = \frac{\delta r}{r} y = (k_0 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots) y$$

$$x_c = x - \delta x = \left(1 - \frac{\delta r}{r}\right) x = (1 - k_0 - k_1 r^2 - k_2 r^4 - \dots) x$$

Düzeltilmiş fotoğraf koordinatları

$$y_c = y - \delta y = \left(1 - \frac{\delta r}{r}\right) y = (1 - k_0 - k_1 r^2 - k_2 r^4 - \dots) y$$



Optik Temeller

• Distorsiyon

Teğetsel distorsiyon

Teğetsel distorsiyon izdüşüm merkezine göre simetrikdir Conrady-Brown modeline göre

$$\delta x = [P_1 (r^2 + 2x^2) + 2P_2 x y] [1 + P_3 r^2 + P_4 r^4 + \dots]$$

$$\delta y = [2P_1 x y + P_2 (r^2 + 2y^2)] [1 + P_3 r^2 + P_4 r^4 + \dots]$$

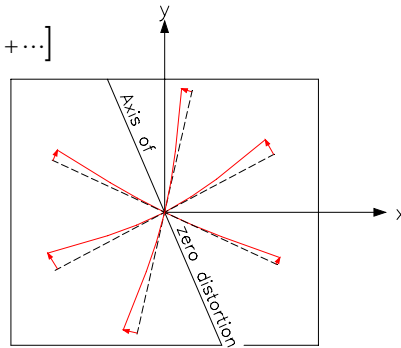
$$P_1 = -J_1 \sin \phi_0$$

$$P_2 = J_1 \cos \phi_0$$

$$P_3 = \frac{J_2}{J_1}$$

$$P_4 = \frac{J_3}{J_1}$$

tangential profile function



Optik Temeller

- Distorsiyon

- Çapsal (radyal distorsiyon)

Radial mesafe (mm)	20	40	60	80	100	120	140	160
Distorsion (μm)	+6	+9	+6	-1	-7	-9	-1	-13
Polynomial (μm)	+5.3	+7.9	+5.2	+0.5	-7.1	-10.5	+0.6	+123

- Teğetsel distorsiyon

$$J_1 = 8.10 \times 10^{-4}$$

$$J_2 = -1.40 \times 10^{-8}$$

$$\varphi_0 = 108^\circ 00'$$

Optik Temeller

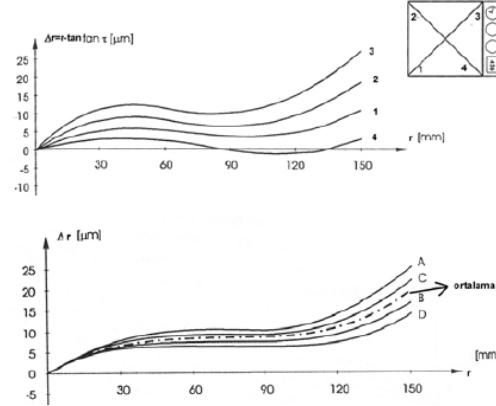
- Kalibrasyon Raporları

- Fotogrametrik kameraların teknik özelliklerini ve gerekli parametreleri içeren raporlara Kalibrasyon Raporları denir.
 - Bu raporlar kamera üreten firma tarafından, ilk üretim sırasında hazırlanır ve kullanıcıya sunulur
 - Bu raporlarda iç yönetim elemanları, distorsiyon değerleri ve objektifin ayırma gücü değerleri bulunur
 - Kalibrasyon raporlarında kamera objektifinin ayırma gücü değerleri de yer alır.
 - Bir mercek sisteminin ayırma gücü değerleri ayırt edilebilen çizgi sayısı ile belirtilir. Bu değerler de laboratuvar testleri ile saptanır.
 - Çözünürlük ya da ayırma gücü değerleri τ açısına ya da r çapsal uzaklığa göre tablolar şeklinde ve mm deki ayırt edilebilen çift çizgi sayısı olarak verilir.

Optik Temeller

• Distorsiyon

- Kalibrasyon raporlarında distorsiyon hataları dört yarı köşegen için verilir. Bu değerler grafikler biçiminde olabileceği gibi bir çizelge biçiminde sayısal değerler olarak da verilebilir.



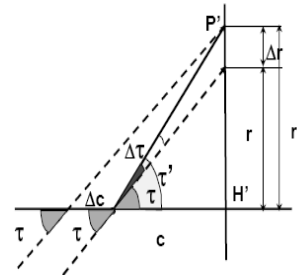
Optik Temeller

• Distorsiyon hatalarının düzeltilmesi

- τ açısının $\Delta \tau$ kadar düzeltilmesi,
- c asal uzaklığının Δc kadar düzeltilmesi,
- r uzaklığının Δr kadar düzeltilmesi

$$r' = c \cdot \tan(\tau + \Delta \tau)$$

$$\Delta c = \Delta r \cdot \cot \tau = \frac{c}{r' - \Delta r} \Delta r$$



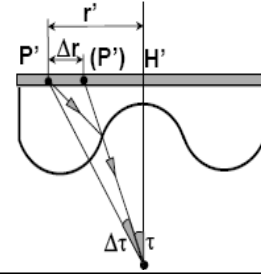
Optik Temeller

- τ açısının $\Delta \tau$ kadar düzeltilmesi

$$r' = c \cdot \tan (\tau + \Delta \tau)$$

$$\tau' = \tau + \Delta \tau$$

- pozitif baskıları sırasında ya da değerlendirme aletlerinin projektörlerinde, fotoğraf çekiminde kullanılan kameranın distorsiyonu ile aynı olan objektifler kullanılması (Optik izdüşümlü aletlerde)
- Düzeltme plakaları kullanılarak izdüşüm ışını $\Delta \tau$ kadar düzeltilerek hem kameranın hem de değerlendirme projektörün distorsiyon hatasını toptan giderilir



Optik Temeller

- c asal uzaklığının Δc kadar düzeltilmesi

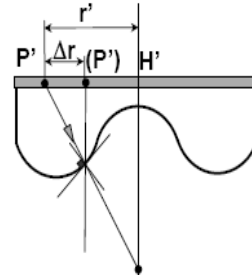
$$r' = c \cdot \tan (\tau + \Delta \tau)$$

$$\Delta c = \Delta r \cdot \cot \tau = \frac{c}{r' - \Delta r} \Delta r$$

- Her tür kamera için özel olarak üretilen, distorsiyon değişmesi ile uyumlu küçük madeni yuvarlaklar yardımı ile, stereo değerlendirme aletinde, her nokta için asal uzaklık uygun şekilde değiştirilir

Optik Temeller

- r uzaklığının Δr kadar düzeltilmesi
 - Fotoğraf taşıyıcısının altına distorsiyon düzeltme plakalarının yerleştirilmesi ile P' noktası Δr kadar ötelenerek olması gereken (P') noktasında görülür

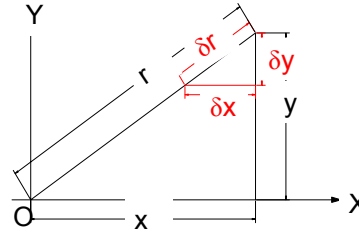


Optik Temeller

- r uzaklığının Δr kadar düzeltilmesi
 - Sayısal fotogrametri yönteminde distorsiyon düzeltmesi, sayısal olarak yapılır
 - çapsal uzaklık $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ hesaplanır
 - Bu değere karşılık gelen distorsiyon hatası kalibrasyon raporundan, enterpolasyon ile bulunur
 - Düzeltilmiş x', y' fotoğraf koordinatları aşağıdaki formüllerle kolayca hesaplanır

$$x' = x \left(1 - \frac{\Delta r}{r} \right)$$

$$y' = y \left(1 - \frac{\Delta r}{r} \right)$$



Optik Temeller

- r uzaklığının Δr kadar düzeltilmesi (Uygulama)

r (mm)	0	20	40	60	80	100	120	140	156
Δr (μm)	0	5.1	7.3	3.4	-2.1	-5.7	-3	4.1	-7.8

- P_1 ve P_2 noktalarının düzeltilmiş fotoğraf koordinatlarını yukarıdaki tablo yardımıyla hesaplayınız

P_1 (2.245, 45.630) P_2 (67.941, 24.867)

Fotoğrafik Temeller

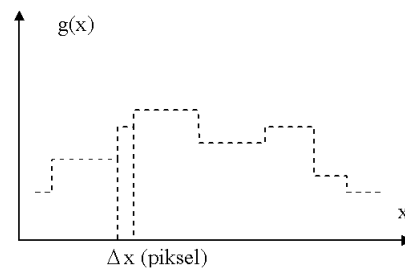
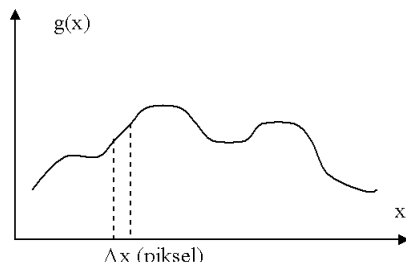
- Fotoğraf
 - Işığa duyarlı katman üzerine bir kamera ile kaydedilen görüntüdür
 - Pozitif, Negatif fotoğraf
 - Siyah/Beyaz fotoğraf, doğal renkli fotoğraf, yapay renkli fotoğraf
 - Analog fotoğraf, sayısal fotoğraf
 - Son yıllarda sayısal fotoğraf kavramı oldukça yaygınlaşmıştır
 - Sayısal fotoğraf, sayısal kameralarla kaydedileceği gibi analog fotoğrafların taranması ile de elde edilebilir

Fotoğrafik Temeller

- Analog bir kamera ile kaydedilen fotoğraf sürekli bir fonksiyon olarak düşünülebilir
- Bu fonksiyonu $g(x,y)$ şeklinde tanımlayacak olursak, x,y konuma ilişkin koordinatlar olarak düşünülebilir
- $g(x,y)$ değerine karşılık gelen değerler ise yoğunluk değerini diğer bir ifade ile gri değerleri ifade eder
- Analog bir fotoğrafta hem konum hem de yoğunluk değerleri sürekli dir
- Analog bir fotoğraf sayısal hale dönüştürüldüğünde bu fonksiyon kesikli hale dönüşür
- Sürekli fonksiyonun kesikli fonksiyon şekline dönüştürülmesi işlemine sayısallaştırma denir
- Bu işlem sonucunda elde edilen ürün sayısal fotoğraf yada görüntü olarak isimlendirilir

Fotoğrafik Temeller

- Sayısallaştırma işlemi x,y eksenleri boyunca belirli aralıklarla yapılan örnekleme ve bu örnek alanlara karşılık gelen yoğunluk değerlerinin yani gri değerlerin bulunmasıdır



Fotoğrafik Temeller

- Sayısallaştırma işlemi sonucunda sayısal görüntü matris formunda aşağıdaki gibi gösterilebilir

$$g(x,y) = \begin{vmatrix} g(0,0) & g(0,1) & . & . & g(0,C-1) \\ g(1,0) & g(1,1) & . & . & g(1,C-1) \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ g(R-1,0) & g(R-1,1) & . & . & g(R-1,C-1) \end{vmatrix}$$

Burada:

$x=0,1,\dots,C-1$ satır

$y=0,1,\dots,R-1$ sütun

R maksimum satır

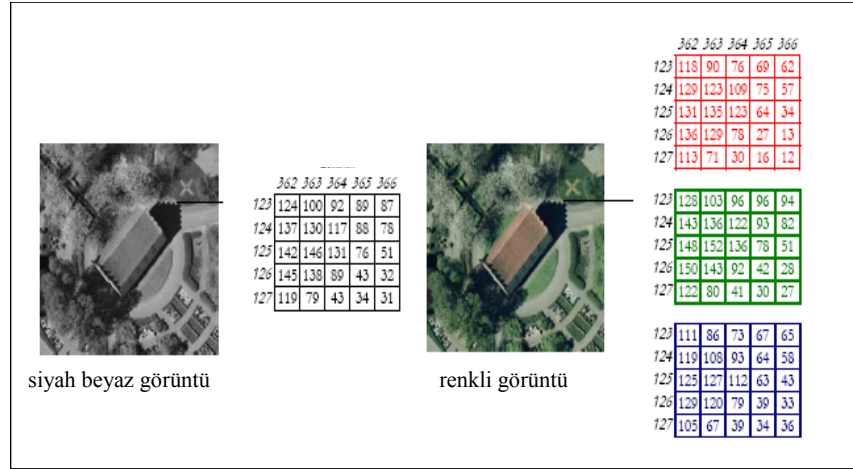
C maksimum sütun

$g(x,y) = \{0,1,2,\dots,\text{maksimum}\}$ gri değeri ifade etmektedir.

Fotoğrafik Temeller

- Siyah beyaz görüntülerde gri değerler 0 ile 255 değerleri arasında değişen gri değerlerle ifade ediliyor ise bu görüntülere 8 bitlik görüntü ($2^8=256$) yada görüntünün radyometrik çözünürlüğü 8 bit denir
- Binary görüntülerde gri değer sadece siyah ve beyaz $\{0,1\}$ şeklindedir
- Renkli bir sayısal görüntü matrisi ise $G = \{g_1(x,y), g_2(x,y), g_3(x,y)\}$ şeklindedir
- Çok bantlı görüntülerde G görüntü matrisi $i=\{0,1,\dots,n-1\}$ bant sayısı olmak üzere her bant için alt $g_i(x,y)$ matrisinden oluşur
- Sayısal video görüntülerinde olduğu gibi zaman serili görüntülerde görüntü matrisi $g_t(x,y)$, $t=\{0,1,\dots,T\}$ şeklinde ifade edilebilir. Burada t zamanı göstermektedir

Fotoğrafik Temeller

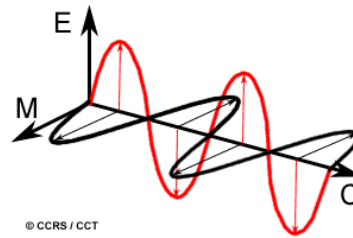


Siyah beyaz ve renkli (kırmızı,yeşil, mavi) görüntü matrisi

Fotoğrafik Temeller

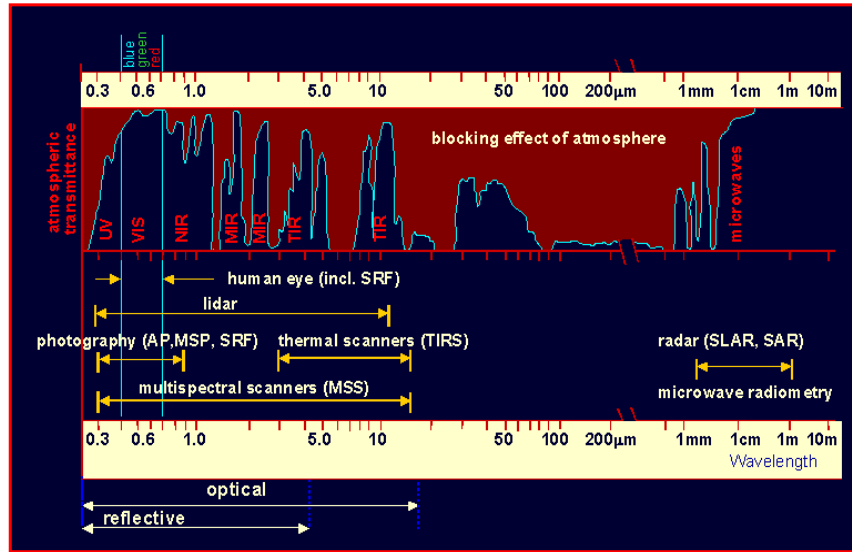
- Elektromanyetik spektrum

- Kozmik Işınlr
- Gama Işınlrı
- X/Röntgen Işınlrı
- Morötesi Işınlr
- Görünür Bölge
- Kızılötesi Işınlr
- Mikrodalgalar
- Radyo dalgaları ve diğer uzun dalga boyları



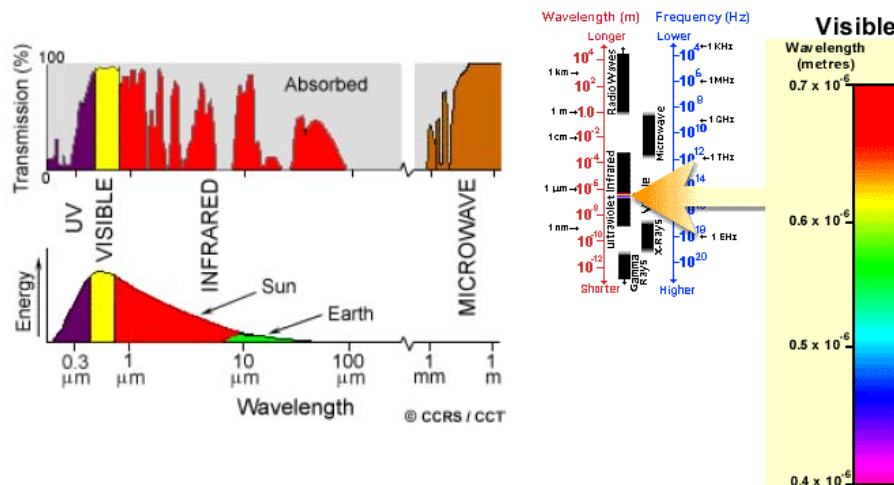
Fotoğrafik Temeller

Elektromanyetik spektrum, ışık hızı ile hareket eden dalga boyu nanometrelerden kilometrelere kadar uzanan sürekli enerji ortamıdır



Fotoğrafik Temeller

- Elektromanyetik spektrum ve enerji seviyeleri

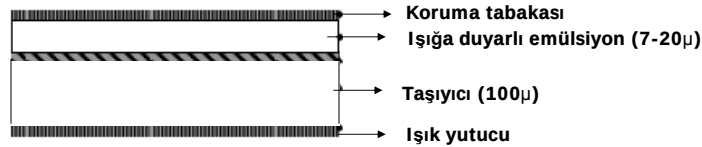


Fotoğrafik Temeller

- Elektromanyetik spektrum
 - Morötesi bölge: dalga boyları 0.01-0.4 mikron arasındır ve yakın mor ötesi (0.3-0.4 μm) atmosferden geçebilir. Cam 0.35 μm dalga boyuna kadar olan morötesi ışınları geçirir. Bu bölgede kayıt yapmak için, kuartz'lı ve lityum florürlü merceklerin kullanıldığı özel kameralar kullanılır.
 - Kızılötesi Bölge: dalga boyları 0.8-343 mikron arasındır ve yakın mor ötesi (0.3-0.4 μm) atmosferden geçebilir. Güneş ışınlarında 5.3 μm kadar olan kızıl ötesi ışınlar saptamıştır. Daha uzun dalga boylu kızılötesi ışınlar atmosferde su buharı tarafından yutulur. Cam 2 μm , kuartz 4 μm , kasiyum florür 8.5 μm , kaya tuzu 14 μm ve potasyum florür 20-23 μm olan kızılötesi ışınları geçirir.

Fotoğrafik Temeller

- Siyah-beyaz fotoğraf emülsiyonları



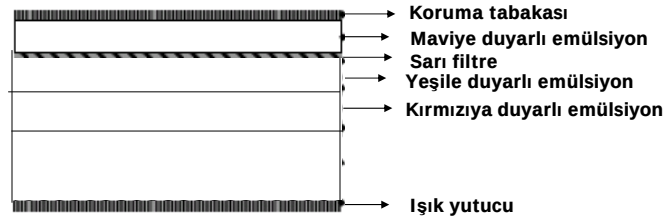
Emülsiyon (Duyarkat) ışığa duyarlı gümüş halojenidlerden (AgBr, AgCl, AgJ, v.b) oluşan bir katmandır. Bu maddeler ince tanecikler halinde bir jelatin içinde çözülmeyen sabit tanecikler biçiminde bulunur ve boyutları 0.5-1 μ dolayındadır

Fotoğrafik Temeller

- Siyah-beyaz fotoğraf
 - Kamera önündeki perde kısa bir süre açıldığında mercek sisteminden geçen ışık emülsiyonu etkiler
 - Işığın fazla geldiği noktalarda etkilenme daha fazla, az geldiği noktalarda etkilenme daha az olur. Böylece gözle görülmeyen gizli bir görüntü oluşur
 - Yapılan kimyasal işlemler sonrasında bu gizli görüntü görünür ve kalıcı hale gelir

Fotoğrafik Temeller

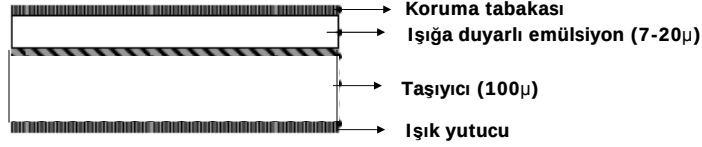
- Renkli ve yapay renkli fotoğraf emülsiyonları



- Renkli emülsiyonlar elektromanyetik spektrumun belirli bölgelerine duyarlı katmanlardan oluşur
- Örneğin mavi, yeşil ve kırmızı renklere duyarlı üç katman ile doğal renkli bir fotoğraf oluşur
- Yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi renklere duyarlı üç katman ile alışılmamış bir renkli bir fotoğraf oluşur. Bu fotoğraflara yapay renki fotoğraf denir

Fotoğrafik Temeller

- Emülsiyon taşıyıcısı



Fotoğraf emülsiyonları cam, film ve kağıt üzerine sürülür ve emülsiyon taşıyıcısının boyut değiştirmesinin çok küçük olması istenir

- Cam, boyut değiştirmesi en küçük taşıyıcıdır ve bu nedenle yersel kameralarda cam (kalınlığı 2-3 mm) kullanılmıştır. Hava fotogrametrisinde çok fazla yer tutması ve kırılma riski nedeniyle pek kullanılmaz.
- Film, plastik maddelerden yapılan saydam bir emülsiyon taşıyıcısıdır. Cronar, polyester ve asetat'dan yapılmaktadır. Boyut değiştirmesinin çok az ve homajen olması gerekir. Hava fotogrametrisinde kullanılan filmlerin kalınlıkları 0.1-0.25 mm genişlikleri 25 cm dir.

Analog Hava Kameraları

ZI-Imaging RMK Top



Leica RC 30



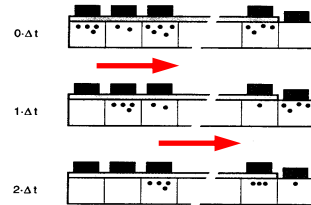
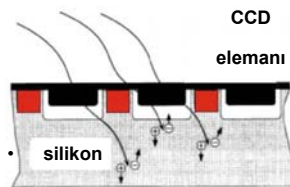
	ZI-Imaging ¹⁾	Leica ²⁾
Kamera tipi	RMK Top	RC 30
Fotoğraf formatı [cm]	23 x 23	23 x 23
Lens	Pleogon A3	UAG-S
Odak uzaklığı [cm]	15	15
Kamera açıklığı [gon]	82	82
Diyafram	1:4 – 1:22	1:4 – 1:22
Poz süresi	1/50 – 1/1000	1/100 – 1/1000
Film uzunluğu [m]	150	120
Min. fotoğraf kayıt [s]	1.5	2
Ağırlık [kg]	~ 134	~ 130

Sayısal Hava Kameraları

- Sayısal kameralar, silikon detektör, bilgisayar işlem hızı ve depolama kapasiteleri ile ilgili teknolojik gelişmelerle kullanılmaya başlanmış ve analog hava kameralara rakip olarak gösterilmektedir.
- Sayısal kameralar:
 - Klasik hava kameralarındaki banyo işlemleri ve hava fotoğraflarının taranması işlemlerini ortadan kaldırmakta,
 - Yüksek ve görüntünün tümünde aynı kalitede radyometrik çözünürlük sağlamakta,
 - Elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızıl ötesi bölgesinde aynı anda görüntü kaydını olanaklı hale getirmekte, renkli ve yapay renkli görüntüler elde edilebilmektedir.

Fotoğrafik Temeller

- Sayısal kameralarda kullanılan görüntü kayıt sistemi Charge Couple Device (CCD)'ye dayanmaktadır,
- CCD elemanına gelen ışık, şiddeti ile orantılı olarak elektrik yükü oluşturur,
- CCD'lerin temel yapı elemanı silikon detektörler bir dizi şeklinde veya bir çerçeve içerisindeki alanı kaplayacak biçimde dizilirler
- Her kayıt elemanı, diğer bir deyişle silikon detektör, yeryüzündeki objelerden yansıyan ışık enerjisini elektrik sinyallerine dönüştürerek kaydeder
- Bu elektrik yükü transfer edilerek kaydedilir ve radyometrik yoğunluk değerine dönüştürülür



Sayısal (CCD) Hava Kameraları



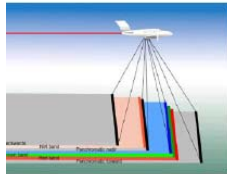
ADS40 – Leica



DMC – ZI-Imaging



UltraCam_D – Vexcel



Sayısal (CCD) Hava Kameraları



Starimager – Starlabo



DIMAC – Cicade

DSS – Applanix/
Emerge



IGN – System



HRSC-A – DLR



Sayısal Hava Kameraları

- Silikon CCD elemanı tek bir dizi şeklinde dizilmiş ise, sayısal dizi kamera “digital line camera”,
- Silikon CCD elemanı bir çerçeve içerisindeki çok sayıdaki dizi CCD grubundan oluşmuşsa, sayısal çerçeve kameralar “digital frame camera” olarak isimlendirilir.
- Ayırma gücü 40-80 μm olan 23 x 23 cm formatında bir analog hava fotoğrafı 12.5 mikron piksel büyüklüğünde taranırsa sayısal fotoğraf 18400 x 18400 pikselden oluşur.

Sayısal Hava Kameraları

Sayısal çerçeve kameralar	Çözünürlük	Piksel büyüklüğü	Odak uzaklığı
Intergraph DMC	8000 x 14000 pan	12 μm	120mm
Vexcel UltraCam _D	7500 x 11500 pan	9 μm	100mm
Applanix DSS	4092 x 4077	9 μm	55mm or 35mm
DIMAC	4080 x 5440	9 μm	60mm – 150mm



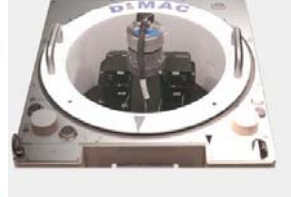
DMC



UltraCam_D

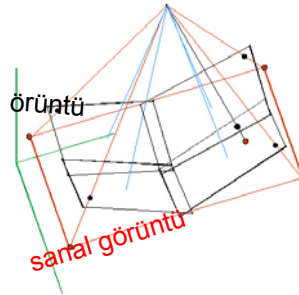
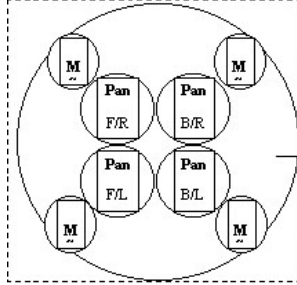


DSS

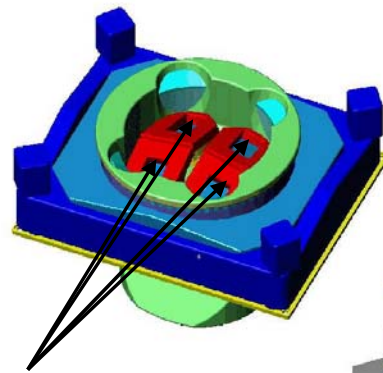


DIMAC

Z/I Digital modular Camera (DMC)

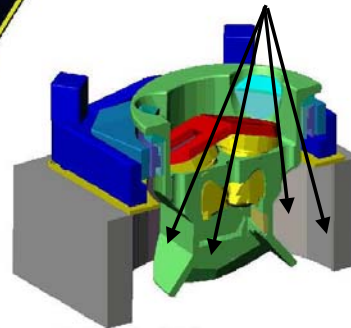


Z/I Digital modular Camera (DMC)

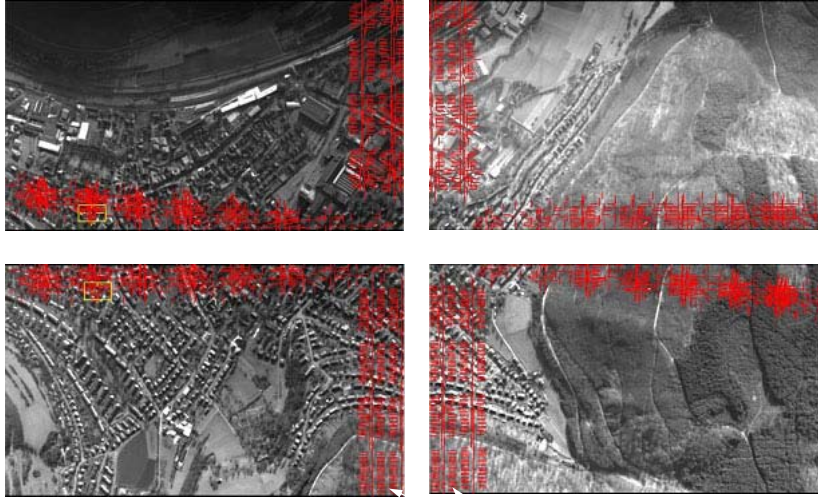


4 adet pankromatik kamera

4 adet multispektral kamera

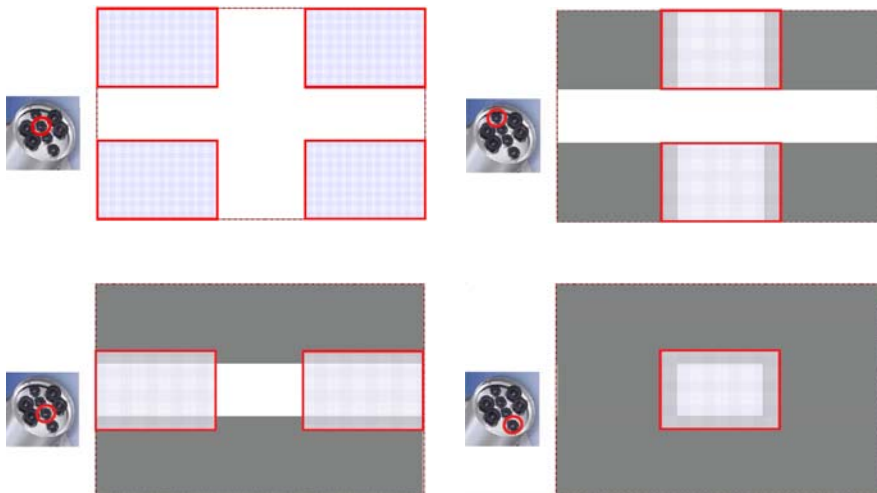


Z/I Digital modular Camera (DMC)



bağlama noktaları

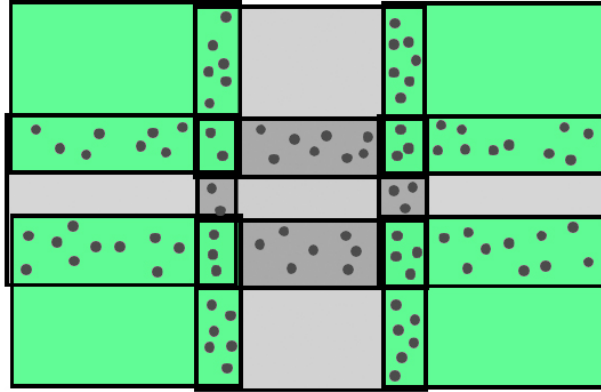
Vexcel UltraCam_D



Vexcel UltraCam_D

11 500 piksel (x)

7 500 piksel (y)

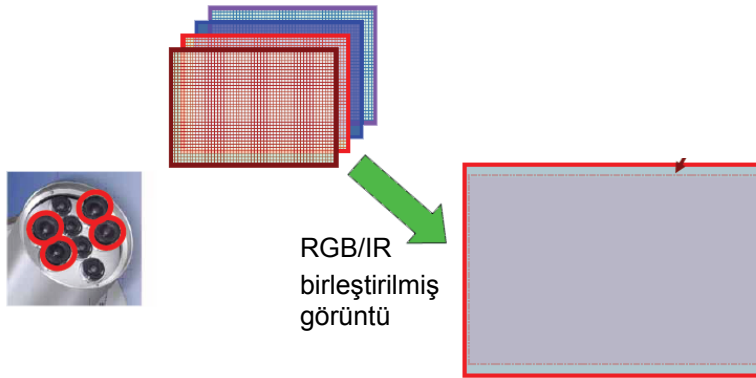


Uçuş yönü

A white arrow pointing upwards, indicating the flight direction (Uçuş yönü).

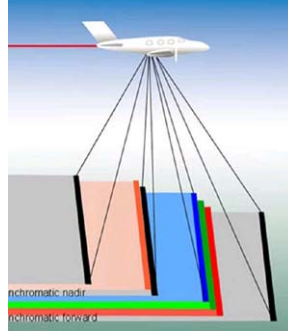
Vexcel UltraCam_D

5., 6., 7., 8. objektifler tek CCD çerçeve kamera



Sayısal Dizi Hava Kameraları

Sayısal dizi kameralar	çözünürlük	Piksel büyüklüğü	Uçuş yönündeki bakış açısı	Kamera açıklık açısı
Leica ADS40	2 x 12000 staggered	6.5µm	-16°, nadir, 26°	62°
Starlabo StarImager	14400	5µm	-23°, nadir, 17°	62°
JAS 150	12000	6.5µm	nadir, +/-12°, +/-20.5°	29°



staggered CCD

2 x 12 000 CCD-elementi

Sayısal (CCD) Hava Kameraları

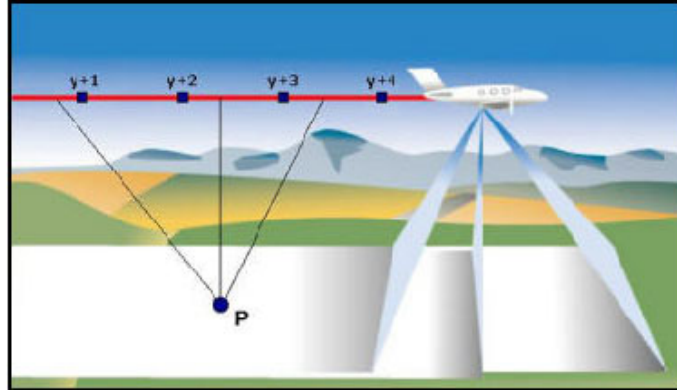


Starlabo StarImager



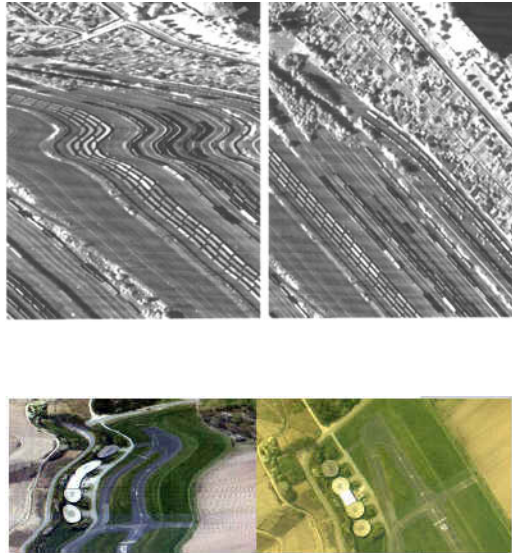
DLR HRSC

Sayısal Dizi Hava Kameraları

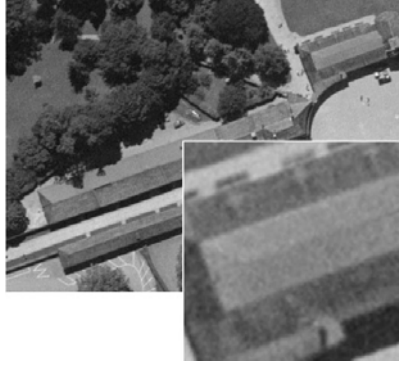


Her tarama dizisi için yöneltme elemanlarına
gereksinim var
GPS/IMU (Inertial Measurement Unit)

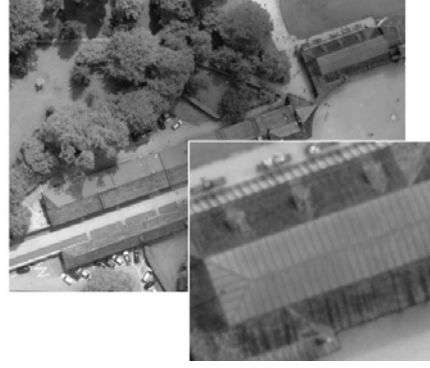
Sayısal Dizi Hava Kameraları



Sayısal Hava Kameraları



15 μm ile taranmış yer ayırma ayırma gücü 15 cm
hava fotoğrafı



yer ayırma gücü 17 cm
sayısal kamera

Vexcel UltraCamD

Sayısal Hava Kameraları



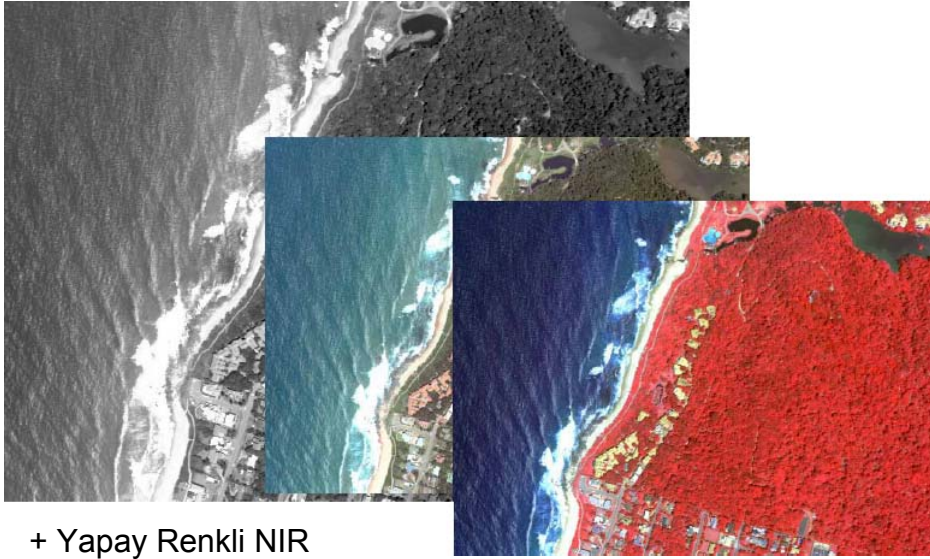
Vexcel UltraCamD

Sayısal Hava Kameraları



Vexcel UltraCamD

Sayısal Hava Kameraları

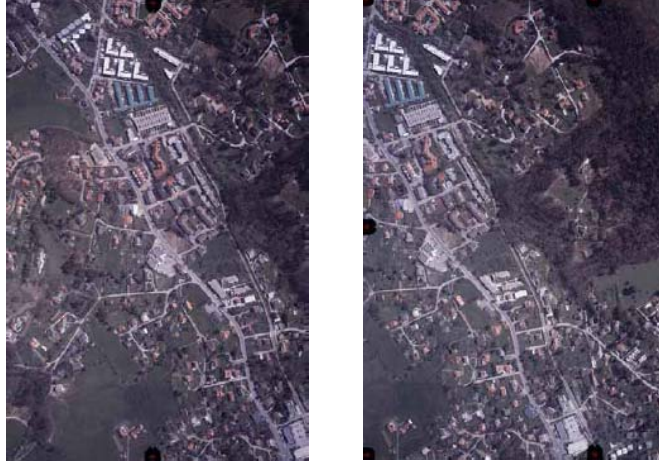


+ Yapay Renkli NIR

Vexcel UltraCamD



Analog Stereo Görüntü



Vexcel UltraCamD

Sayısal Stereo Görüntü



Vexcel UltraCamD

Analog fotoğraf

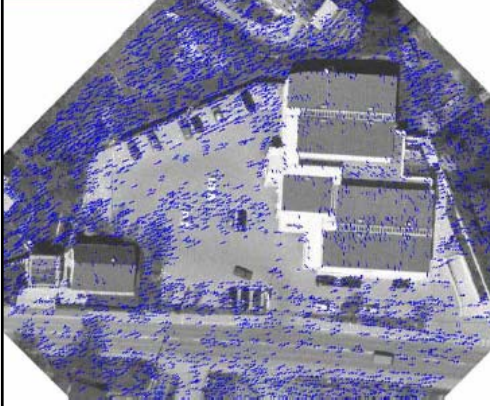
Sayısal fotoğraf



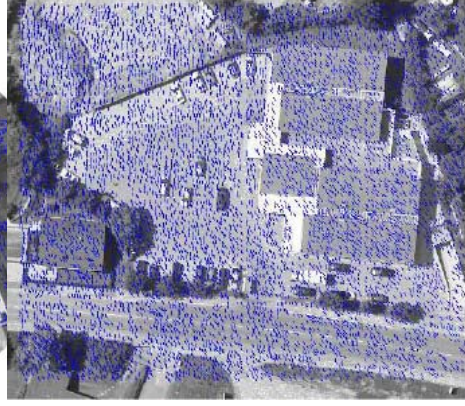
Vexcel UltraCamD



Analog fotoğraf



Sayısal fotoğraf



Vexcel UltraCamD

Fotoğrafik Temeller

- Siyah-beyaz fotoğraf banyo işlemleri
 - Gizli görüntü banyo işlemleri sonucunda kalıcı bir biçime dönüşür
 - Adımları: Geliştirme banyosu, Durdurma banyosu, Saptama banyosu, Yıkama ve Kurutma
 - Geliştirme banyosu: bu aşamada banyo sıvısı olan kimyasal eriyik ışık almış gümüş taneciklerini ışık almamış taneciklerden daha hızlı bir şekilde karartır. Banyo sırasında emülsiyonu etkileyecek ışık bulunmaz karanlık odada çalışılır. Süre 3-5 dakikadır. Banyo sıvısının bileşimi, filmin hızı, karakteristik eğri ve taneciklerin büyüklüğü işlemin hızını etkiler.

Fotoğrafik Temeller

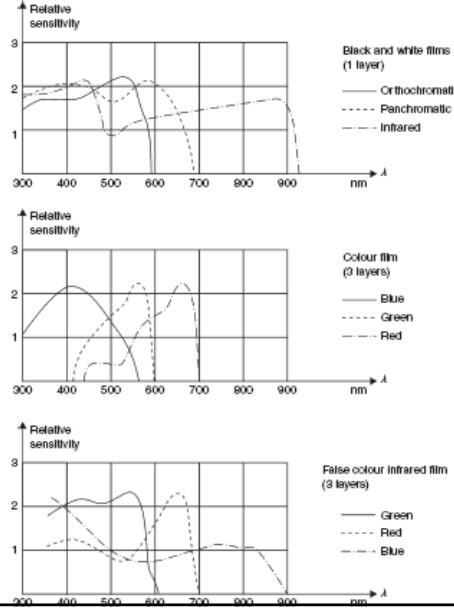
- Siyah-beyaz fotoğraf banyo işlemleri
 - Durdurma banyosu: bu banyonun görevi bundan sonra oluşabilecek kimyasal reaksiyonları durdurmaktır. Banyo genellikle su içerisine %2 oranında karıştırılan asetik asitten ibarettir. Çoğu zamanda sadece yıkamadır. Süresi yaklaşık 1 dakikadır.
 - Saptama Banyosu: Bu banyonun amacı ışık almamış tanecikleri suda eriyebilen bir bileşime dönüştürerek banyo sırasında veya daha sonraki yıkama sırasında bunların emülsiyondan uzaklaştırılmasıdır. Bu şekilde emülsiyonun ışığa karşı duyarlılığı giderilmiş ve görüntüye kalıcılık sağlanmış olur. Süresi 10-15 dakikadır.

Fotoğrafik Temeller

- Duyarlık/Spektral Duyarlık
 - Fotoğrafik malzemenin üzerine düşen ışık (radyasyon) enerjisine reaksiyon gösterebilme yeteneğine duyarlık denir
 - Farklı dalga boyları için duyarlığın da farklı olması doğaldır ve bu nedenle spektral duyarlık olarak da tanımlanır
 - Gümüş tanecikleri mavi ve morötesi yakınındaki dalgalara duyarlıdır
 - Optik duyarlayıcı adı verilen bazı organik boyalar eklenerek, uzun dalga boylu enerji optik duyarlayıcılar tarafından yutulur ve gümüş taneciklerine artarılır ve bu yolla gümüş tanecikleri daha uzun dalga boylu enerjiye de duyarlı hale getirilir

Fotoğrafik Temeller

- Duyarlık/Spektral Duyarlık
 - Farklı fotoğraf malzemelerinin farklı dalga boylarına duyarlılıkları gösterilmiştir
 - Yatay eksen dalga boylarını, düşey eksen bağıl (rölatif) duyarlılığın logaritma değerini göstermektedir
 - Renkli (mavi, yeşil, kırmızı) ve yapay renkli (yeşil, kırmızı, yakın kızılötesi) emülsiyonlar üç ayrı katmanın üstüste yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur
 - Develope edilmiş bir emülsiyonun ışık geçirgenliği ile ilgili bir dizi ölçme sonucunda saptanır



Fotoğrafik Temeller

- Geçirgenlik/Saydamlık/ Matlık
 - Geçirgenlik, birim zamanda emülsiyona gelen ışık enerjisine göre geçen ışık miktarıdır ve T (Transperancy) ile ifade edilir
 - Bu oranın tersine de matlık yada opozite denir

$$T = \frac{\text{Geçen ışık miktarı}}{\text{Gelen ışık miktarı}}$$

$$O = \frac{1}{T} = \frac{\text{Gelen ışık miktarı}}{\text{Geçen ışık miktarı}}$$

Fotoğrafik Temeller

- Kararma/Optik Yoğunluk

- Pozlanmış bir malzemenin (film, cam kağıt) geliştirme banyosundan sonraki kararma derecesini belirlemek için, D ile gösterilen ve yoğunluk yada kararma adı verilen bir ölçüt olarak kullanılır
- Bu ölçüt 10 tabanına göre mantığın yada saydamlığın tersinin logaritmasıdır

$$D = \log_{10} \frac{\text{gelen ışık miktarı}}{\text{geçen ışık miktarı}} = \log \frac{1}{T} = -\log T$$

- Siyah film hiç ışık geçirmez, berrak film ise ışığı tam geçirir
- Kararma 1 ise gelen ışığın 1/10 geçiyor 9/10 yutuluyor
- Kararma 2 ise gelen ışığın 1/100 geçiyor 99/100 yutuluyor

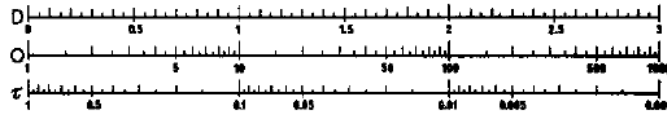
Fotoğrafik Temeller

- Pozlama

- Işığa duyarlı malzeme tarafından toplanan enerji miktarına pozlama denir ve E ile gösterilir

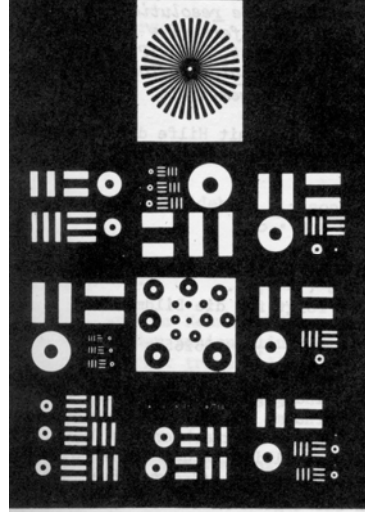
$$E = I * t$$

- I lüks biriminde ışıklandırma yada aydınlatma, t saniye biriminde poz süresi ve E pozlamanın birimi lüks-saniye



Fotoğrafik Temeller

- Ayırma Gücü/Çözünürlük
 - Gözün ayırma gücü, objektifin ayırma gücü, fotoğrafik malzemenin ayırma gücü/çözünürlüğü
 - 1 mm de ayırt edilebilen maksimum çizgi sayısı
 - Bir hava fotoğrafında ortalarda 200 çift çizgi/mm kenarlarda 120 çift/mm dir
 - Belirlemek için çeşitli sıklıkta çizgilerden oluşan hedeflerin fotoğrafları çekilir ve hangi düzeye kadar ayırt edilebileceği saptanır



Fotoğrafik Temeller

- Ayırma Gücü/Çözünürlük
 - İnce grenli filmlerin ayırma güçleri yüksektir
 - Ayırma gücü
 - Objektifin ayırma gücüne
 - Poz süresine
 - Netlik ayarına
 - Banyo koşullarına
 - Fotoğrafı çekilen objenin kontrastlık derecesine bağlıdır
 - Ayırma gücü yerine son yıllarda filmin objektifin ve diğer optik bileşenlerin görüntü oluşturma yada ayrıntıları yeniden oluşturma yeteneği MTF (Modülasyon Transfer Fonksiyonu) ile tanımlanmaktadır

Fotoğrafik Temeller

• Hız/Genel Duyarlık

- Emülsiyona bağlı olarak her filme verilmesi gereken ışık miktarı değişir. Kimi film az kimi film çok ışıklandırma ister. Fotoğrafik malzemenin bu özelliği genel duyarlılık ve hız olarak isimlendirilir
- Örneğin $\Delta D=0.1$ koyuluk dereceli ışıklandırmayı birim alınabilir
- Genel duyarlık yada hız
 - **DIN** (Deutsche Industrie Norm) Almanya $\Delta D=0.1$
 - **ASA** (American Standards Association) ABD $\Delta D=0.3$ (**AFS, Aerial Film Speed**)
 - **BSI** (British Standard Institution) İngiltere

$$ASA = \frac{0.8}{E}$$

$$DIN =_{10} \log \left(\frac{1}{E} \right) =_{10} \log \left(\frac{ASA}{0.8} \right)$$

Fotoğrafik Temeller

DIN	ASA	BSI		DIN	ASA	BSI
1	1.0	11		21	100	31
2	1.2	12		22	125	32
3	1.6	13		23	160	33
4	2.0	14		24	200	34
5	2.5	15		25	250	35
6	3	16		26	320	36
7	4	17		27	400	37
8	5	18		28	500	38
9	6	19		29	640	39
10	8	20		30	800	40
11	10	21		40	8000	50
12	12	22				
13	16	23				
14	20	24				
15	25	25				
16	32	26				
17	40	27				
18	50	28				
19	64	29				
20	80	30				

Fotoğrafik Temeller

- Hız/Genel Duyarlık
 - $E=I \cdot t$ eşitliğinde I nın sabit olması durumunda ASA değerleri arasındaki oran aynı yoğunluğu elde etmek için poz süreleri arasındaki oranın tersine eşittir

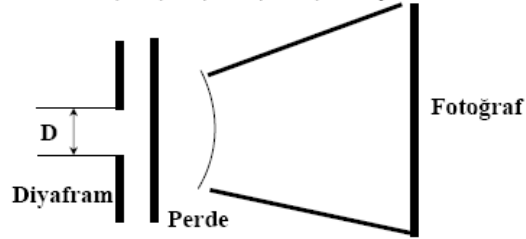
$$\frac{ASA(1)}{ASA(2)} = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$$

Fotoğrafik Temeller

- Bağlı Açıklık
 - Kamera objektifinde ışığın istenen miktarda geçip geçmemesini sağlayacak, ayarlanabilir daire biçiminde bir delik bulunur. Buna diyafram denir. Objektifin bağlı açıklığı D/f ile tanımlanır. D , diyafram çapı, f ise objektifin odak uzaklığıdır.
 - D/f yerine $f/D=N$ de kullanılır. Bu oran belirli bir ışık şiddeti altında birim zamanda objektiften geçen ışık miktarını tanımlar
 - Söz gelimi 30 cm odak uzaklığı olan bir kamerada $f/5.6$ da etkili diyafram açıklığı $30/5.6= 5.36$ cm dir.

Fotoğrafik Temeller

- Bağlı Açıklık
 - Fotoğraf makinalarındaki diyafram sistemi, ışık giren alanı adımlar halinde değiştirir.
 - Her adımdaki alan kendisinden önceki alanın yarısı kadardır. Bu nedenle kameralardaki $N=f/D$ sayıları $\sqrt{2}$ oranında değişir. N büyüdükçe diyafram açıklığı küçülür.
 - Diyafram adımları: 1/2.8, 1/4, 1/8, 1/11, 1/16, 1/22 şeklindedir.



Fotoğrafik Temeller

- Filtreler
 - Fotoğrafçılıkta filtreler sis ve pusun neden olduğu saçınmanın etkisini azaltmak, parıldamayı önlemek vb. amaçlar için kullanılır
 - Kısa dalga boylu ışınlar, uzunlardan daha fazla saçılmaya uğrarlar. Fotoğrafçılıkta ve özellikle hava fotogrametrisinde mavi rengi daha az geçiren ve bu yüzden eksi mavi adı da veriken sarı filtreler kullanılır.
 - Hava moleküllerinin neden olduğu saçılma dalga boyunun yaklaşık dördüncü kuvveti ile ters orantılıdır.

Fotoğrafik Temeller

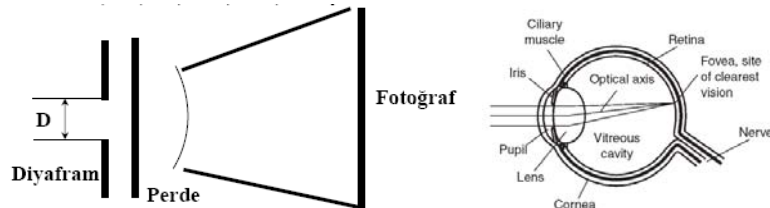
- Filtreler

- Işık saçılması bir hava filmi üzerinde, uniform ve zayıf bir aydınlanmaya neden olur.
- Böylece yoğunluk farklılıkları azalır. Özellikle gölge alanlarında bu etken en büyük değerini alır. Pus filtreleri gölge alanlarında kontrastı artırır.
- Filtre kullanıldığı zaman pozlanma süresini arttırmak gerekir. Filtre katsayısı, filtre kullanıldığı ve kullanılmadığı durumda gerekli poz süresi miktarlarının birbirlerine oranıdır. Bu süre 1.5-4 oranında değişir.

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Monoküler Görme

- Tek gözle görme olayına monoküler görme denir
- İnsan gözü bir fotoğraf makinesine benzetilebilir
- Değişik uzaklıklar için kendini ayarlayabilen göz merceğinden geçen ışınlar ışığa duyarlı olan ağ tabakası (retina) üzerinde görüntüyü oluşturur
- Farklı uzaklıklar için kasları yardımıyla göz merceğinin kendi kendini ayarlamasına uyum (akomodasyon) denir



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Bir merceği ve ışığa duyarlı bir katmanı olması nedeniyle bir kameraya benzetilen insan gözünün şu farklılıkları önemlidir:
 - Net görüntünün fotoğraf düzleminde oluşturulabilmesi için kamerada görüntü uzaklığı değiştirilir
 - Mercek denklemi göz önünde tutulursa, mercek sisteminin odak uzaklığı sabit kaldığı için, nesne uzaklığına bağlı olarak görüntü uzaklığının uygun biçimde ayarlanması gerekir
 - Gözde ise, görüntünün oluştuğu retina sabit olduğu için göz merceği eğriliği uygun şekilde değiştirilerek net görüntü elde edilmektedir. Yani görüntü uzaklığı sabit kalırken, nesne uzaklığına göre göz merceğinin odak uzaklığı değişmektedir

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

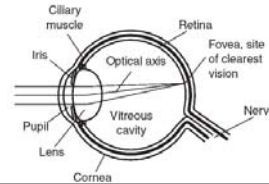
- Bir merceği ve ışığa duyarlı bir katmanı olması nedeniyle bir kameraya benzetilen insan gözünün şu farklılıkları önemlidir:
 - Kameralarda objektiften geçecek ışık miktarı bir diyafram sistemiyle ve adımlar halinde düzenlenirken, insan gözünde ışık miktarına göre kendini otomatik olarak ve sürekli bir biçimde (adımlar halinde değil) ayarlayabilen bir sistem vardır. Bilindiği gibi göz bebekleri ışık durumuna göre büyüyüp küçülebilmektedir
 - Işığa duyarlı yüzey fotoğraf makinesinde bir düzlem üzerindedir. Gözün ağ tabakası daha geniş bir küresel yüzey üzerindedir. Bu durum gözdeki görüş açısının kameralara göre çok geniş olabildiğini sağlar.
 - İnsan gözü, analog fotoğraf çeken klasik kameralardan çok sayısız kameralara benzetilebilir. Bu kameralarda nesneden gelen farklı ışık şiddetleri -yansımalar- farklı elektrik voltajlarına dönüştürülerek bir ortama kaydedilir. Bu kayıt kesikli olmaktadır

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Bir merceği ve ışığa duyarlı bir katmanı olması nedeniyle bir kameraya benzetilen insan gözünün şu farklılıkları önemlidir:
 - Yani çerçeve çerçeve kayıt yapılmaktadır. Oysa insan gözü, üzerine düşen ışık etkilerini kısa bir süre içinde göz sinirleri aracılığıyla beyindeki görme merkezine ulaştırmaktadır. Saniyede 30 çerçeve kaydı yapan bir sayısal kameraya benzetilebilir.
- İnsan gözünün teknik özellikleri:
 - Göz yuvarının çapı yaklaşık 21 mm dir. Göz - bakış eksenini doğrultusundaki genişliği yaklaşık 24 mm dir
 - Göz merceğinin odak uzaklığı değişkendir. Gözün sonsuza uyum yaptığı durumdaki odak uzaklığı 22.4 mm dir

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- İnsan gözünün teknik özellikleri:
 - Normal bir gözün en iyi uyum yapabildiği uzaklık 25 cm'dir. Bu uzaklığa net görüş uzaklığı denir
 - Kameralardaki diyaframa benzer görev yapan iris'in çapı 2 – 8 mm arasında ışığa bağlı olarak, kendiliğinden otomatik olarak değişir. Bu değişiklikler kameralardaki f/11 ve f/2.8 'lik bağıl açıklıklara karşılık gelir
 - Tek bir gözün görüş açısı yatayda 200 °, düşeyde ise 115 °dir. Ancak burun ve kaşlar bu görüş açısını sınırlar



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- İnsan gözünün teknik özellikleri:
 - En iyi görüş sarı nokta dolayına düşen görüntülerde oluşur. Bu nokta 1.5 mm çaplı dairesel bir alanı oluşturur. Bu alan 5 °'lik bir açısal alana, 25 cm'lik net görüş uzaklığında ise 20 mm'ye karşılık gelir. (Sarı noktanın alanı daha geniştir; yaklaşık 3 mm çapında bir dairesel alandır)
 - Normal bir gözün ayırma gücü, yuvarlak bir değer olarak 1' veya 2°'dir. 25 cm'lik net görüş uzaklığında bu değerler 0.073 – 0.080 mm'ye karşılık gelir. Milimetredeki çizgi sayısı biriminde bu değerler 13.7 – 12.5 çizgi/mm'dir.

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- İnsan gözünün teknik özellikleri:
 - İnsan gözünün yeteneği, karanlık bir gökyüzündeki parlak bir yıldızın algılanması olayında daha iyi anlaşılmaktadır. Bu durumda yıldız 0".2 veya 0.6^{cc}lik bir açı altında görülür.
 - Diğer bir durum, ölçme bilgisinde kullanılan aletlerde verniyerlerin düşey çizgilerinin çakıştırılması olayıdır. Deneyimler, uygun koşullarda bu çakıştırmanın doğruluğunun 2" veya 6.4^{cc} olduğunu göstermiştir

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- **Binoküler Görme / Derinliklerin Algılanması**

- İki gözle aynı anda görme olayına binoküler görme denir
- Çevrenizdeki nesnelerin üç boyutlu bir uzay içinde olduğunu biliyoruz. Tek tek gözlerde oluşan görüntüler ise iki boyutludur. Çevremize iki ayrı noktadan, yani iki ayrı gözle, baktığımız için derinlikleri algılayabiliyoruz
- İki ayrı görüntü, ya da iki farklı merkezsiz izdüşüm dolayısıyla iki farklı izlenim insan zihninde birleşerek üç boyutlu görme olayı oluşmaktadır
- Çok uzak objeler için, iki merkez izdüşüm arasındaki fark azalmakta, gözün ayırt edebilme sınırını aşmaktadır. Ancak bu durumda da gözlemcide bir derinlik tahmini olanaklıdır.
- Benzer şekilde tek gözü çalışan bir kişi de derinlikleri ayırt edebilir. Öyleyse, iki ayrı noktadan çevrenin gözetlenmesi yanında, derinlik algılamasını kolaylaştıran başka etkenlerin de bulunması gerekir.

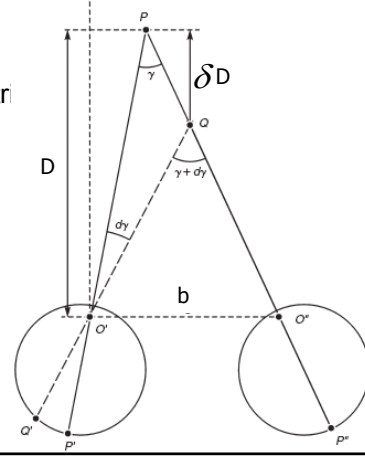
Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- **Geometrik ve fiziksel temelli olaylar derinlik algılamasını kolaylaştırır:**

- Yakındaki cisimlerin uzaktakilere göre daha büyük görünmesi. Geometrik perspektif.
- Arkadaki nesnelerin öndekiler tarafından örtülmesi. Arkadaki nesnelerden gelen ışınların engellenmesi.
- Yakındaki nesnelerin parlak, uzaktakilerin soluk oluşu. Atmosferde daha uzun yol kateden ışığın daha fazla kayba uğraması.
- Deneyim: Büyüklükleri bilinen nesnelerle karşılaştırma olanağı. İnsan beyninde yerleşmiş/depolanmış bilgilerle karşılaştırma. Ayrıca net görüşün elde edilmesi için yapılan uyum sırasında oluşan uzaklık kestirim.

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- İki retina görüntüsünün, beyinde birleşmesi suretiyle derinlik algılamasının açıklaması, fotogrametri için temel bir varsayımdır.
- İki retina görüntüsünün, beyinde birleşmesi suretiyle derinlik algılamasının açıklaması, fotogrametri için temel bir varsayımdır
- Bu nedenle bu iki farklı görüntünün geometrik konumu Şekil'de gösterilmiştir
- Göz bakış eksenlerinin nesne noktalarında oluşturdukları açıya yakınsama açısı γ denir



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Her iki gözün bakış eksenlerinin bir nesneye yöneltilmesi olayına yakınsama ya da konvergens denir. Uyum ve yakınsama, otomatik olarak birlikte yapılır
 - Yakınsama, 15 cm den sonsuza kadar yapılabilir.
 - İki göz bebeği arasındaki uzaklığa göz bazı denir
 - Yakınsama açısı radyan birimindedir
 - Göz bazı, kişiden kişiye değişir. Bu uzaklık normal olarak 65 mm varsayılır. Ancak göz bazı uzunluğu 52-78 mm arasında olabilir
 - Yakınsaklık açısının değişimi ile derinlik değişimi arasında

$$\gamma = \frac{b}{D} \quad d\gamma = -\frac{b}{D^2} dD \quad dD = -\frac{D^2}{b} d\gamma$$

- Bu bağıntı derinlik algılamasının duyarlılığının uzaklığı karesiyle ters orantılı olduğunu göstermektedir

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Yakınsama açısının değişiminin fark edilebilir değeri, başka bir deyişle yakınsama açısının duyarlılığı konusunda çok farklı sayılar verilmektedir.
- $d\gamma = 0^{\circ}.5 = 16''$ ve $b = 65$ mm alınırsa çeşitli uzaklıklar için dD değerleri aşağıdaki gibi bulunur:

D (m)	0.25	1	10	100	830
dD	0.08mm	1.2mm	12cm	12m	830m

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Total plastik

- Derinlik algılamasının duyarlılığı yapay olarak artırılabilir
- b uzaklığı yapay şekilde genişletilirse, ya da nesne optik olarak yakınlaştırılabilirse dD küçülür
- Göz bazının n kez ve $d\gamma$ yakınsama açısı optik olarak v kez büyütülürse, her ikisinin de birden uygulanması ile

$$dD = -\frac{D^2}{b} d\gamma \quad dD = -\frac{1}{n \cdot v} \frac{D^2}{b} d\gamma$$

- Derinlik duyarlılığının artmasını yapay olarak sağlayan $n \cdot v$ değerine total plastik denir

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Binoküler görüş şu şekilde oluşmaktadır:
 - Binoküler görüş, her iki gözünde aynı nesneye yönelmesi ile olabilmektedir. Uzak nesneler için göz bakış eksenleri yaklaşık birbirine paraleldir. Her iki durumda da göz bakış eksenleri paraleldir.
 - İyi bir derinlik algılaması yakın mesafeler için söz konusudur. Söz gelimi 25 cm lik uzaklıkta yakınsaklık açısı radyan cinsinden $b/D = 1/4$ dür. Baz uzaklık oranı denilebilecek bu oran büyüdükçe derinlik algılamasının duyarlılığı artmaktadır. Total plastik olanağı ile maksimum $1/4$ olan bu oranı daha da büyütülebilir.
 - Binoküler görüş sırasında her iki gözdeki görüntünün büyüklüğü aynı olması gerekir. Göz kusuru nedeni ile farklı büyüklükler oluşuyorsa bu iki izlenimin birleşmesi mümkün olmaz. Ancak kimileri için %5 e kadar olan görüntü farklılığı sorun yaratmamakta, kimileri için düzeyindeki bir farklılaşma derinlik algılamasını engellememektedir.

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Yapay Binoküler Görüş / Stereoskopik Görüş
 - Nesnelerin kendileri yerine bunların fotoğrafları ya da çeşitli görüntüleri gözlere sunulursa yapay bir binoküler görüş sağlanır.
 - Bunun için binoküler görüşte var olan koşulların fotoğraflar için de sağlanması gerekir.
 - Başka bir deyişle, fotoğraflar yardımı ile stereoskopik görüş elde edilmek isteniyorsa, çekilecek fotoğraflarda olması gerekli koşullar, bir önceki paragrafta sözü edilen koşullardan çıkarılabilir:
 - Aynı nesnenin iki ayrı noktadan fotoğrafları çekilmelidir.
 - Kamera eksenleri yaklaşık aynı düzlemde bulunmalıdır.
 - Fotoğraf çekilen noktalar arasındaki baz uzaklığının, nesneye olan uzaklığına oranı belirli sınırlar içinde olmalıdır.
 - Fotoğraflar aynı ölçekte olmalıdır. % 3 ya da % 5 düzeyindeki ölçek farkları sorun yaratmayabilir
 - Bu koşulları sağlayan fotoğraflarla üç boyutlu görüş sağlanabilir. Bunun için fotoğrafların ilgili gözlere sunulması gerekir. Ayrıca bu gözlere sunma sırasında şekil 2 de gösterilen y' ve y'' koordinat farkları $\Delta y = y' - y'' = 0$, ya da çok küçük olmalıdır

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- **Stereoskopik Görme Yöntemleri**

Yukarıda sayılan koşulları sağlayacak şekilde çekilmiş fotoğraflardan üç boyutlu görüş sağlamak için çeşitli yöntemler uygulanır.

- Bu yöntemlerden fotogrametride uygulananlar şunlardır:
 - Anaglif Yöntem : Renkli süzgeçlerle ayırma
 - Polarizasyon Yöntemi : Polaroid gözlüklerle ayırma
 - Kırpma Yöntemi : Fotoğrafların sıra ile sunulması
 - Stereoskopik Yöntemi : Işın yollarını ayırma

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- **Anaglif Yöntem**

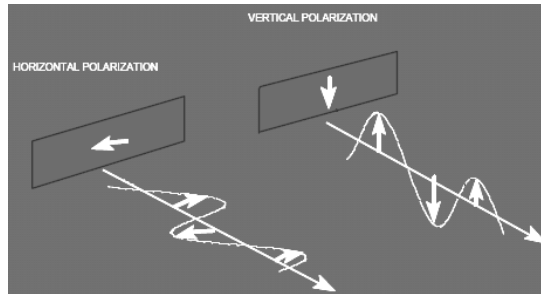
- Filtreler, spektrumun belirli bölgesindeki ışığı geçirir, geri kalan bölgedeki ışığı yutar.
- Söz gelimi mavi filtre (süzgeç) dalga boyu 0.5 mikrondan küçük alanları geçirirken, bundan daha büyük alanları yutar.
- Siyah – beyaz fotoğraflar kırmızı ve mavi süzgeçlerden geçirilerek bir ekrana izdüşürülür ve kırmızı – mavi süzgeçli bir gözlükle bakılırsa, bir fotoğrafın görüntüsü bir göze, diğer fotoğrafta diğer göze sunulmuş olur. Böylece her görüntü, karışmadan ilgili gözlere sunulmuş olur.
- Bu yöntem optik izdüşümlü stereo değerlendirme aletlerinde kullanılmıştır. Bu tür aletlerde, ortak alanı bulunan fotoğraflar projektörlere yerleştirilir.
- Renk olarak kırmızı – mavi, ya da kırmızı – yeşil kullanılır

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Anaglif Yöntem
 - Bu yöntemde yalnız siyah – beyaz fotoğraflar kullanılabilir. Renkli fotoğraflar kullanmak mümkün değildir. Bu yöntemin diğer bir sakıncası, çok güçlü olan renk farkının gözler arasında bir yarışmaya neden olmasıdır. Bir süre kırmızı, bir süre mavi baskın çıkar.
 - Bu yöneme göre fotoğraflar basılabilir; yapay üç boyutlu görüntülerde bu şekilde oluşturulabilir. Bu basılı fotoğraflar, izdüşürülen görüntülerden farklıdır. Beyaz kağıda basılmış kırmızı renk, anaglif gözlüklerin kırmızı filtresinden görülmez. Ancak mavi (ya da yeşil) filtreden, yeşil ya da mavi fon üstünde siyah olarak görülür.

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Polarizasyon Yöntemi
 - Işığın dalga hareketiyle yayılımında dalgalar, yayılma doğrultusunu içeren tüm olası düzlemler içinde titreşir. Bu ışın destesi birbirine dik iki yönde yayılacak şekilde iki ışın demetine ayrılabilir. Bunun için polarize edici süzgeçler kullanılır
 - Aynı doğrultulara göre polarize edebilen bir gözlükle bakılırsa fotoğraflar ilgili gözlere sunulmuş olur.



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Polarizasyon Yöntemi
 - Klasik fotogrametride bu yöntem, bir ikisinin dışında kullanılmamıştır. Çünkü bu yöntemde hem ışığın düzeyinde eksilmesi, hem de polarizasyon doğrultusunun duyarlı bir biçimde uygulanması zorunluluğu vardır.
 - Son zamanlarda doğrusal polarizasyon yerine dairesel polarizasyon kullanılmaktadır. Bunun için, polarize gözlükle birlikte polarizasyon plakası çeyrek dalga boyu geciktirme yapılır. Böylece ışık destesi sağ ve sol dairesel desteklere ayrılmış olmaktadır.
 - Bu yöntem son yıllarda fotogrametrik iş istasyonlarında, yani sayısal fotogrametri uygulamalarında kullanılmaktadır.

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Kırpma Yöntemi
 - Bu yöntem insan gözünün tembelliğinden yararlanır. Bir nesnenin görüntüsü yaklaşık 0.06 s sürer. Bir görüntünün arkasından hemen ikinci bir görüntü sunulur. Bunun için uygulanan frekans 16 – 24 Hz dir
 - Fotogrametride bu özellikten yararlanılarak, görüntüyü açıp – kapatan dönel perdeler kullanılır
 - Hem projektörlerin önünde ve hem de gözlerin önünde bulunan bu dönel perdeler eş zamanlı çalışır
 - Sol projektördeki perde açıkken ekranda yalnız sol fotoğrafın görüntüsü vardır. Bu sırada da gözlüğün sol gözü açıktır; sol fotoğraf yalnız sol göze ulaşır
 - Hemen arkasından sağ projektör ve sağ göz açılır. Bu hareketin -değişimin- hızı saniyede 50-200 kezdir. Yani frekans 50-200 Hz dir.
 - Sayısal fotogrametride bugün en çok kullanılan yöntem bu kırpma yöntemidir.

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Kırpma Yöntemi

Zeiss Sayisal Fotogrametri Sistemi



Zeiss Sayisal Fotogrametri Sistemi



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Kırpma Yöntemi



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Stereoskop Yöntemi

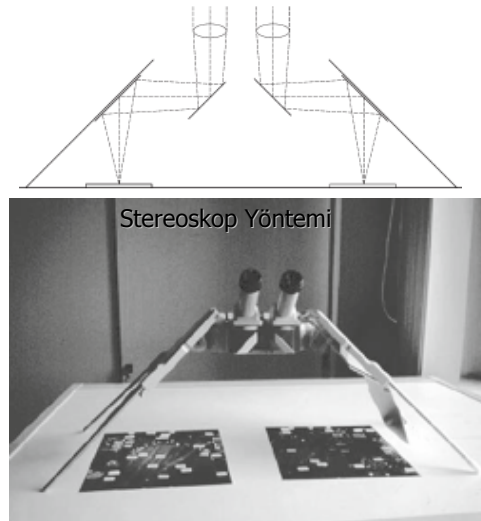
- Bu yöntemde fotoğraflar iki ayrı optik yolla ilgili gözlere sunulur.
- Optik yol mercekler, prizmalar ve aynalar ile oluşturulur. Gözetleme, genellikle bir çift okülerle yapılır. Bu nedenle göz – bakış eksenleri paralel olmak zorundadır.
- Bu yöntem klasik fotogrametride pek çok analog aletle, analitik aletlerin tamamında, sayısal fotogrametride de bir iş istasyonunda kullanılmıştır.
- Bu yöntem, stereoskop aletlerinin incelenmesi sırasında ayrıntılı olarak ele alınacaktır

- Psoidoskopik Görüş

- Fotoğraflar ilgili gözler yerine ters gözlere sunulursa, stereo görüşe benzer, yine derinlikleri olan bir görüş sağlanır. Ancak derinlikler işaret değiştirir. Yakın nesneler uzak, uzak nesneler de yakın olur. Bu yalancı üç boyutlu görüşe psoidoskopik görüş denir

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

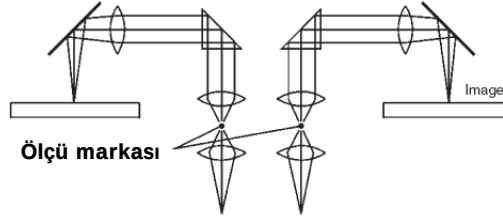
- Stereoskop Yöntemi



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Ölçü Markası Ve Paralaks

- Stereoskopik incelemeyi kolaylaştırmak ve stereoskopik ölçü yapabilmek için, bu tür aletlerde, fotoğraf ile gözetleme sistemi arasında uygun bir yerde özel işaretler bulunur
- Büyüklüğü 50-100 mikron olan, siyah bir benek, içi boş bir halka, ya da ışıklı bir nokta biçimindeki bu işaretlere ölçü markaları denir
- Stereoskopik görüş tam olarak sağlanınca iki ölçü markası, gözleyiciye tek bir ölçü markasıymış gibi görünür



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

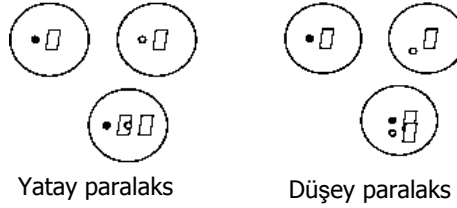
- Ölçü Markası Ve Paralaks

- Ölçü markalarında biri, göz bazına paralel doğrultuda biraz farklı konumda ise, üç boyutlu görüşte iki farklı durum söz konusu olabilir:
 - Ölçü markası yine tek bir marka olarak görünür ancak bir miktar ilgili nesnenin -önünde- yükseğindedir.
 - Ölçü markaları iki tane görünür. Bu da ölçü markası nesnenin bir miktar -arkasında- altındadır

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

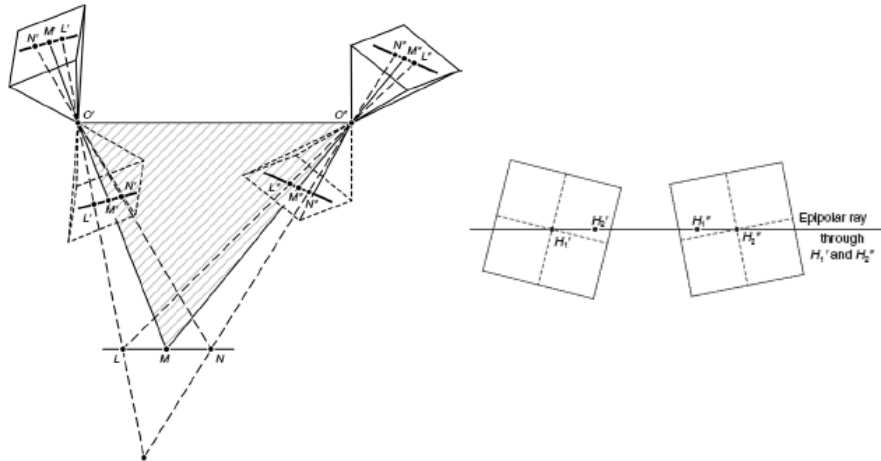
• Ölçü Markası Ve Paralaks

- Göz bazına paralel yöndeki bu farklılığa yatay paralaks denir. Bu yatay paralaks bir noktada giderildikten sonra, başka bir noktaya gidildiğinde olasılıkla yine bir yatay paralaks ile karşılaşılır. Çünkü yatay paralaks yükseklikler ile değişir
- Göz bazına dik yöndeki ölçü markalarının farklılaşmasına da düşey paralaks denir. Bu paralaks görüntüler arasındaki farklılaşma olarak da düşünülebilir
- Bu durum epipolar düzlem koşulunun olmamasından ileri gelir. Stereoskopta, alet hafifçe döndürülerek bu fark giderilir



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

• Epipolar düzlem koşulu ve epipolar çizgi

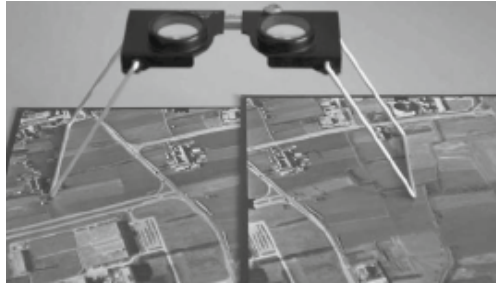


Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Stereo Görüş Veren Fotogrametri Aletleri
 - Yaklaşık Stereodeğerlendirme Aletleri
 - Stereokomparator
 - Analog Stereodeğerlendirme Aletleri
 - Analitik Stereodeğerlendirme Aletleri
 - Sayısal (Digital) Stereodeğerlendirme Aletleri

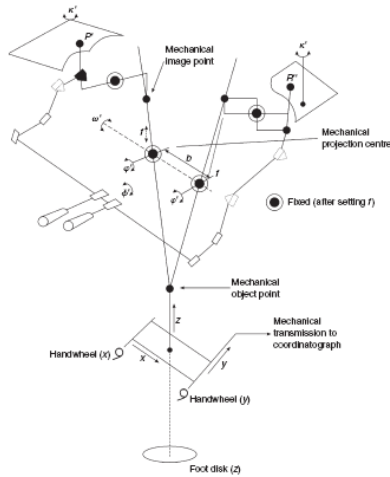
Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Stereo Görüş Veren Fotogrametri Aletleri
 - Yaklaşık Stereodeğerlendirme Aletleri



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Stereo Görüş Veren Fotogrametri Aletleri
 - Analog Stereodeğerlendirme Aletleri



Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Stereo Görüş Veren Fotogrametri Aletleri
 - Analitik Stereodeğerlendirme Aletleri

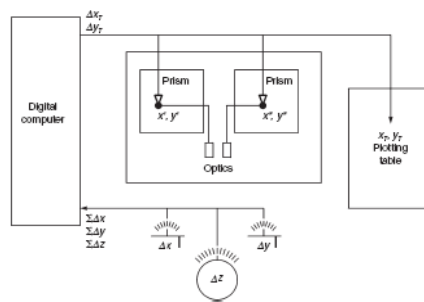


Figure 3.17 The Z/I Imaging Planicom p P3.

Üç Boyutlu, Stereoskopik Görüş

- Stereo Görüş Veren Fotogrametri Aletleri
 - Sayısal (Digital) Stereodeğerlendirme Aletleri



Figure 3.20 The LH System SOCET-SET.