

FOTOGRAMETRİ DERS NOTLARI (V2)

2019-2020 BAHAR DÖNEMİ
Prof. Dr. Fatmagül BATUK
YTÜ

1

Fotogrametrik Harita Üretim Sürecindeki Gelişmeler

- Fotoğrafın keşfedilmesinden kısa bir süre sonra başlamıştır
- Birinci Dünya Savaşından sonra uçaklarda ve analog fotogrametrik aletlerdeki gelişimler sonucu standart bir uygulama haline gelmiştir
- Bilgisayarın devreye girmesi ile 70'li yıllarda analitik fotogrametri üretim süreci başlamıştır
- 90'lı yıllardan itibaren dijital fotogrametri süreci gelişmiştir

2

Ülkemizde Fotogrametrik Çalışmalar Açısından İlkler

- 1927 yılında Alman Zeiss firmasından satın alınan bir stereo Autograph, bir rödresman ve bir stereokomparatör aleti ile ilk kez çalışmalar yapılmıştır
- Hava fotogrametrisi yöntemi ile ilk kez 1929 yılında Bergama-Çandarlı paftası üretilmiştir
- 1936 yılında hava fotogrametrisi uygulamaları genişletilmiş, İstanbul kenti imar planları için gerekli altlıkları sağlamak üzere, hava fotoğrafları çekilmiş ve 140km²'lik bir alanın 1/2000 ölçekli fotoplanları yapılmıştır
- Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü 1952 yılında Wild firmasından dört adet fotogrametri aleti satın almıştır
- Fotogrametrinin özel sektör tarafından da uygulanabilmesi, 203 sayılı yasanın 1986 yılında yapılan değişikliği ile mümkün olabilmıştır
- Yerel yönetimlerde büyük ölçekli haritaların fotogrametri ile üretimi 1987 yılında başlamıştır, İBB

3

Sayısal/Çizgisel Fotogrametrik Haritalar

- 1/5000 ve daha büyük ölçekli harita yapımı (Vektör)
 - Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği-BÖHHÜY, 2005
- Orta ve küçük ölçekli topoğrafik harita yapımı (Vektör)
 - 1/25 000 temel ölçeği ve türetilen 1/50 000, 1/100 000, 1/250 000, 1/500 000-HGK standartları

4

Ortofoto/Ortogörüntü

- 1/5000 ve daha büyük ölçekli ortofoto/ortofoto harita yapımı (Raster)
 - Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği-BÖHHÜY, 2005
- Orta ve küçük ölçekli ortogörüntü /ortofoto / ortofoto harita yapımı (Raster)
 - HGK standartları

7

Ortogörüntü



<http://www.aerialservicesinc.com/Iowa/>

Diğer Ürünler

- Sayısal arazi/yükseklik/yüzey modeli (Vektör-TIN, Raster-GRID)
 - SAM, SYM-DEM, DTM, DSM
- Fotoplan (Raster)
- 3B Kent Modelleri (Vektör+raster)
- Fotoğraf, Anaglif vb ekran görüntüleri (Raster) /çıktılar

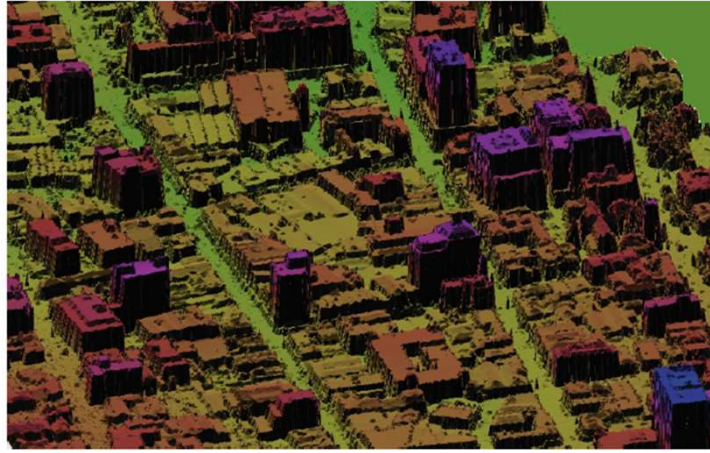
9

Fotoplan



<http://www.ejmotiwalla.com/codes/Maxphotos/Softwares/kubit-PHOTOPLAN.htm>

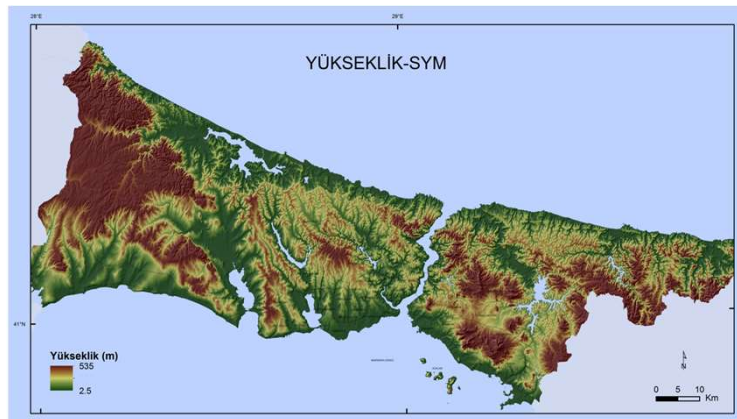
Sayısal Yüzey Modeli

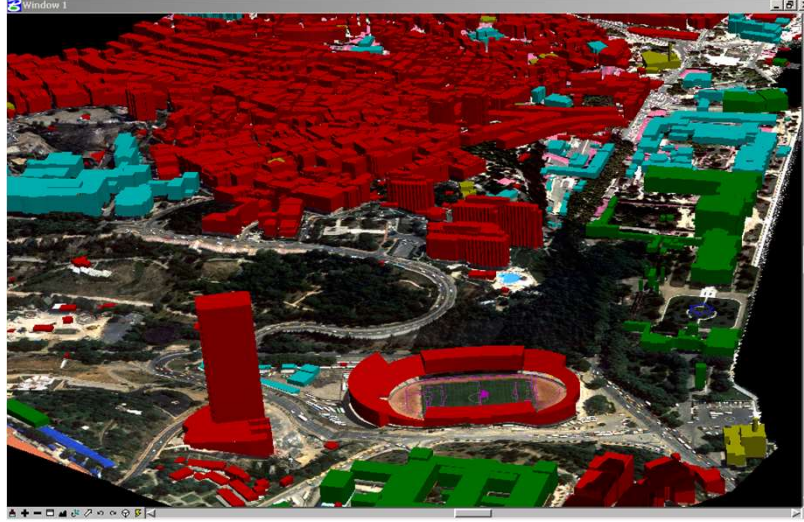


Department of Geomatics



Sayısal Yükseklik Modeli





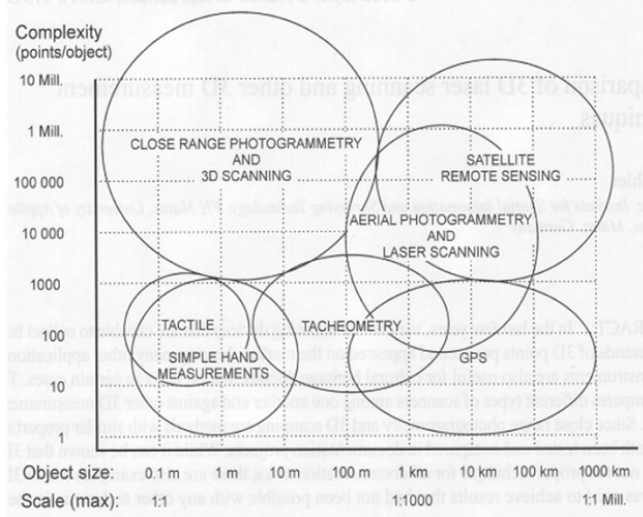
13

Gereksinim

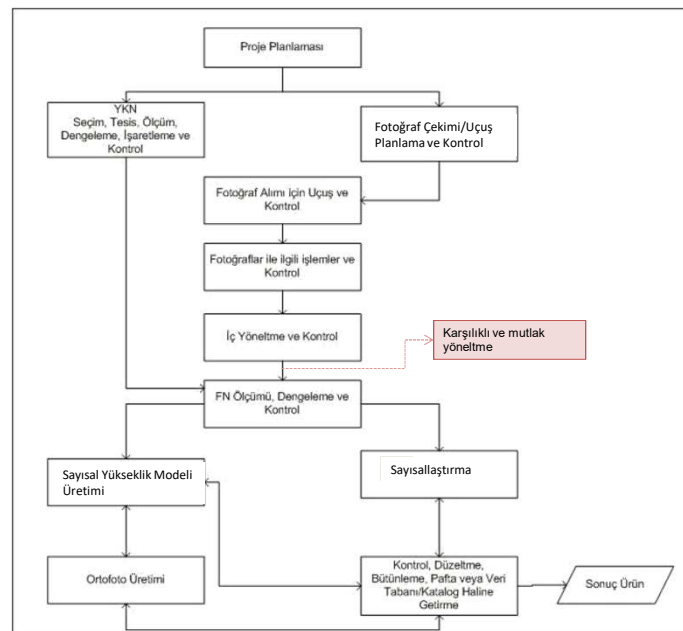
- Temel veriler
 - Kent bilgi sistemleri
 - Diğer coğrafi bilgi sistemleri
 - Planlar
 - Konum+yükseklik bilgisinin kullanıldığı diğer projeler

14

Selection of 3D Technology (after Böhler, 2001)



15
(Remandino, 2008)



1. Bölüm

Fotoğraf , Ölçek

Koordinatları Etkileyen Unsurlar: Optik Sistem
(Distorsiyon), Dönüklükler ve Yükseklik Farkı

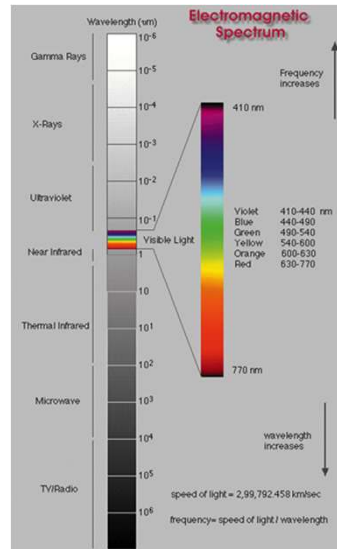
17

Fotoğraf

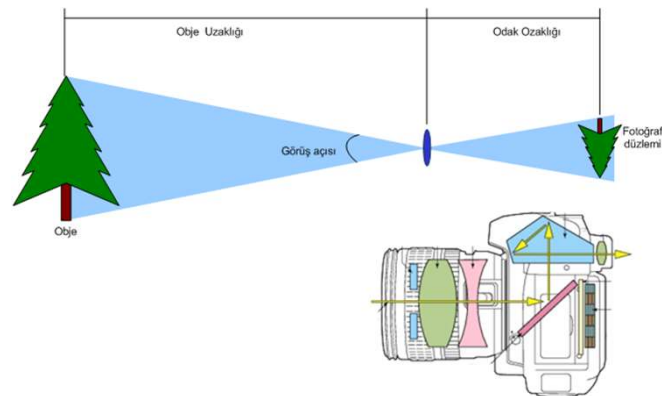
- Fotoğraf, objelerden yayılan ve/veya yansıtılan elektromanyetik enerjinin kaydedilmesidir
- Kayıt;
 - Işığa duyarlı kimyasal maddeler içeren filmler ile
 - Işığa duyarlı algılayıcı birimler (Örneğin CCD-Charge Coupled Device) ile yapılır

18

Elektro-Manyetik Spektrum



Merkezsiz İzdüşüm



Fotoğraflardan hangi veriler elde edilebilir?

- Geometri verileri (açı, uzunluk): fotoğraf ve obje noktaları arasındaki konumsal ilişkileri sağlar
- Radyometrik veri (gri düzeyi): objelerden yayılan veya yansıyan elektromanyetik enerjinin algılayıcı tarafından algılanan değeri. Objeleri tanımlamak ve niteliklerini belirlemek için kullanılır
- Spektral veri (renk): objelerden yayılan veya yansıtılan elektromanyetik enerji dalga boyu. Objelerin niteliklerini belirlemek için kullanılır

21

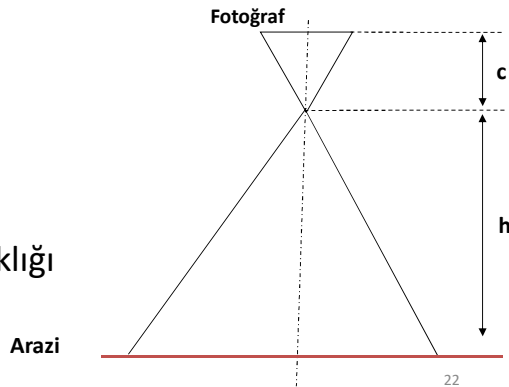
Fotoğraf Ölçeği

$$M_r = \frac{1}{m_r} = \frac{d'}{d} = \frac{c}{h}$$

$$m_r = \frac{h}{c}$$

c: kameranın asal uzaklığı

h: uçuş yüksekliği/alım uzaklığı



22

Örnek

- 6 cm x 6 cm görüntü boyutlarına sahip, 40 mm asal uzaklıklı bir kamera ile 7.5 m uzunluğunda bir objenin fotoğrafı çekilmek isteniyor. Objeden ne kadar uzaklıktan fotoğraf çekimi yapılmalıdır?

$$m_r = \frac{d}{d'} = \frac{750}{6} = 125, \quad M_r = \frac{1}{125}$$

$$\text{Alım Uzaklığı (h)} = m_r \times c = 125 \times 40 = 5 \text{ m}$$

23

Fotoğraf Ölçeği

- Objeye düz ise fotoğraf da objeye tam paralel olarak çekilmişse geçerli ve güvenilir bir ölçekten söz edilebilir
- Hava fotoğraflarında homojen bir ölçekten söz edilemez
 - Uygulamada hava fotoğrafları tam olarak objeye paralel çekilemez
 - Kamera ekseni düşey doğrultudan bir miktar sapar
 - Yükseklik farklarından dolayı da ölçek değişebilir
- Sonuç olarak fotoğraf ölçekleri yaklaşık ölçeklerdir
 - Hava fotoğraflarının çekimi ve planlaması sırasında ölçekler 1/6000, 1/14 000, 1/18 000 vb yuvarlak değerler olarak alınır
 - Aslında 1/12530 gibi değerlerdir

24

Mercek Kusurları

- Optik izdüşüm matematiksel olarak merkezi izdüşüm denklemleriyle tanımlanır
- Ancak mercek denklemlerinin kullanılma bölgesi optik eksenin yakınındaki noktaların izdüşümü içindir
- Merceğin kenar bölgelerine gelen ışınlar veya büyük eğim açısı ile merceğe rastlayan ışınların verdikleri izdüşümler eksene yakın bölge için çıkartılan izdüşüm kurallarından sapma gösterirler bu sapmalara mercek kusurları denir

25

Mercek Kusurları

- Eksene yakın bölgede olan, ancak farklı yükseklikten merceğe rastlayan ışınların izdüşümündeki kusurlar
 - Küresel aberasyon ve Kenar hataları
- Eksenin uzağında bulunan bölgelerin izdüşümünde ortaya çıkan kusurlar
 - Koma, Distorsiyon, Astigmatizm: belirli bir dalga boyundaki ışık için geçerlidir. Farklı dalga boyundaki ışıklar için renksel sapınç hataları ortaya çıkar
 - Görüntü alanının eğriliği

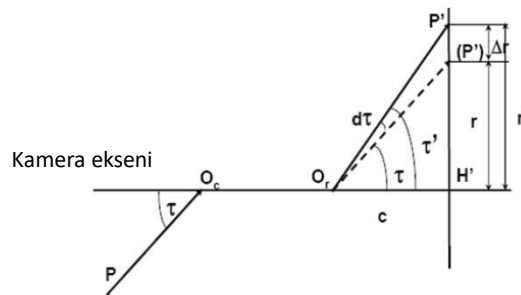
26

Distorsiyon

- Optik eksene yatık olarak gelen ışınların farklı kırılma indisli yüzeylere gelip farklı şekilde kırılmaya uğramaları ile distorsiyon hatası ortaya çıkar
- Distorsiyon pratik yönden ölçme işleminde en önemli hata kaynağıdır
- Diğer hata kaynakları görüntünün kalitesine etki etmektedir
- **Distorsiyon; objelerin görüntüde yer değiştirmesine neden olur**
- Distorsiyon nedeniyle fotoğraf düzleminde bir ölçek değişimi söz konusu olmaktadır

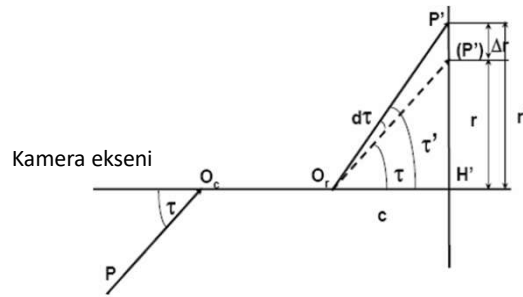
27

- Fotogrametrik kameralarda kullanılan mercek sistemleri çok sayıda merceğin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş sistemlerdir
- Geometrik olarak bir nokta şeklinde düşünülen izdüşüm merkezi yerine, biri obje, diğeri fotoğraf uzayında olmak üzere iki izdüşüm merkezi vardır
 - O_c obje uzayındaki ışın destesinin toplandığı noktadır
 - O_r ise fotoğraf tarafında oluşan ışın destesinin tepe noktasıdır
- Optik eksenle yapılan açı aynı ise, ışın doğru yolu izleyerek fotoğraf noktalarını oluşturur ve iki nokta tek bir izdüşüm merkezi olarak alınabilir



28

- P noktasından gelen ışın kamera eksenini ile τ açısı yaparken, kamera objektif sisteminin hatasından dolayı, fotoğraf uzayında bir τ' açısı yapacaktır
- P noktasının görüntüsü (P') noktası yerine, bu nedenle P' noktasında yani olması gereken yerden Δr kadar farklı bir yerde oluşacaktır. Bu farka "Kamera Distorsiyon Hatası" denir
- $r = c \tan \tau$
- $\Delta r = r' - r$

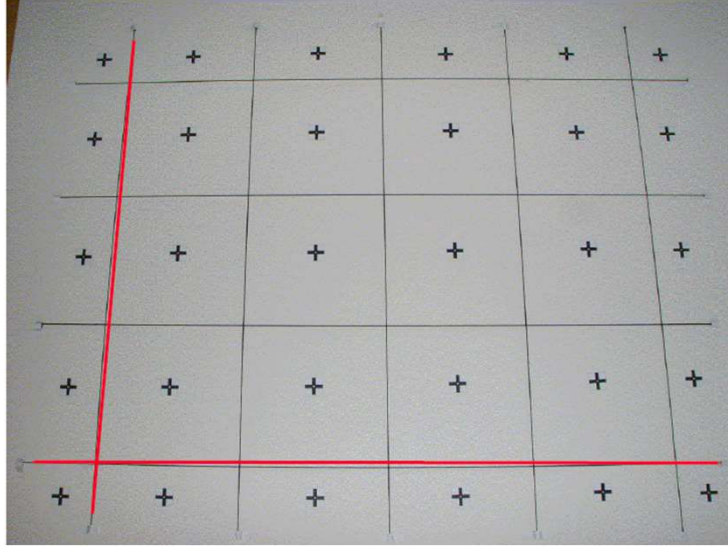


29

Radyal Distorsiyon



30



31

Radyal Distorsiyon

- Radyal distorsiyon metrik kameralar için 5 μ civarındadır
- Standart mercekler için fotoğraf köşelerinde 100 μ kadar olabilir
- Radyal distorsiyon matematiksel olarak aşağıdaki polinom ile ifade edilir

$$\Delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 + \dots$$

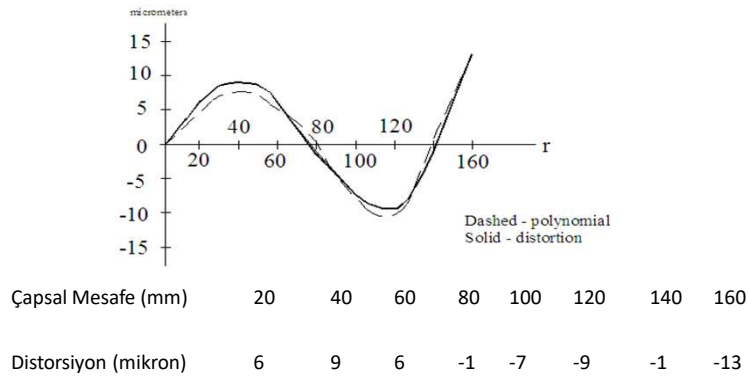
$$r = \sqrt{x^2 + y^2} : \text{asal noktadan uzaklık}$$

- Eğri denklemi

$$\Delta r = K_0 r + K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7$$

32

- Distorsiyon eğrisi



33

Radyal Distorsiyon Düzeltmesi

$$\Delta x_{rad} = x \frac{\Delta r}{r}$$

$$\Delta y_{rad} = y \frac{\Delta r}{r}$$

34

Teğet Distorsiyon

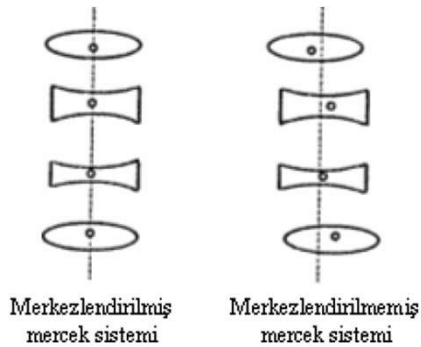
- Birden çok mercekten oluşan objektiflerde merceklerin tam ortalanamamasından dolayı oluşur
- Radyal Distorsiyona göre daha küçük boyutlarda kayıklığa neden olur
- Δx ve Δy olmak üzere iki bileşeni vardır. Düzeltmeler:

$$\Delta x = p_1(r^2 + 2x^2) + 2p_2xy$$

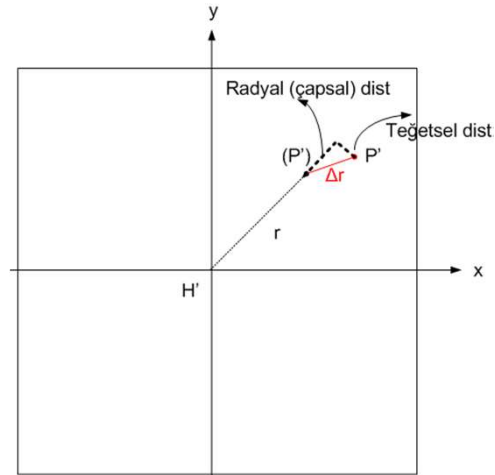
$$\Delta y = p_2(r^2 + 2y^2) + 2p_1xy$$

35

Teğet Distorsiyon



36



37

Eksen ve ölçek düzeltmesi

- Eksenlerin dik olmaması ve ölçek farklılığı hataları

$$\Delta x_{afi} = a_1 x + a_2 y$$

Tüm Düzeltmeler

$$\Delta x = \Delta x_{rad} + \Delta x_{teğ} + \Delta x_{Afi}$$

$$\Delta y = \Delta y_{rad} + \Delta y_{teğ}$$

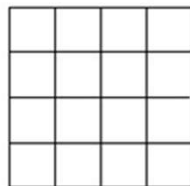
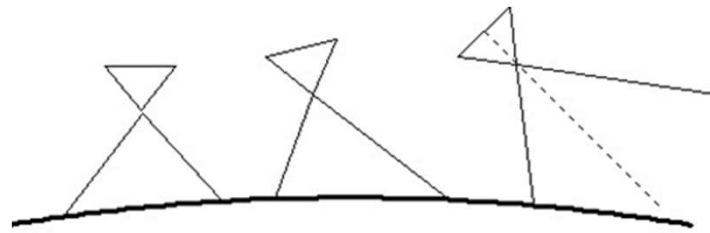
38

Dönüklükler ve Objedeki Yükseklik/Derinlik Farkları

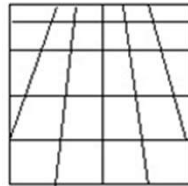
39

Fotoğraf Çekimi-Hava

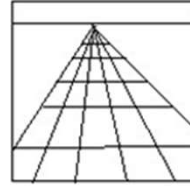
- Görüntü düzlemi araziye paralel olsun istenir. Kamera eksenini en çok 5° düşey doğrultudan sapıyor= Dik/Normal alım



Dik



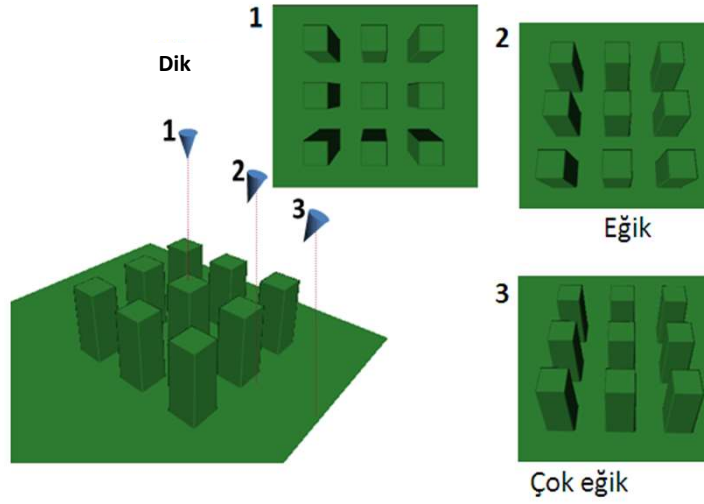
Eğik



Çok eğik

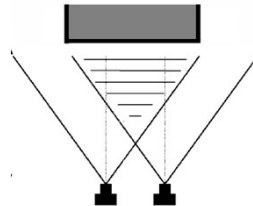
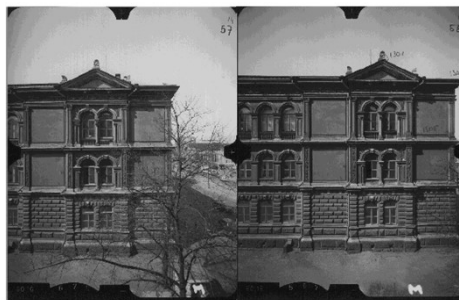
40

Fotoğraf çekimi-Hava



41

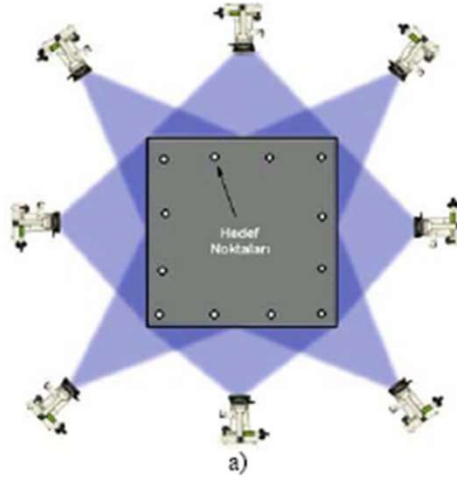
Fotoğraf çekimi-Yersel-Dik alım



42

[3]

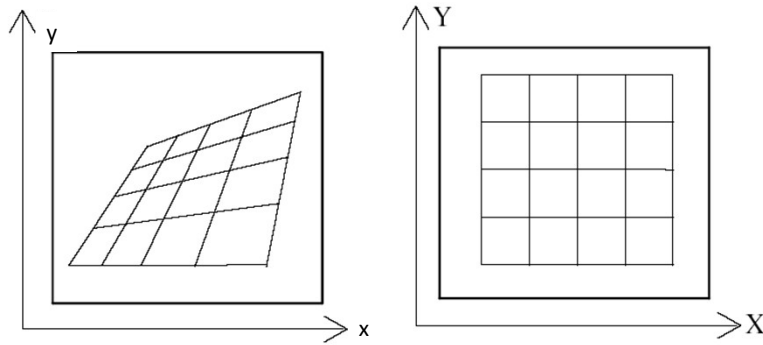
Fotoğraf çekimi-Yersel-Konvergent alım



43

Fotoğraf

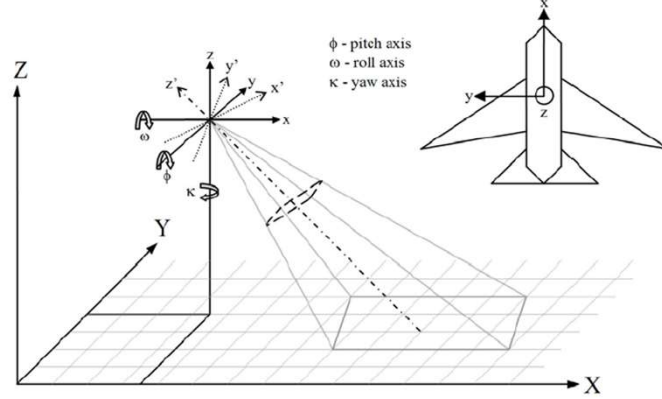
Harita



Aynı yükseklik değerlerine sahip (Düz) bir objenin kare ağı görünümü

44

Hava fotoğraflarının çekimi sırasında dönüklükler

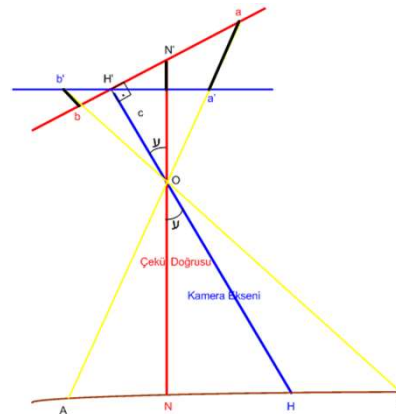


- ω : Uçağın kanatlarının yataydan sapmaları "x" eksenini etrafındaki dönüklük
 – y eksenini boyunca nadir noktasından kayıklığa neden oluyor
- ϕ : Uçağın baş ve kuyruğu arasındaki yataydan sapmalar y eksenini etrafındaki dönüklük
 – x eksenini boyunca nadir noktasından kayıklığa neden oluyor

45

Eğik Çekim

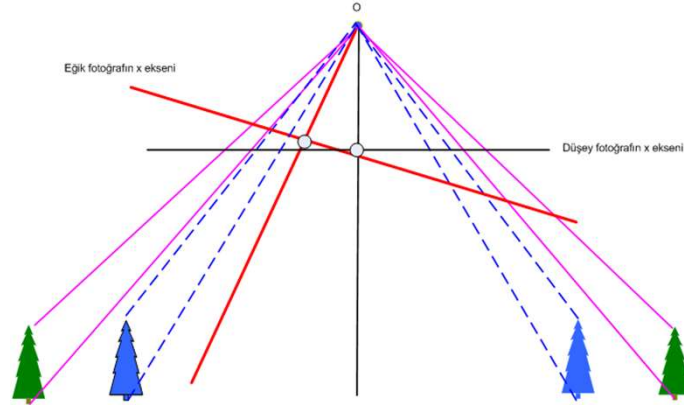
- Dönüklüklerin etkisi ile oluşan "y" açısı eğiklik açısı olarak adlandırılır
- 5° den büyük olan fotoğraflar eğik alınmış fotoğraflardır
- Düşey çekilmiş fotoğraflarda yaklaşık da olsa sabit bir ölçekten söz edilebilir
- Eğik çekilmiş fotoğraflarda ise ölçek nadir uzaklığına ve noktanın fotoğraftaki konumuna göre değişir



46

Eğik çekimin objeye bağlı olarak fotoğrafa etkileri

- Objelerde kayıklık miktarı ($\Delta\rho$)
 - Eğik fotoğrafın x ekseninin, dikey fotoğrafın x eksenine göre;
 - yukarısında kalan bölgelerde fotoğrafın merkezine doğru artar
 - altında kalan bölgelerde asal noktadan uzaklaştıkça artar



47

Eğiklik açısı ve eğikliğin fotoğrafta neden olduğu bozulmalar

- Fotoğrafın köşesinde bulunan bir nokta için ötelenmeler

noktanın asal noktadan uzaklığı: $x = y = \rho \cdot \sqrt{2}$

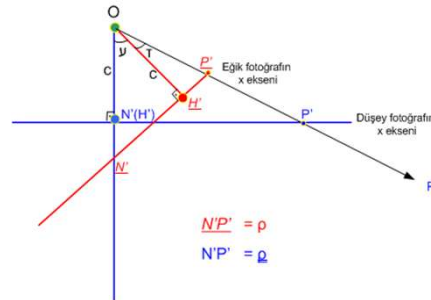
bozulmuş fotoğraf diagonalı boyunca olan ötelenme:

$$\Delta\rho = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$\Delta\rho = \frac{\rho^2}{c} \gamma$$

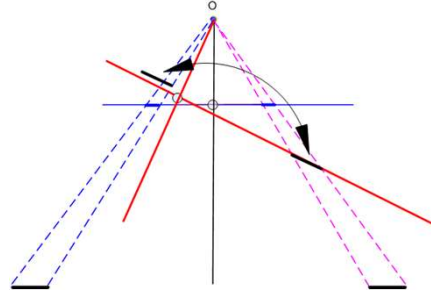
γ : Eğiklik açısı (radyan)

$\Delta\rho$: ρ yarı köşegeninin (P noktası ile çekül doğrusu arasındaki uzunluk), γ eğikliği ile ρ uzunluğunun dikey fotoğrafa göre ne kadar değiştiğini gösterir
Şekilde kısalmıştır



48

- Şekil arazide aynı uzunlukta olan iki objenin eğik fotoğrafın iki tarafında farklı uzunluklarda oluştuğunu göstermektedir



49

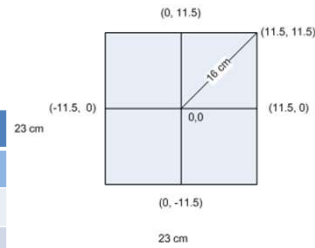
Örnek

ν eğiklik açısının fotoğraf köşelerinde neden olduğu ötelenmeler $\Delta\rho$ (mm)?

Fotoğraf köşesinin asal noktadan olan uzaklığı : $\rho = 115\sqrt{2} = 162\text{ mm}$

$$\Delta\rho = \frac{162^2}{300} \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{200} = 2.7\text{ mm}$$

	Eğiklik Açısı (Grad)			
	1	2	5	10
Normal Açılı Kamera (30 cm)	1.4	2.7	6.9	13.8
Geniş Açılı Kamera (15 cm)	2.8	5.5	13.8	27.5
Çok Geniş Açılı Kamera (30 cm)	4.6	9.2	22.9	45.9

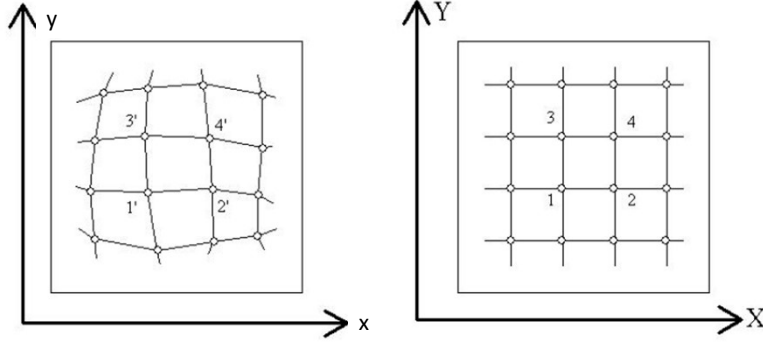


Çözümünden eğiklik açısı arttıkça distorsiyonların arttığı, Normal Açılı kameraların daha az ötelenmeye neden olduğu görülmektedir

50

Fotoğraf

Harita

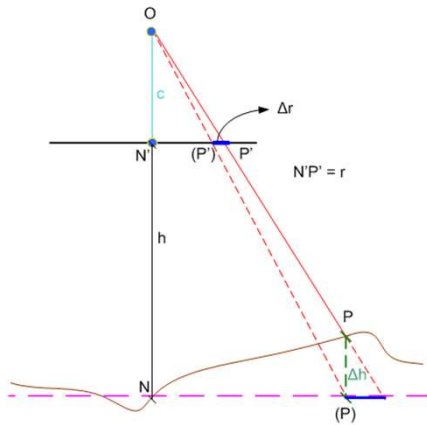


Farklı yükseklik değerlerine sahip (Engebeli) bir objenin kare ağı görünümü

51

Yükseklik farkları

- Objenin tam düzlem olmayışından dolayı fotoğraf da ötelenmeler, ölçek farklılıkları olmaktadır
- İzdüşümler
 - P arazi noktası fotoğrafta P' noktasında
 - P noktası N noktasından geçen yatay düzleme dik izdüşürüldüğünde (P) noktasında
 - (P) noktası fotoğrafta (P') noktasında izdüşmektedir
- (P') noktası P' noktasından Δr kadar farklı bir yerde fotoğrafa izdüşer

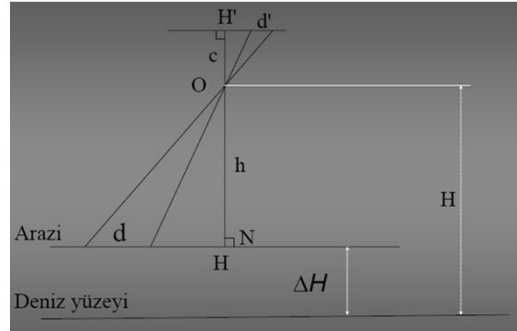


52

- Uçakların yüksekliği genelde deniz seviyesinden olan yüksekliktir (altimetrik): H

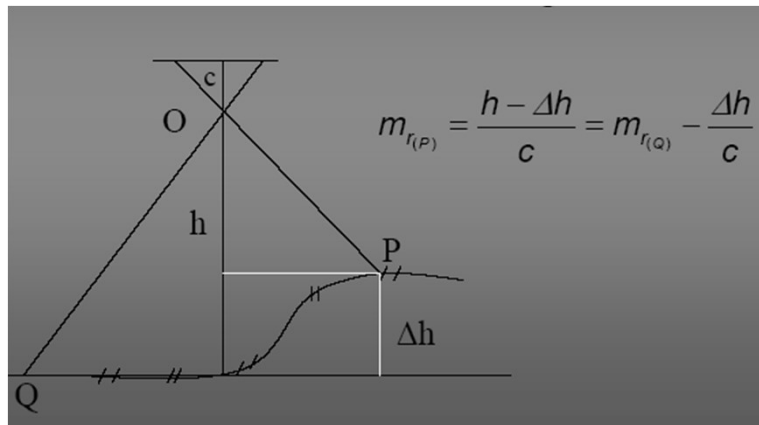
$$M_r = \frac{c}{H - \Delta H}$$

$$m_r = \frac{H - \Delta H}{c}$$



53

Arazideki yükseklik farkları ölçeğin değişmesine neden olur



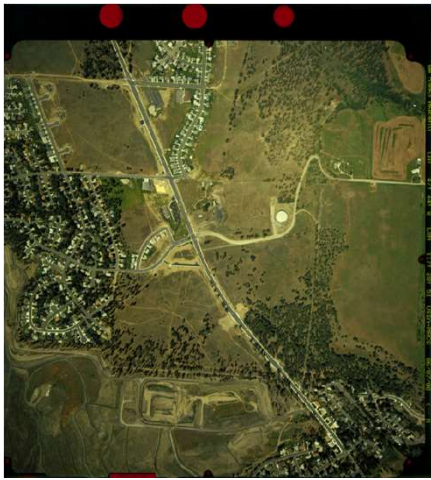
54

Örnek:

Odak uzaklığı 300 mm olan bir kamera ile denizden 1100 m yüksekliğinde düşey fotoğraflar çekilmiştir. Deniz seviyesinden 200m yüksekte olan P noktasında fotoğraf ölçeği kaçtır?

$$Mr = \frac{c}{h} = \frac{c}{H - \Delta H} = \frac{0.300}{1100 - 200} = 1/3000$$

55



Fotoğraf



Yükseklik etkisi düzeltilmiş fotoğraf

56

- Ölçeğin değişik göstermesi

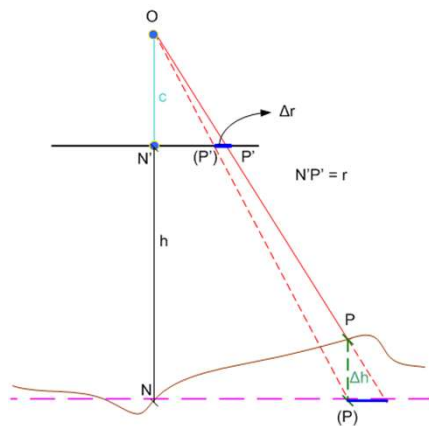


Binaların genişliği 8 m ancak, yükseklik farkından dolayı fotoğrafta ölçülünce değişik değerler çıkar

57

Yükseklik farkları

- Δr : yükseklik farklarından ileri gelen hata yada ötelemedir



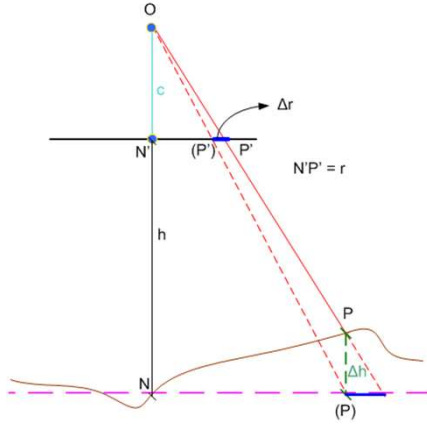
58

$$\Delta r = \frac{\Delta h}{h} r$$

r : P' noktasının, nadir noktasından (düşey fotoğrafta asal noktadan) olan uzaklığıdır . Çapsal uzaklık. Fotoğraf koordinatları ile:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

- Öteleme uçuş yüksekliği ile ters, diğerleri ile doğru orantılıdır



59

Yükseklik farkı, fotoğrafik bir haritada konumu ne kadar etkiler?

- Yükseklik farklarından dolayı oluşan Δr konum hatası haritada Δr_F , fotoğraftan haritaya büyütme oranı "V", harita ölçeği M_F ise hata:

$$\Delta r_F = V \cdot \Delta r = V \cdot \frac{\Delta h}{h} r$$

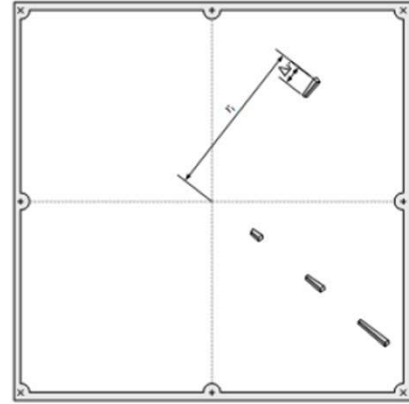
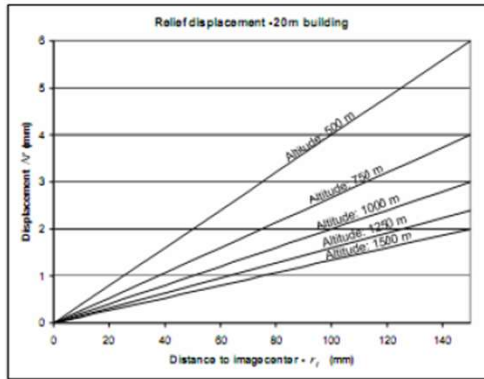
$$V = \frac{m_r}{m_F}$$

$$\Delta r_F = \frac{m_r}{m_F} \frac{\Delta h}{h} r = \frac{r}{m_F c} \Delta h$$

- izin verilebilir maksimum öteleme $\Delta r_{f,maks}$ bu değere karşılık gelen yükseklik farkı Δh_{maks} ise;

$$\Delta h_{maks} = \frac{c}{r} m_f \Delta r_{f,maks}$$

60



Uçuş yüksekliği azaldığında veya görüntü kenarlarına doğru yükseklik farkından dolayı olan hata artar. Nadir noktasından dışa doğru miktar artar

61
(Nielsen, 2004)

2. Bölüm

Hava Fotogrametrisi
Fotoğraf-Model-Blok-Uçuş Planlama-Kameralar

62

Uçuş Planlama

- Proje alanı boyutları
- Pafta boyutları
- Fotoğraf ölçeği
- Fotoğraf boyutları
- Fotoğrafın arazide kapladığı alan
- Sayısal kameranın çözünürlüğü
- Baz uzaklığı, Kolonlar arası mesafe ve kolon sayısı
- Kolondaki model ve fotoğraf sayıları
- Tüm proje alanındaki model ve fotoğraf sayıları
- Net model alanı
- Uçuş yüksekliği
- B/h oranı
- İki fotoğraf çekimi arasındaki süre
- Görüntü yürümesi

63

Bir fotoğrafın kapladığı arazi yüzölçümü

$$F_r = S \times S = (m_r \times s)^2$$

S: fotoğrafın bir kenarının arazideki karşılığı

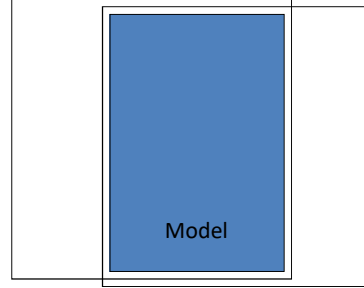
s: fotoğrafın bir kenarının uzunluğu

64

Model-Stereo Model

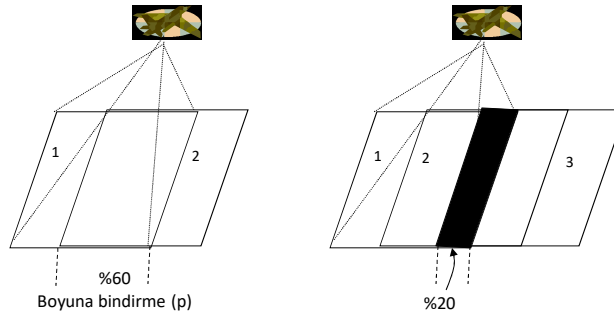
- **Model**

- Bindirmeli çekilmiş fotoğrafların ortak bölgesi
- Özel donanım ve yazılımlar aracılığı ile üç boyutlu olarak görülebilen alandır
 - Objelerin koordinatları ölçülebilir (x,y,z)
 - Sayısallaştırılabilir, çizilebilir



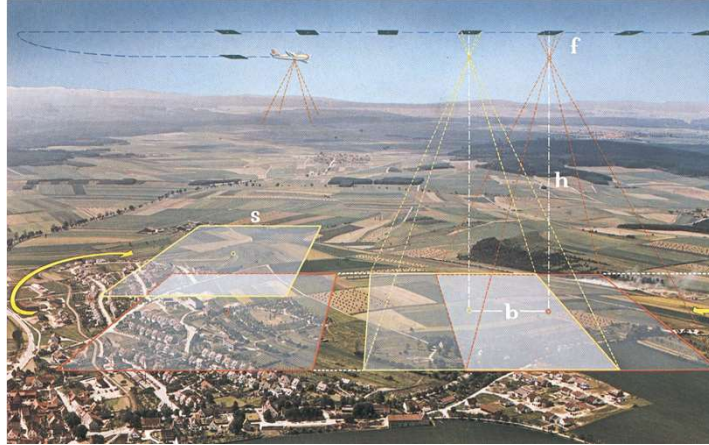
65

- Ardışık fotoğraflar genel olarak %60 bindirme oranı ile çekilir
- Bu orana **boyuna** yada **ileri bindirme** oranı denir (p)



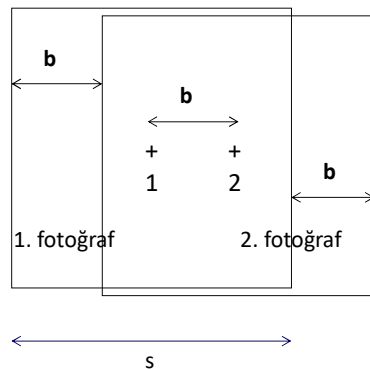
- Ardışık üç fotoğrafın yaklaşık %20'lik bölümü ortak bindirilmiş olabilir

66



67

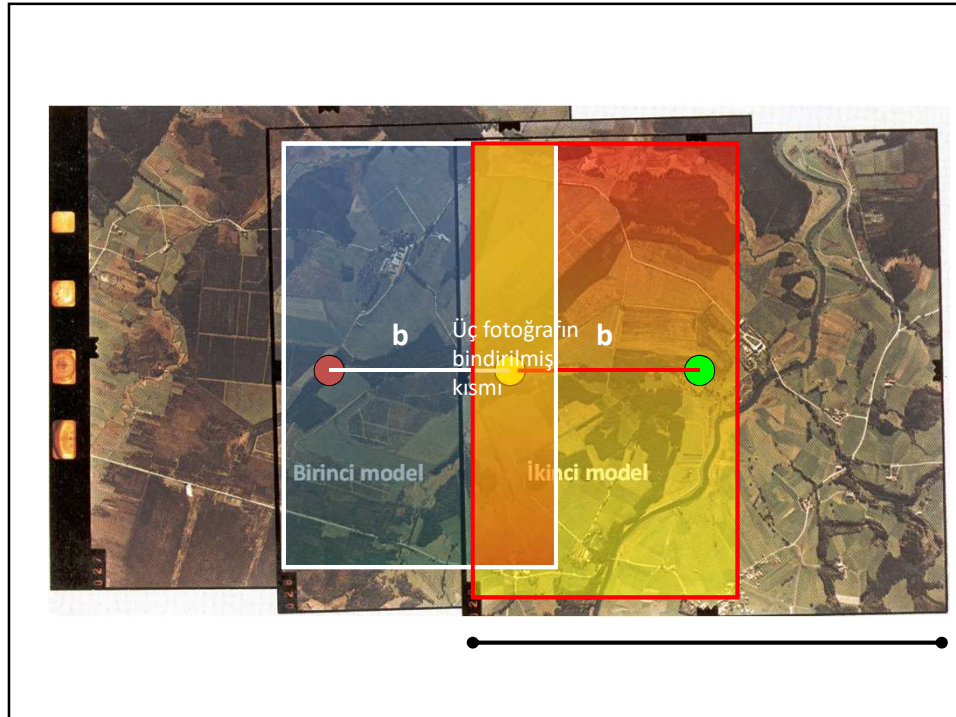
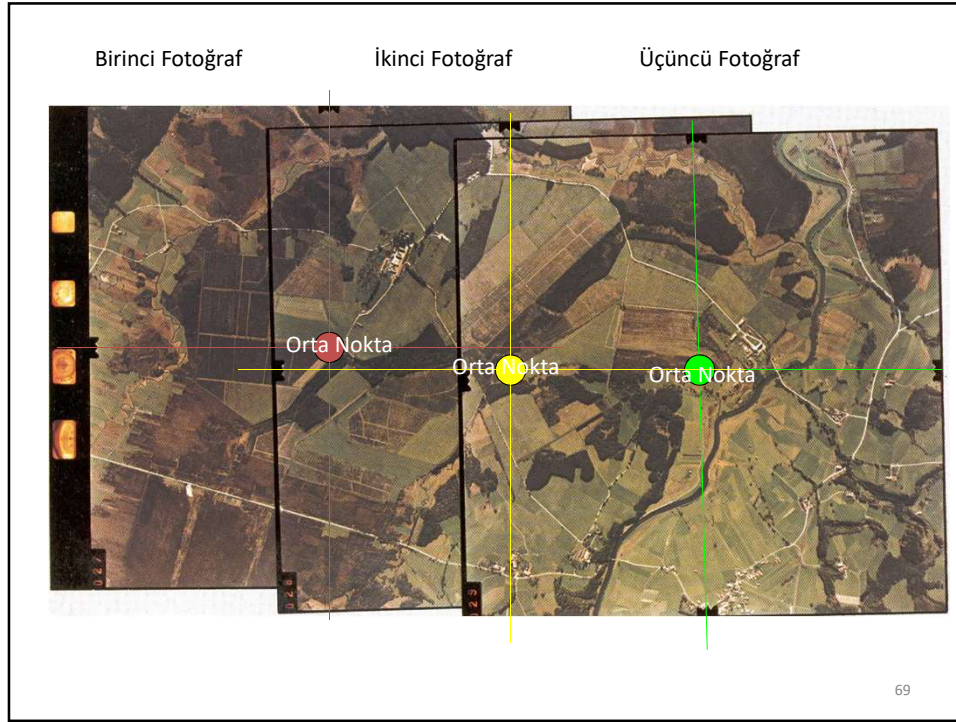
Baz uzunluğu (b yada B)



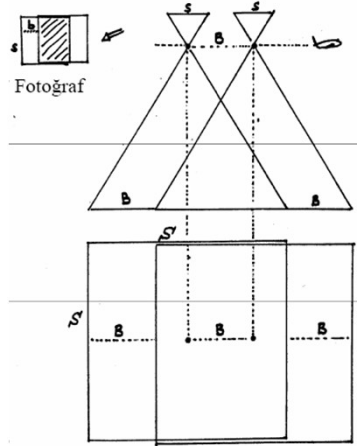
- **Baz**

- Ardışık fotoğrafların orta noktaları arasındaki uzunluktur
- Fotoğraf çekim noktaları arasındaki uzunlukta denebilir
- Model ile fotoğraf kenarı arasındaki mesafelerin ortalaması alınarak da bulunabilir

68



Boyuna bindirme oranı baz uzunluğu ile yakından ilgilidir



- b : fotoğraf ölçeğinde baz
- B : "b" nin arazideki karşılığı
- p : boyuna bindirme oranı
- s : fotoğraf kenarı
- m_r : fotoğraf ölçek katsayısı

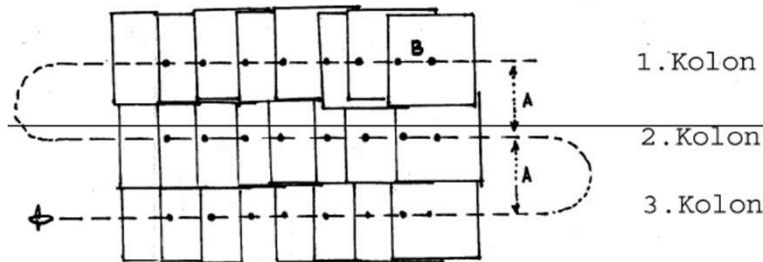
$$b = s(1 - p)$$

$$p = 1 - \frac{b}{s}$$

$$B = m_r s(1 - p)$$

71

- Fotoğraflar ilgili araziye tamamıyla kaplayacak şekilde ve sistematik bir biçimde çekilir
- Birbirine paralel uçuş çizgilerini izleyen uçaktan belirli aralıklar ile fotoğraflar çekilir
- Uçağın bir doğru çizgi boyunca çekmiş olduğu fotoğraflar topluluğuna **kolon** denir
- Kolonlar arası uzunluk a , arazideki karşılığı A ile gösterilir

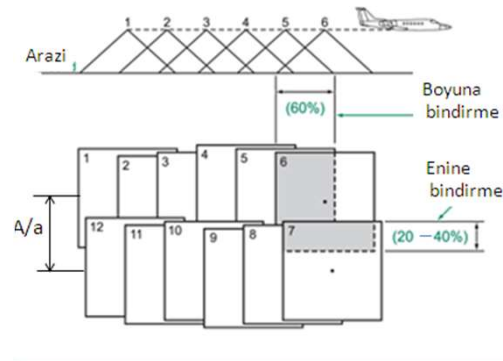


72

- Komşu iki kolonun ortak alanına **enine bindirme** yada **yan bindirme** adı verilir ve q ile gösterilir
- " q " %20-30 civarındadır
- Enine bindirme oranı kolonlar arası uzaklık ile yakından ilgilidir

$$a = s(1 - q)$$

$$A = m_i s(1 - q)$$



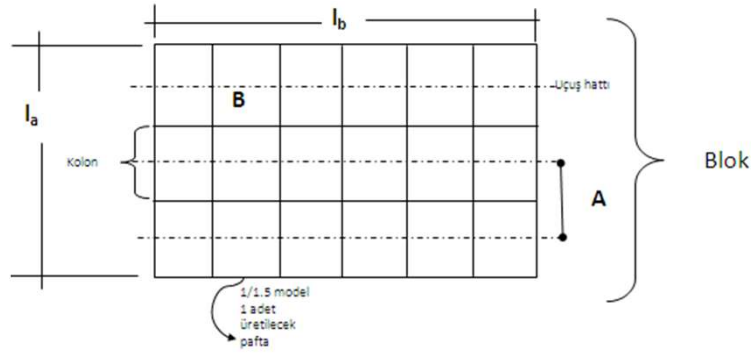
73

- Fotoğraf çekimi-sonuç
 - Fotogrametrik yöntem ile harita üretimi için
 - paralel olan uçuş hatlarında
 - belirlenen aralıklar ile fotoğraflar çekilir
 - Bir uçuş hattındaki fotoğraflar kolonu oluşturur
 - Aynı uçuş hattındaki ardışık fotoğraflar düzenlenen çekim aralıkları veya çekim noktaları sayesinde %60 bindirmeli olarak çekilir
 - bu durum modeli oluşturur ve komşu modellerin koordinat açısından ilişkisinin kurulmasını sağlar
 - fotoğraf orta noktaları arası bazı verir
 - Komşu kolonların fotoğrafları %20 bindirmeli olarak çekilir
 - Bu durum paralel kolonlardaki modellerin birbirleri ile koordinat açısından ilişkisinin kurulmasını sağlar

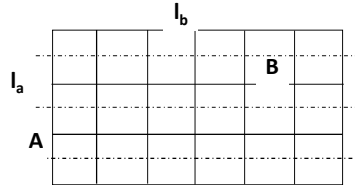
74

Şematik Gösterim

- Birden fazla paralel kolonlardan oluşan topluluğa **blok** denir
- Uçuş DB yönünde yapılmıştır
- Kolon uzunluğu " l_b " ile ifade edilir
- Uçuş yönüne dik doğrultu " l_a " ile ifade edilir



75



- Bir kolondaki fotoğraf sayısı

$$n_r = \frac{l_b}{B} + 1$$

- Bir kolondaki model sayısı

$$n_m = n_r - 1 = \frac{l_b}{B}$$

- Bir bloktaki kolon sayısı

$$n_k = \frac{l_a}{A}$$

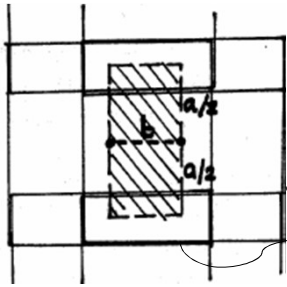
- Bloktaki model sayısı
(blok düzgün dikdörtgen)

$$N_m = n_k \times n_m$$

- Bloktaki fotoğraf sayısı

$$N_r = n_k \times n_r = N_m + n_k$$

76



Net model alanı

$$F_m = A \times B$$

- Proje alanı düzgün bir dikdörtgen değil ise net model alanı bulunur
- Net model alanı boyuna ve enine bindirmeler dikkate alınarak hesaplanır
- Net model alanının kısa kenarı baz uzunluğuna, uzun kenarı da kolonlararası uzaklığa eşittir

$$F_m = m_r^2 \times s^2 (1-p) \times (1-q)$$

- Proje alanı

$$F = l_a \times l_b$$

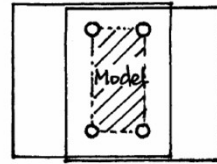
- Toplam model sayısı

$$N_m = \frac{F}{F_m}$$

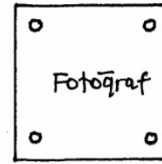
77

Koordinatı bilinen noktalar gereksinimi

- Fotoğraflardan objelerin bir koordinat sistemindeki koordinatlarını bulabilmek için en az üç adet noktanın fotoğraflardaki yerinin ve ilgili sistemdeki koordinatlarının bilinmesi gerekir
- Stereo çalışılıyorsa mümkün olduğunca model köşelerine gelecek şekilde, tek fotoğraf ile çalışılıyorsa fotoğraf köşelerinde en az üç noktaya ihtiyaç vardır

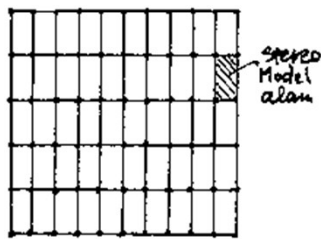


○ Kontrol noktası
(XYZ)



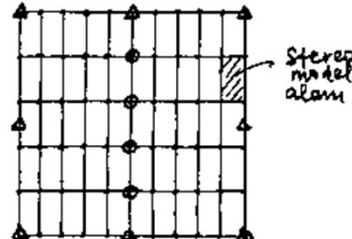
- Nokta koordinatları arazide ölçülerle belirlenip ve işaretleniyorsa **Yer Kontrol Noktaları** (YKN) adlandırılır
- Fotogrametrik Nirengi ölçüm ve dengelemesi ile koordinatlar bulunuyorsa **Fotogrametrik Nirengi** (FN) adını alır

79



• Jeodezik kontrol noktaları (XYZ)

(a)



Δ : Yar kontrol noktası (XYZ)
○ : Düzgün kontrol noktası (Z)
• : Fotogrametrik Nirengi noktası

(b)

- a) Fotogrametrik nirengi uygulanmaması durumu
b) Fotogrametrik nirengi uygulanması durumu

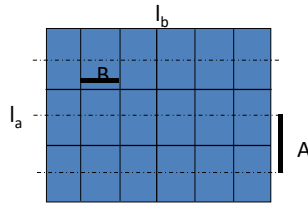
- b'deki YKN sayısı daha da azaltılabilir
- Düzgün bir bloğun her köşesinde birer tane olmak üzere dört kontrol noktası ile de, bloktaki tüm noktaların koordinatları bulunabilir

80

Örnekler

- 30/23'lük bir kamera ile çekilecek 1/4000 ölçekli fotoğraflarda yan (enine) bindirme oranı %30 olacağına göre paralel kolonlar arasındaki "A" uzaklığını hesaplayınız

$$A = m_r s (1-q) = 4000 \times 0.23 (1-0.3) = 644 \text{ m}$$



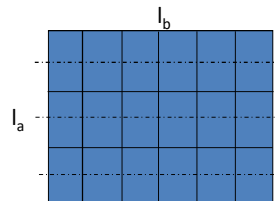
81

- 30/23'lük bir kamera ile çekilecek 1/4000 ölçekli fotoğraflarda ileri (boyuna) bindirme oranı %60, yan bindirme oranı da %30 olduğuna, hektar biriminde net model alanını bulunuz.

$$B = m_r s (1-p) = 4000 \times 0.23 (1-0.6) = 368 \text{ m}$$

$$A = m_r s (1-q) = 4000 \times 0.23 (1-0.3) = 644 \text{ m}$$

$$F_m = A \times B = 23.7 \text{ ha}$$



82

- 10 km x 7 km lik düzgün şekilli bir alanda 1/4000 ölçekli hava fotoğrafları çekilecektir. $p=\%60$, $q=\%30$. Uçuş yönü D-B olacak şekilde, kolon sayısını, her kolondaki model sayısını bulunuz. Uçuş yönü KG alınırsa bu oranlar ne olur?

$$B=368 \text{ m}, A=644 \text{ m}$$

$$n_m = l_b / B = 10000 / 368 = 27.2 \implies 28 \text{ model}$$

$$n_k = l_a / A = 7000 / 644 = 10.9 \implies 11 \text{ kolon}$$

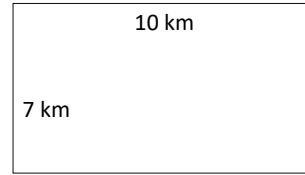
$$\text{Toplam model sayısı} \implies 28 \times 11 = 308$$

KG Uçulursa;

$$n_m = l_b / B = 7000 / 368 = 19 \text{ model}$$

$$n_k = l_a / A = 10000 / 644 = 15.5 \implies 16 \text{ kolon}$$

$$\text{Toplam model sayısı} \implies 19 \times 16 = 304$$



83

- 200 km² lik düzgün olmayan şekilli bir alanda 1/4000 ölçekli hava fotoğrafları çekilecektir. $p=\%60$, $q=\%30$. Toplam model sayısı ne kadardır?

$$F_m = 23.7 \text{ ha}$$

$$N_m = F / F_m = 20000 \text{ ha} / 23.7 \text{ ha} = 844 \text{ model}$$

Not: proje alanı küçükse kolon sayısını ve her kolondaki model sayılarını ayrı ayrı hesaplamak doğru olacaktır

84

- Fotoğraf ölçeklerinin ve yan bindirme oranlarının uçuş yönüne dik pafta genişliğine göre hesaplanması. Bir paftanın minimum modelle örtülebilmesi için genelde fotoğraf ölçeği ve yan bindirme oranları pafta boyutlarına göre seçilir. Örneğin 1/5000 ölçekli bir paftanın KG kenarı 2780 m ise bu pafta DB uçuşla elde edilecek fotoğraflarla minimum modelle kapatılacak ise;
15/23 bir kamera ile 1/16000 ölçekli hava fotoğrafı çekimi için KG kenarı 2780 m olan 1/5000 ölçekli paftada DB yönünde pafta ortası uçuş yapılması durumunda enine (yan) bindirme oranını hesaplayınız?
$$A = mr \times s (1-q) \text{ dan } q = 1 - (A/(mr \times s)) = 1 - (2780/(16000 \times 0.23)) = 0.245 = \%25$$
- Bu durumda bir pafta acaba kaç modelle kapatılabilir? Modelin genişliği ile paftanın DB kenarını karşılaştırmak gerekir. 1/5000 ölçekli bir paftanın DB kenarı 42 derece enleminde 2065 m, 36 derecede ise 2250 m dir

$$\begin{aligned} \text{Modelin genişliği} &= B = 16000 \times 0.23 (1-0.60) = 1472 \text{ m} \\ 2065 / 1472 &= 1.4 \text{ model} \\ 2250 / 1472 &= 1.5 \text{ model} \\ \text{Modelin boyu, uzun kenarı} &= \text{paftanın KG kenarı} = 2780 \text{ m} \end{aligned}$$

85

Uçuş planları

- Fotoğrafı çekilecek bölge için önceden hazırlanan plana göre uçuş yapılır. Bu planlama sonunda uçuş çizgileri ve uçuş yükseklikleri proje alanının uygun ölçekli haritası üzerine çizilir.
- Planların yapılabilmesi için önce kamera ve fotoğraf ölçeğinin belirlenmesi gerekir. Bu iki parametre de çekilecek fotoğrafın amacına göre belirlenir.
- Uçuş planlarının sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için amaca uygun uçağın seçilmesi gerekir. Bu doğrultuda ülkenin coğrafik yapısı ve yapılacak projeler göz önünde bulundurularak seçilir.
- Büyük ölçekli haritalarda ve kadastral çalışmalarda maksimum uçuş yüksekliği 4 km' ye kadar 20-30 dakikada ulaşabilen uçaklar tercih edilir. Uçağın hızı bu durumda $V = 150-200 \text{ km/h}$ olmalıdır.
- Küçük ölçekli çalışmalarda uçuş yüksekliği 8-10 km' ye kadar 40-60 dakika da ve hızı $V = 250-600 \text{ km/h}$ olan uçaklar seçilir.

86

- Uçuş doğrultusunun seçiminde aşağıdaki maddeler göz önünde bulundurulmalıdır.
 - Arazinin coğrafi durumu
 - Proje uygulanacak alanın yeri, konumu ve şekli
 - Fotoğraf çekimi sırasında olabilecek rüzgarın şiddeti
- Aksine bir durum yoksa uçuş çizgileri Kuzey-Güney ya da Doğu-Batı yönünde oluşturulur.
- Fotoğraf çekiminde boyuna bindirme oranı (p) klasik harita üretiminde % 60 yada %80, enine bindirme oranı (q) ise % 20, % 25 yada % 30 gibi bir oran alınabilir.

87

- Hava fotoğraflarının çekiminde şu hususlara dikkat edilmelidir.
 - Güneşin yükseklik açısı 30° den büyük olmalı
 - Bulutsuz ve güneşli bir hava olmalı
 - Kar örtüsü olmamalı
 - Geniş yapraklı ağaçların bulunduğu bir bölgede yaprakların oluşmadığı veya döküldüğü mevsimlerde çekim yapılmalı

88

Baz / Yükseklik Oranı

- İki gözle aynı anda görme olayına binoküler görme denir
- İki gözümüzle derinlikleri algıladığımız üç boyutlu görüş 15 cm den başlar belirli bir uzaklığa kadar devam eder
- Uzaklaştıkça derinlik netliği azalır
- Göz bazı sabit olduğuna göre (57-70 mm) baz/uzaklık oranı nesne uzaklaştıkça küçülür
- Başka bir deyişle, yansıma açısının doğrudan fonksiyonu olan oran küçüldükçe derinlik duyarlılığı da azalır
- Hava fotogrametrisinde de benzer oran kurulabilir
- Bu oran streoskopik ölçmelerin (yüksekliğin/derinliğin) duyarlılığı için kullanılabilir
- Hava fotogrametrisinde buna karşılık gelen Baz/Yükseklik oranıdır
- Yükseklik araziden itibaren uçuş yüksekliğidir

89

$$\frac{B}{h} = \frac{m_r s (1-p)}{c m_r} = \frac{s}{c} (1-p)$$

- Hava fotogrametrisinde standart harita üretimi için bu oran
 - $1/3 \leq B/h \leq 4/3$ arasındadır

90

Görüntü Yürümesi

- Arka arkaya iki fotoğraf çekimi arasındaki Δt süresi, uçağın V hızına ve B baz uzaklığına bağlı olarak hesaplanır

$$\Delta t = \frac{B(m)}{V(m/s)}$$



- Hesaplanan baz uzaklığına karşılık gelen Δt süresi ile fotoğraflar çekilirse tasarlanan boyuna bindirme sağlanır
- Ancak pratikte bindirme düzenleyicisi vb bir araç ile istenilen bindirme otomatik olarak sağlanır
- Bu nedenle arka arkaya iki fotoğraf çekimi arasındaki Δt süresinin hesaplanması gerekli değildir

91

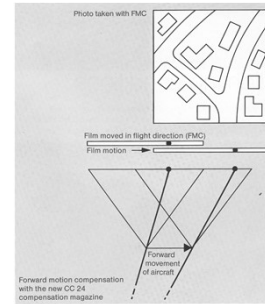
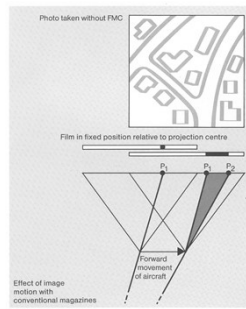
- Objektifin açık kalma süresince uçak hareket edeceği için resim yürümesi adı verilen olay meydana gelir
- Nesne uzayındaki noktalara karşılık fotoğrafta çizgiler oluşur
- Bu da görüntünün netliğinin bozulması anlamına gelir

$$ds = \frac{1}{m_r} V dt$$

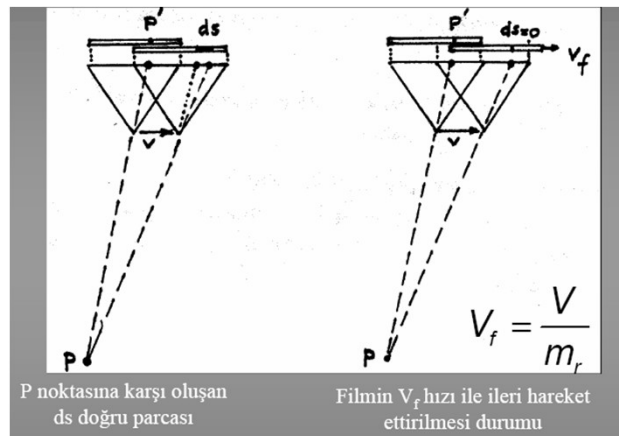
- Görüntü yürümesi uçak hızı, poz süresi ve fotoğraf ölçeği ile doğru orantılıdır
- Küçük olması için değişkenlerin değerinin de küçük olması gerekir
- Uçağın hızını ve poz süresini (dt) belirli bir değerin altına düşürmek olası değil
- 1/5000 ölçekli fotoğraf için poz süresi 1/500 sn ise uçak hızı 200 km/h iken 22 mikronluk bir görüntü yürümesi oluşur

92

- Görüntü yürümesini engellemek için kameralarda bir düzenek bulunur
- FMC-Forward motion compensation
- Ardışık çekimlerde filmi uygun miktarda ileriye hareket ettirir



93



94

- Görüntü yürümesi yalnız uçağın hızı nedeniyle oluşmaz
- Pozlama sırasında uçtaki hız değişimi nedeniyle kameranın da bir miktar hareket etmesi de görüntü yürümesi oluşturur
- Örneğin izdüşüm merkezinde saniyede 1 gradlık dönme hareketi asal nokta dolayında $c \times dt \times (1/g^2)$ kadarlık görüntü yürümesine neden olur
- 15/23 lük bir kamerada ve 1/500 saniyelik poz süresinde 4.5 mikrona karşılık gelir
- Fotoğrafın köşelerinde bu yürüme 6.5-7 mikron dolayındadır
- 30/23 lük kamerada asal nokta civarında 9 mikron, fotoğrafın köşelerinde ise 13 mikronluk bir yürümeye neden olur
- Bu tür yürümenin çözümü yoktur

95

Problemler

- 1) Bindirme oranı arttıkça B/h oranı nasıl bir duruma gelir? Yükseklik doğruluğu açısından %80 mi, %60 mı boyuna bindirme oranı daha uygundur? Kamera olarak da 30/23 lük kamera mı yoksa 15/23 lük kamera mı daha duyarlı yükseklik sağlar?
 - %80 boyuna bindirme için $B/h = 0.2 \text{ s/c}$
 - %60 boyuna bindirme için $B/h = 0.4 \text{ s/c}$ olur
 - %60 bindirme de B/h oranı 2 kat daha büyüktür. Yükseklik duyarlılığı açısından daha iyidir
 - 30/23 lük kamera için $B/h = 23/30 (1-p)$
 - 15/23 lük kamera için $B/h = 23/15 (1-p)$
 - 15/23 lük kamera diğerine göre iki kat daha büyük B/h oranına sahiptir. Daha duyarlı sonuçlar sağlar

$$\frac{B}{h} = \frac{m_r \cdot s \cdot (1-p)}{c \cdot m_r} = \frac{s}{c} (1-p)$$

96

Arka arkaya iki fotoğraf çekimi arasında geçen süre problemi

- 1/5000, 1/10 000, 1/20 000 ölçekli fotoğrafların çekimi için uçağın hızı 150 km/saat (41.7m/s), 200 km/saat (55.6 m/s), 250 km/saat (69.4 m/s) olduğuna göre Δt sürelerini hesaplayınız.
- $p=60\%$ ise B; 460 m, 920 m, 1840 m dir

	150 km/saat	200 km/saat	250 km/saat
1/5000	11.2 s	8.3 s	6.6 s
1/10000	22.1	16.5	13.3
1/20000	44.1	33.1	26.5

$$\Delta t = \frac{B(m)}{V(m/s)}$$

97

Görüntü yürümesi problemi

- 1/5000, 1/10 000, 1/20 000 ölçekli fotoğrafların çekimi için uçağın hızı 150 km/saat (41.7m/s), 200 km/saat (55.6 m/s), 250 km/saat (69.4 m/s); poz süreleri 1/250, 1/500 ve 1/1000 saniye olarak düşünüldüğüne göre her biri için görüntü yürümesi nedir?

$$ds = \frac{1}{m_r} V dt$$

98

V (km/saat)	150			200			250		
dt (s)	1/250	1/500	1/1000	1/250	1/500	1/1000	1/250	1/500	1/1000
1/5000	33.4	16.7	8.3	44.5	22.2	11.1	55.5	27.8	13.9
1/10000	16.7	8.3	4.2	22.2	11.1	5.6	27.8	13.9	6.9
1/20000	8.3	4.2	2.1	11.1	5.6	2.8	13.9	6.9	3.5

99

- Fotoğraf çekimi sırasında izdüşüm merkezinde 0.01 radyanlık bir dönme hareketi ne kadarlık görüntü yürümesine neden olur? $dt = 1/500$ s ve 15/23 lük kamera

fotoğraf orta noktası civarında;

$$ds = 0.01 \times c \times dt = 3 \text{ mikron}$$

Köşelerde;

$$ds = 0.01 \times c \times dt / \cos^2 \tau = 6 \text{ mikron}$$

100

Uçuş Planlaması Verileri

- Blok sınırları
- Üretilecek Pafta İndeksi
- 1/25000 ölçekli raster haritalar
- Sayısal Yükseklik Modeli
- Mevcut Nirengiler

Üretilenler

- Uçuş eksenleri-Kolonlar- başlangıç ve bitişleri
- Fotoğraf çekme noktaları koordinatları
- YKN yerleri

101

Uçuş Planlama Yazılımları

- IGI-WinMP ve yeni versiyonu IGIPlan
- Z/I IN-flight
- Leica Flight Planning and Evaluation (FPES)
- ...

102

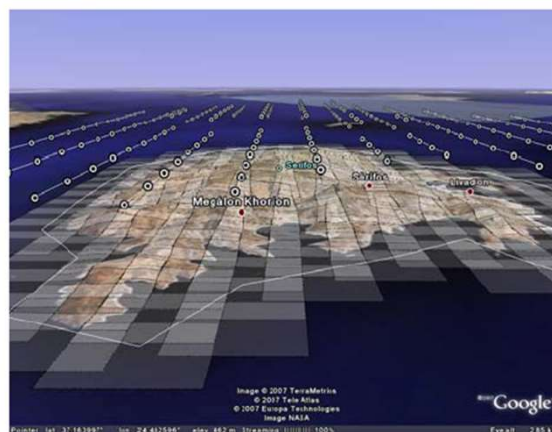
IGIplan

Keyhole Markup Language support:



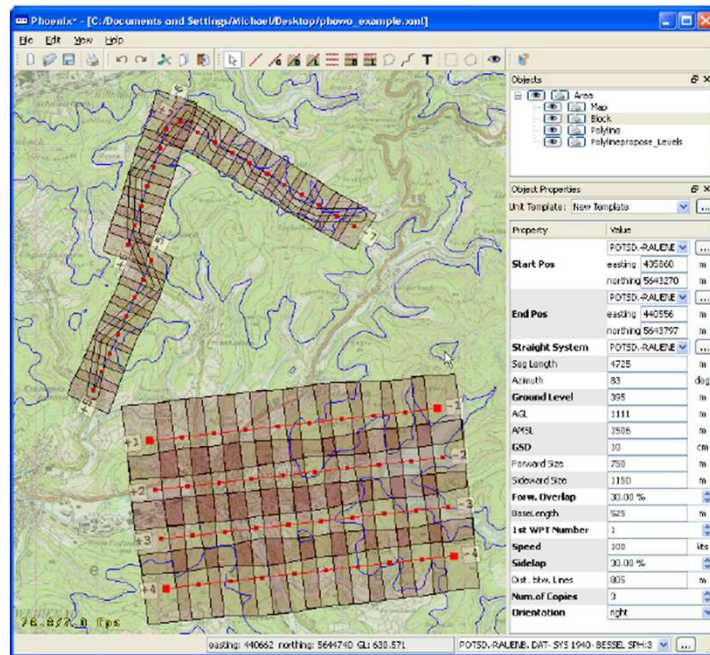
103

[1]

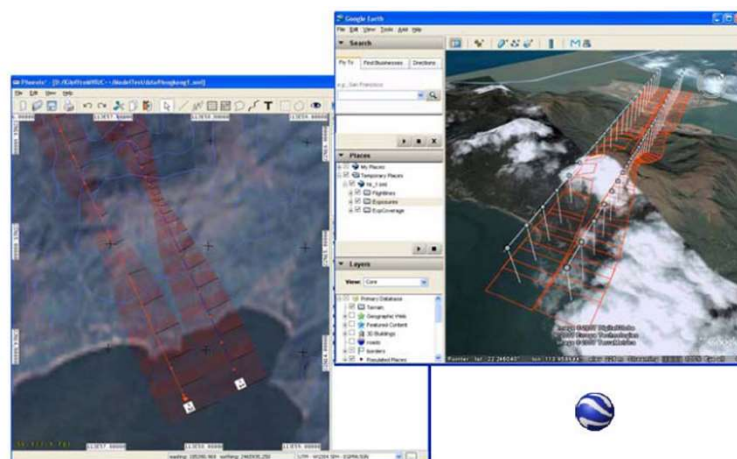


104

[1]



105
(Grimm, 2007)



106

[1]

Uçuş Yönetimi Yazılımı

- CCNS (Computer Controlled Navigation System, v4)
 - Uçuş sırasında kullanılan konum ve fotoğraf çekimi yönetimi sistemi
 - Kamera ve diğer sensörler ile algılama için pilotu yönlendirebilen sistem
 - Uçuş ekseninden kaymalar, ileri bindirme, V/H hesabı, görüntüye yazı yazma vb ihtiyaçları destekler

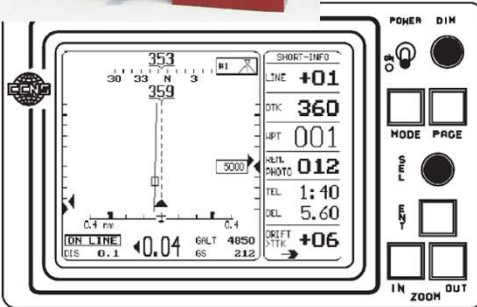
107

[1]

CCNS4



As an example, the illustration on the left side is taken from an actual photo flight. It shows from top to bottom the following guidance information:



Current Heading: 353 deg
 Current (true) Track: 359 deg
 Drift (bottom): +06 deg
 Camera Symbol: CAM#1 to be fired
 Planned Altitude: 5000 feet
 Actual Altitude: 4850 feet
 Ground Speed: 212 knots
 Off-Track Dist. (XTD): 0.04 nm
 Off-Track Correction: to the left
 ON LINE: Aircraft is on line, i.e. the camera(s) is activated
 Dist. to next WPT: 0.1 nm

[1]

CCNS4 & AEROcontrol IId

- AEROcontrol GPS ve IMU sistemini içerir, uçuş anı için CCNS4 ile iletişim halindedir ve uçuş sonrası için de destek sağlar
- Sistemlerin diğer sistemlerle entegrasyonu ile uçuş anında veya sonrasında ile dış yöneltme elemanları belirlenebilir
- Kamera ve lidar doğrudan yöneltme işlemleri de dahil olmak üzere AEROcontrol CCNS4'den bağımsız da kullanılabilir

109

[1]

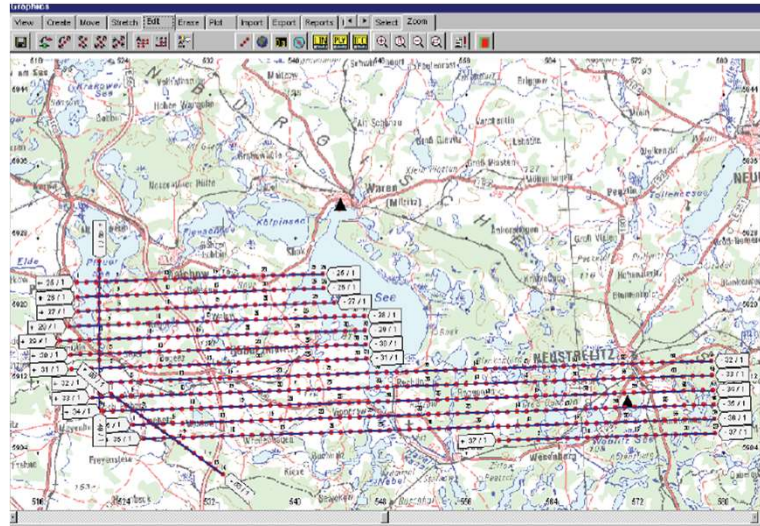
AEROoffice

- Uçuş sırasında toplanan verileri işlemek üzere geliştirilmiş bir yazılımdır
 - DGPS ve IMU verileri işlenebilir-GrafNav yazılımı
 - IMU eksen sistemi ile kamera eksen sisteminin dönüşümü sağlanabilir

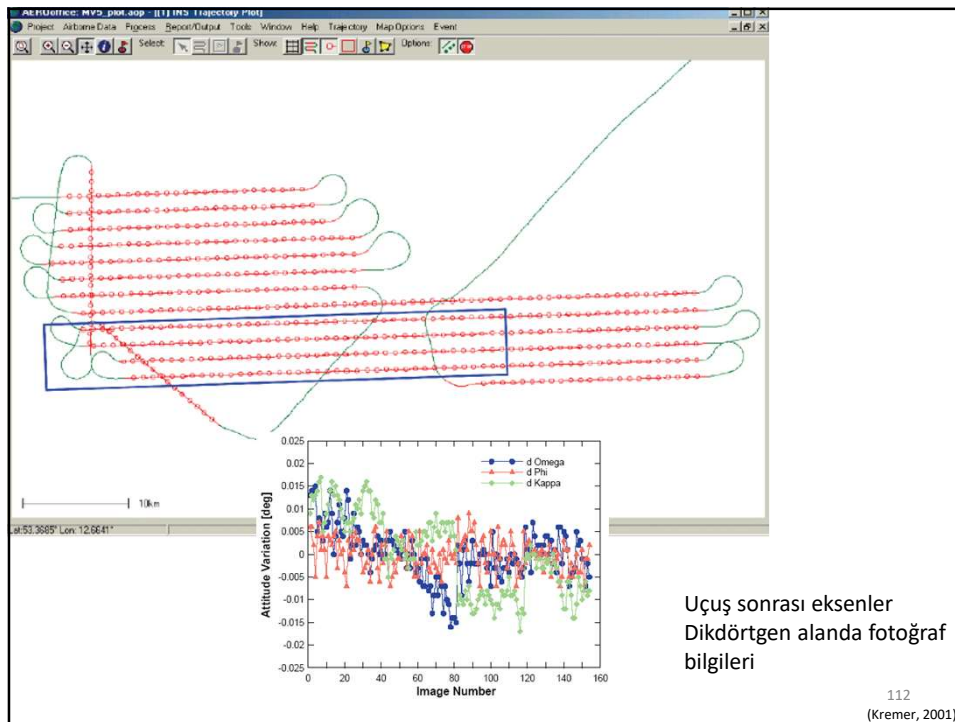
110

[1]

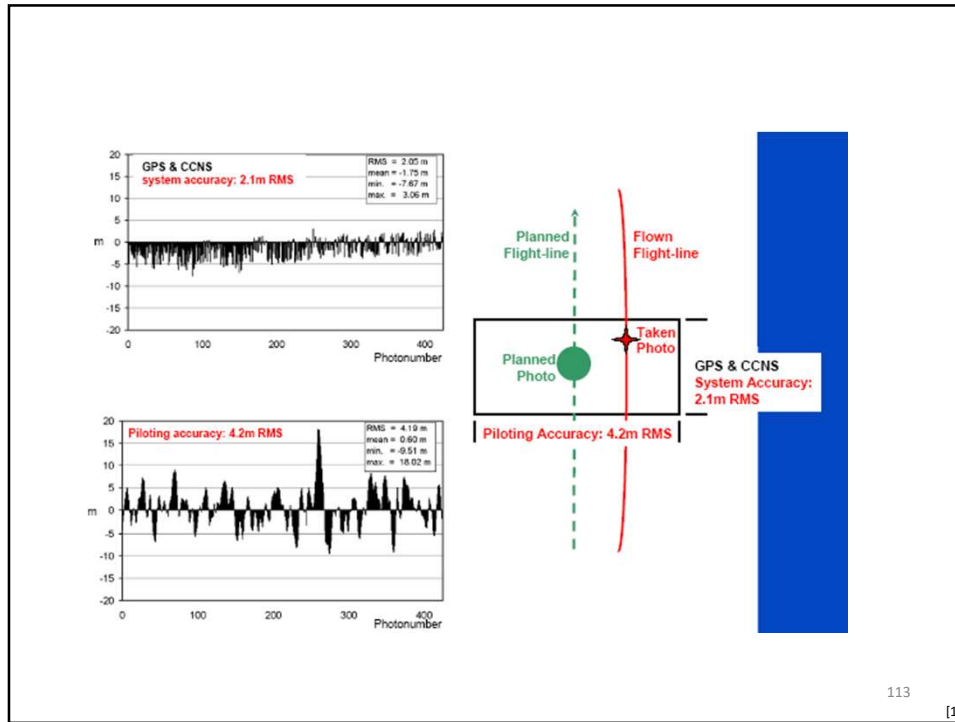
WinMP ile planlanmış uçuş eksenleri



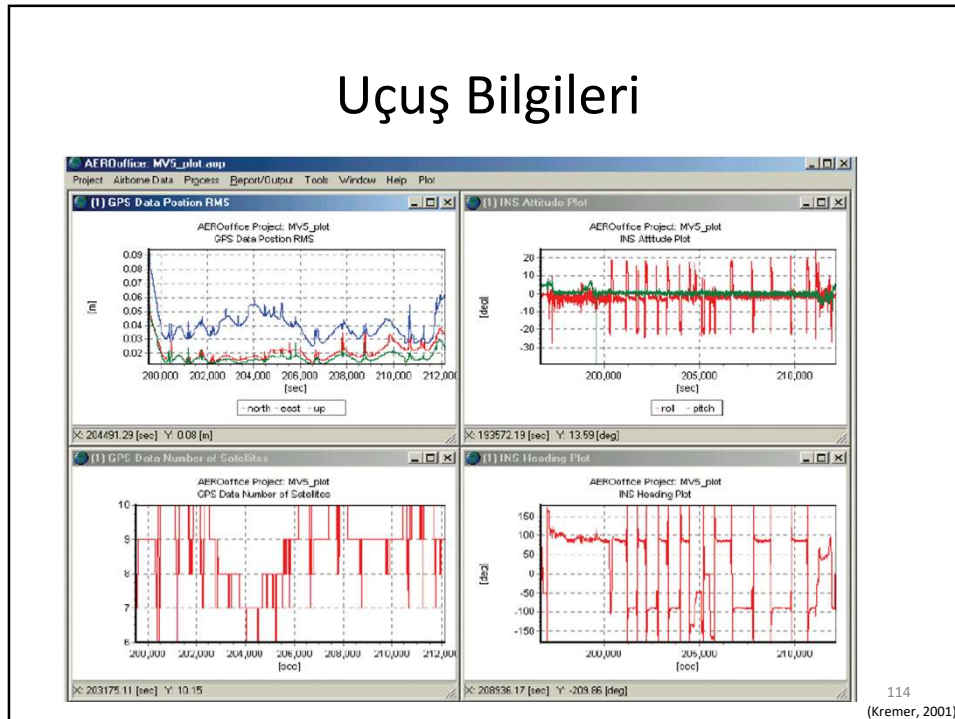
111
(Kremer, 2001)



112
(Kremer, 2001)



Uçuş Bilgileri



Hava Kameraları



Leica RC30 Aerial Film Camera

115

Metric aerial cameras only exist since about 1920

First handheld aerial cameras all used panchromatic glass plates with formats in the 10 to 15 cm range



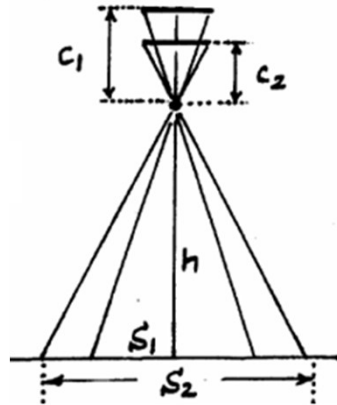
Wild C2 – 1925

$f = 165 \text{ mm}$,
10 x 15 cm glass plates

116

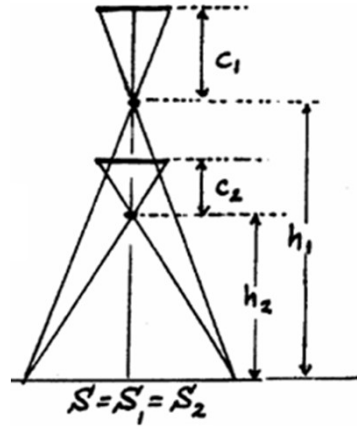


117



- Kamera açısı büyüdükçe bir fotoğrafın arazide kapattığı alan genişlemektedir
- Alanlar arasındaki oran $F1/F2=(c2/c1)^2$
- Buda daha az sayıda fotoğraf ve modelle kapatılabilecek demektir
- Geniş ve çok geniş açılı kameralar ile ekonomi sağlanacaktır

118



- Farklı kameralarla aynı ölçekte fotoğraf çekildiği düşünülürse uçuş yükseklikleri ve asal uzaklıkları arasında $h_1/h_2 = c_1/c_2$ bağıntısı oluşmaktadır
- Fotoğraf ölçeğinin verilmesi durumunda çok küçük yada çok büyük ölçeklerde uçuş yükseklikleri için maksimum ve minimum sınırlar için kimi kameraların kullanımına engel teşkil eder

119

- Karşılaştırma için başka bir bakış açısı B/h oranı yada stereoskopik ölçmelerin doğruluğu ile ilgilidir

$$\frac{B}{h} = \frac{m_r s (1-p)}{c m_r} = \frac{s}{c} (1-p)$$

- Eşitlik geniş ve çok geniş açılı kameralarla yükseklik doğruluğunun daha iyi sağlanabileceğini göstermektedir
- Ancak Geniş ve çok geniş açılı kameralarda fotoğrafta çıkmayan ölü alanlar fazladır
- Tek tek fotoğrafların değerlendirilmesi söz konusu ise normal açılı hatta dar açılı kameralar tercih edilir

120

Filmsiz ilk kamera

- 1975 Steve Sasson (Kodak) ilk dijital kamera-Vintage
- 0.01 Mpiksel (10 000 piksel) Siyah-Beyaz görüntü
- 23 saniyede kasete kayıt
- 100 x 100 piksel CCD sensör - Fairchild Corporation



121

İki Farklı Algılama Sistemi

- Çizgi tarayıcılar
 - line scanner/ linear array scanner
 - Pushbroom system
- Çerçeve kameralar
 - Multiple frame cameras

122

Çizgi tarayıcılar

- Dizi şeklinde kayıt ile kolonlar oluşturulur
- Türleri
 - tek satırlı tarayıcı
 - üç satırlı tarayıcı
 - Düşey, ileri ve geri bakışlarla tarama sistemi sonuç üç adet görüntü satırları
 - panoromik tarayıcı

123

Çerçeve kameralar

- Bindirilmiş kayıtlar ile dikdörtgen çerçeveli görüntü oluşturulması
- Türleri
 - büyük format
 - orta format
 - küçük format

124

Dijital Kameralar-Hava



Z/I DMC



Leica ADS40



Vexcel UltraCam D



Applanix DSS

DiMAC
DIGITAL MODULAR AERIAL CAMERA

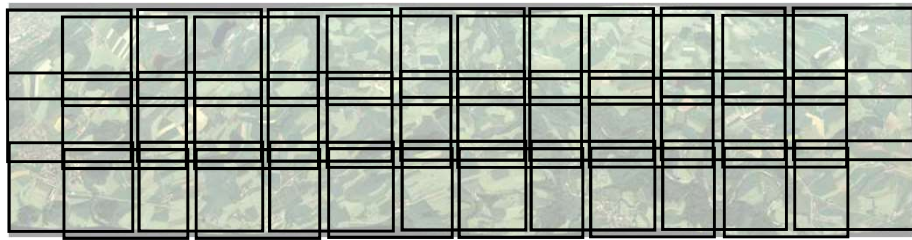
125

- Üç satırlı tarayıcı kameralar
 - Leica Geosystems: ADS40, ADS80
 - http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_57627.htm
 - Wehrli & GeoSystem Instrument: 3-DAS-1
 - http://www.wehrliassoc.com/prod_cam.htm
- Çerçeve kameralar
 - Intergraph: DMC
 - Microsoft Vexcel
 - UltraCam_D, [UltraCamXp](#) büyük formatlı, [UltraCamL](#) orta formatlı kamera
 -

126



127

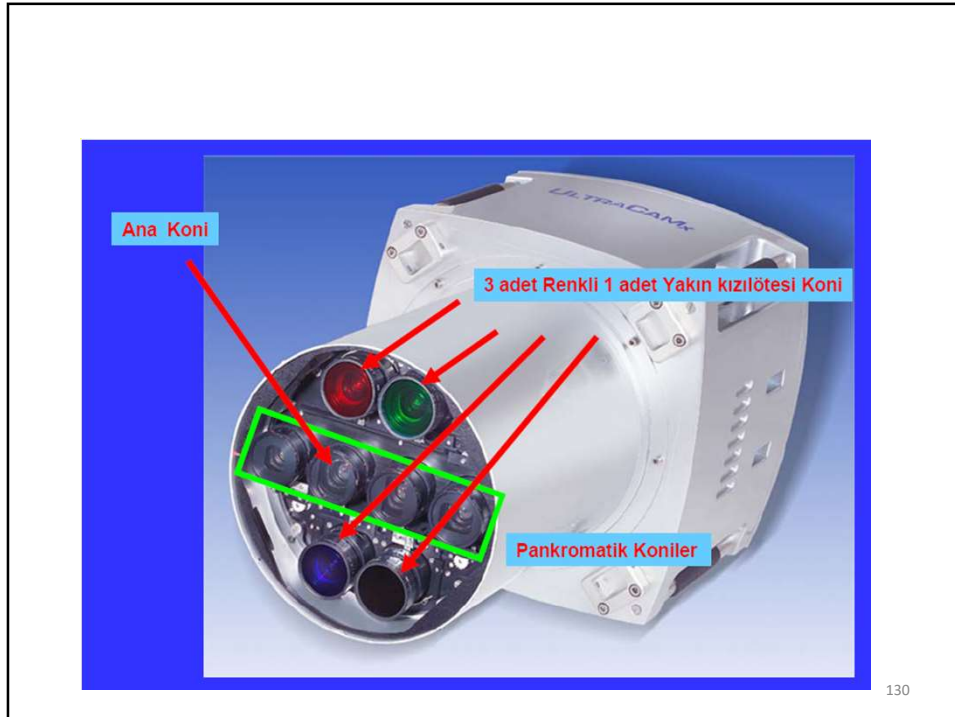
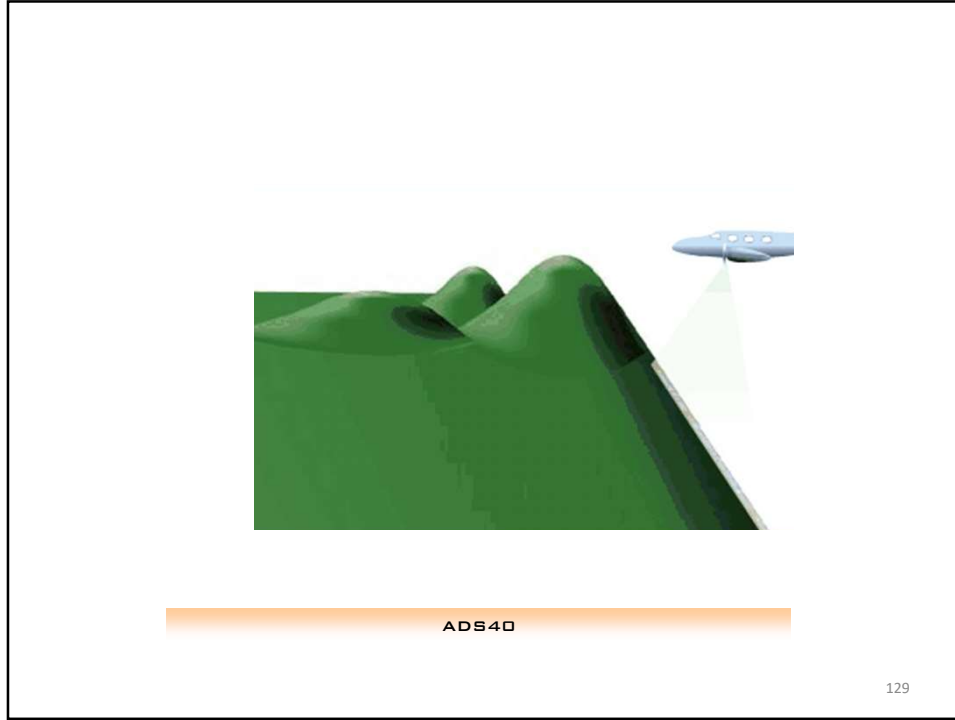


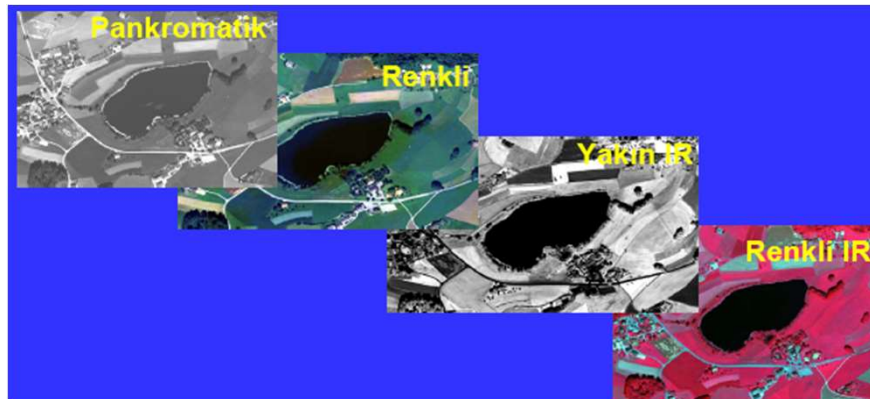
Çerçeve Kamera Görüntüsü



Üç Satırlı Kamera Görüntüsü

128

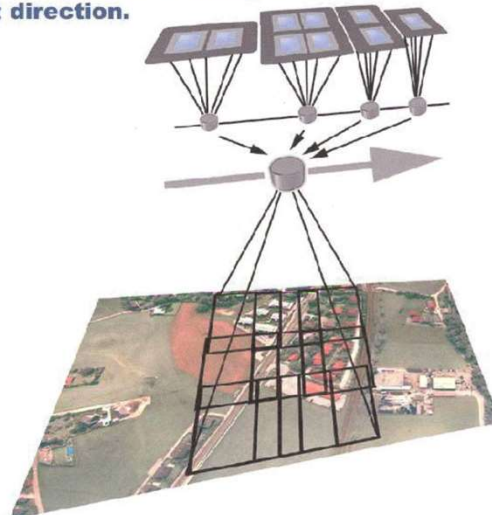




131

Multiple area
arrays -
Vexcel
UltraCam

**Four panchromatic cones are aligned
behind one another along the
flight direction.**



The exposures get triggered with small delays between 1 and 2 msec. This is being denoted as "syntopic imaging" and results in one single perspective image. The multispectral channels red, green, blue and near infrared are acquired with another set of four cones.

132

Digital work flow: Map accuracy requires a Ground Sample Distance (GSD)

$$\text{GSD} = \frac{\text{sensor altitude}}{\text{lens focal length}} * \text{pixel size} = \frac{2000 \text{ m}}{62 \text{ mm}} * 6.5 \text{ um} = 20.968 \text{ cm}$$

Film based work flow: Map accuracy requires a certain photo scale

$$\text{Photo Scale} = \frac{\text{sensor altitude}}{\text{lens focal length}} = \frac{1600 \text{ m}}{152 \text{ mm}} = 10,500$$

133

Ground spacing/sample distance-GSD Yer Örnekleme Aralığı

- $\text{GSD} = \text{mr} \times \text{piksel büyüklüğü}$
- $\text{Mr} = 1/\text{mr} = f/h = \text{Ps}/\text{GSD}$
- $\text{GSD} = (\text{Ps}/f) \times h$
- Ps: piksel büyüklüğü, örneğin 10 mikron (μ)

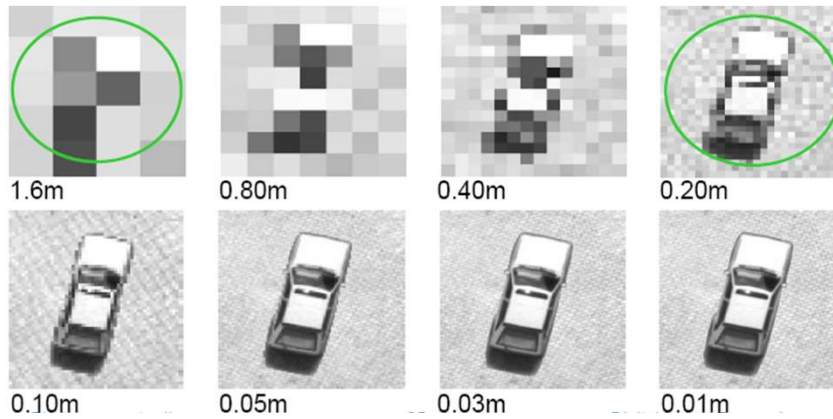
134

Karşılaştırma

	ADS40	DMC	UltraCamD
Pankromatik çekim			
piksel sayısı	12000	13000x7500	11500 x 7500
Piksel büyüklüğü (μ)	6.5	12	9
GSD (m) (h=uçuş yüksekliği)	$h/9500$	$h/10000$	$h/11000$
GSD (cm) h=2000 m	20	20	18

135

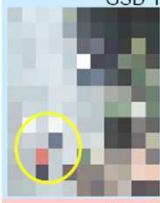
GSD



136

Geometric Resolution
Detection - Interpretation - Identification

GSD 1.6 m



GSD 0.20 m



Size of detectable object
GSD x 3

Car size ~ 4.5m - 5m
GSD 1.6 m x 3 = 4.8 m

Size of interpretable object
GSD x 24

Car size ~ 4.5 - 5m
GSD 0.2 m x 24 = 4.8 m

An object is interpretable when its size is 20-25 times the GSD!

137

Kamera açıklık açlarına genel bir yaklaşım

Objektif	Kamera açıklık açısı- Ω	Video (8mm x6mm)	küçük format (36mm x 24 mm)	orta format (60mmx60mm)	büyük format (23cm x 23cm)
Köşegen		10 mm	43 mm	84 mm	325 mm
Dar açı	15-25°	> 22 mm	>90 mm	>190 mm	610 mm
Normal açı	40-70°	7-13 mm (8 mm)	40-60 mm (50 mm)	70-115 mm (80 mm)	280-440 mm (300 mm)
Geniş açı	70-100°	4-7 mm	18-35 mm	35-60 mm	135-230 mm
Balık gözü	>100°	<4 mm	<18 mm	<35 mm	<135 mm

3. Bölüm

Yöneltmeler

139

Çift fotoğraf değerlendirme

- Değerlendirme, kıymetlendirme: yöneltme ve stereo sayısallaştırma işlemlerini kapsar
- Bir objenin bindirilmiş fotoğraflarının çekimi ve iki fotoğraftan, objenin konum ve biçiminin noktasal ölçümlerle bilgisayar ortamında yeniden oluşturulması
- Yöntemlerin gelişim süreci
 - Analog
 - Analitik
 - Dijital

140

Yöneltmeler

- Yönelme (Heipke, 1996)
 - harita üretimi, CVT veri toplama, ortofoto yapımı, 3B koordinat içeren SYM vb işlerin yapılabilmesi için gereken ön işlemdir
 - nokta, çizgi ve çokgen gibi geometrik şekilleri bir KS'den diğer KS'ne eşleştirmek için fotogrametrik modelin parametrelerinin tanımlanması işlemidir.
 - aslında işlem bir koordinat dönüşümü problemidir: obje (arazi) KS, görüntü KS ve piksel KS
- Fotogrametride ölçüler stereo görülerek yapılacaktır ilk aşama fotogrametrik modelin gerektirdiği zorunluluklar yerine getirilir
 - kamera odak uzaklığının ve fotoğraf asal noktasının koordinatlarının fotoğraf KS'nde tanımlanması
 - projeksiyon merkezi koordinatlarının arazi KS'nde tanımlanması
 - çekim anındaki dönüklüklerin tanımlanması
 - arazi KS ile bağlantıyı sağlayacak noktaların tanımlanması (stereo model için en az 3 nokta)
- Bu veriler FN Dengelemesi sonrasında üretilebileceği gibi, bir kaç model değerlendirilecek iç (Interior Orientation-IO) ve dış yönelme (Exterior Orientation-EO) aşamaları sırayla izlenebilir
- Dış yönelme karşılıklı (Relative Orientation) ve mutlak yönelme (Absolute Orientation) aşamalarından oluşur
- Dijital fotogrametri
 - görüntü işleme ve görüntü analizi tekniklerinin kullanımı ile hemen hemen her aşama otomatik olarak yapılabilmektedir
 - karşılıklı yönelme ve mutlak yönelme ile bir arada tamamlanabilmektedir

141

İç Yönelme

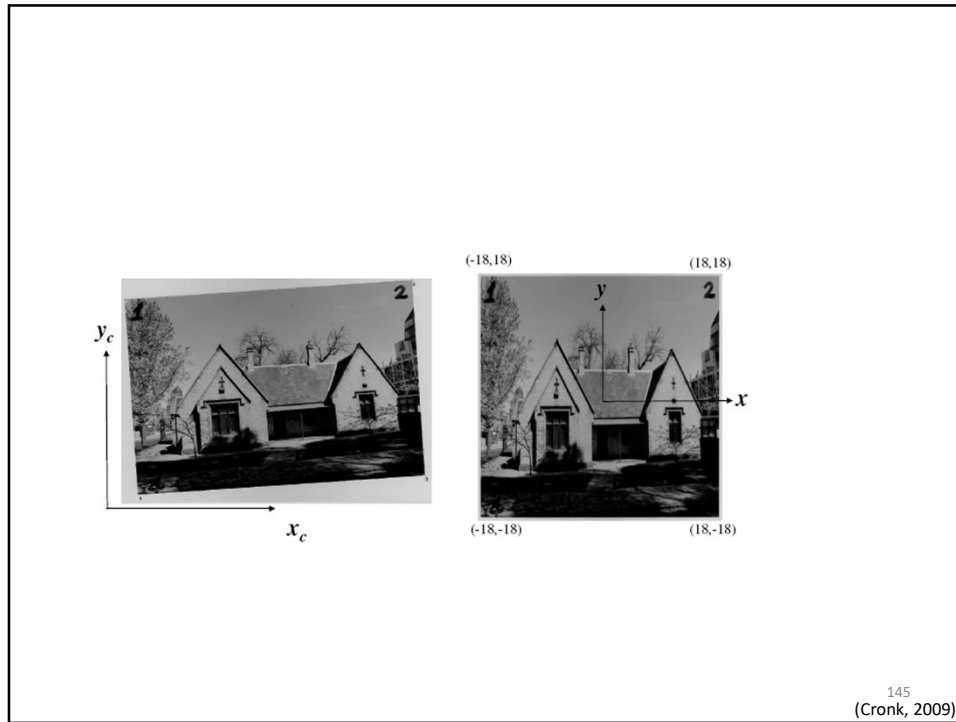
- Kamerada bulunan film yada görüntünün çekim anına,kamera ortamına geri döndürülmesidir
- Görüntülerin piksel KS ile fotoğraf KS arasındaki ilişki kurulur. Dijital kamera görüntülerinde her görüntü için ilişki aynıdır ve kalibrasyon sırasında belirlenir
- **Projeksiyon merkezi ile fotoğraf arasındaki ışının yeniden oluşturulması işlemidir**
- **Çekim anındaki durum bilgisayar ortamında yeniden oluşturulur**
 - Fotoğraf asal noktasının koordinatları (x_p , y_p) ve odak uzaklığı sisteme tanımlanır
 - Mercek distorsiyon değerleri tanımlanır
 - öncül standart sapma ve yapılabilecek en büyük hata sınırı tanımlanır

142

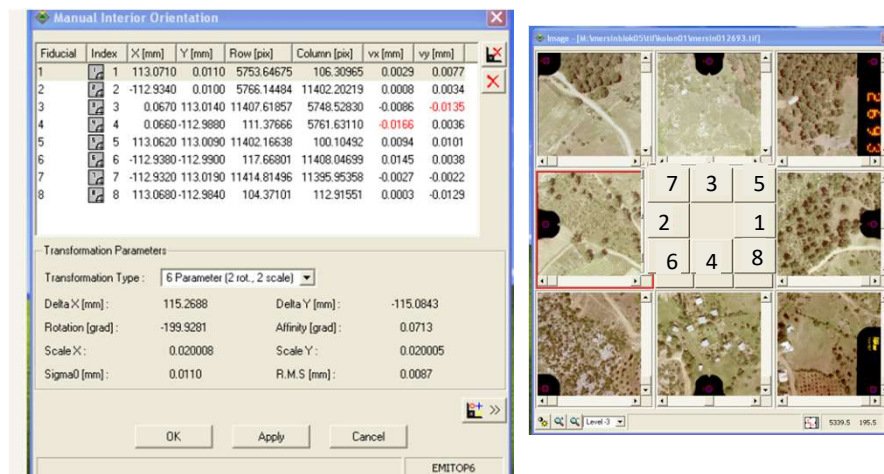
Film kamerası taranmış görüntüde çerçeve işaretlerinin ölçümü



- Film kameraları ile çekilmiş fotoğraflar ve sonradan taranmış görüntülerde 8 civarı çerçeve işareti ölçülür
- Afin dönüşümle fotoğraf asal noktası tespit edilerek piksel koordinatlarından fotoğraf KS koordinatlarına geçilmiş olur
- Dönüşüm sonucu artık hatalar 10 μ değerini aşmamalıdır



İç Yöneltilme Sonuçları



146

UltraCam D görüntülerinin iç yöneltmesi-Kamera kalibrasyon raporu

UltraCam D, Serial Number UCD-SU-1-0022

Panchromatic Camera

Large Format Panchromatic Output Image

Image Format	long track	67.5mm	7500 pixel
	cross track	103.5mm	11500 pixel
Image Extent		(-33.75, -51.75)mm	(33.75, 51.75)mm
Pixel Size		9.000µm*9.000µm	
Focal Length	ck	101.400mm	± 0.002mm
Principal Point	X_ppa	0.000 mm	± 0.002mm
(Level 2)	Y_ppa	0.180 mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Multispectral Camera

Medium Format Multispectral Output Image
(Upscaled to panchromatic image format)

Image Format	long track	67.5mm	2400 pixel
	cross track	103.5mm	3680 pixel
Image Extent		(-33.75, -51.75)mm	(33.75, 51.75)mm
Pixel Size		28.125µm*28.125µm	
Focal Length	ck	101.400mm	
Principal Point	X_ppa	0.000 mm	± 0.002mm
(Level 2)	Y_ppa	0.180 mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

147 [1]

Dış Yöneltme

Projeksiyon Merkezi Koordinatları (X_0 , Y_0 , Z_0)

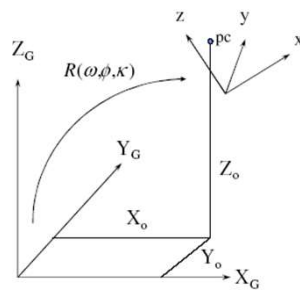
Dönüklükler φ , ω , κ

148

- Obje KS ve görüntü KS arasındaki dönüşüm olarak tanımlanır
- Projeksiyon merkezinin Arazi KS koordinatları ve kamera eksenlerinin konumları (fotoğrafların dönüklükleri) bilinirse, bir arazi noktasının konumu tespit edilebilir

149

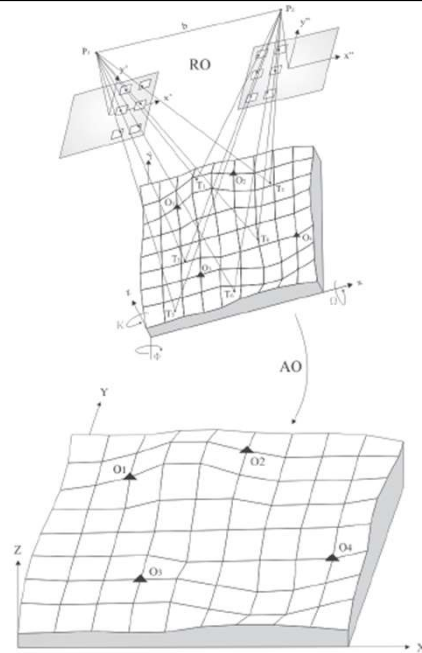
- Dönüklük açıları arazi KS'ne uygulanmak istenir, öyle ki bu sistem görüntü KS'ne paralel hale gelsin

150
(Habib, 2008)

- Bir fotoğraf çiftinin iki ışın destesini uzayda konumlandırmak ve yönlendirmek için 12 bilinmeyen vardır
 - $X_{ol}, Y_{ol}, Z_{ol}, \varphi_l, \omega_l, \kappa_l$
 - $X_{or}, Y_{or}, Z_{or}, \varphi_r, \omega_r, \kappa_r$
- Bilinmeyenler karşılıklı ve mutlak yöneltme ile çözümlenir

151

- Karşılıklı yöneltme (RO); **fotoğraf çiftlerinin ışın destelerinin konumlarının ve yönlenmelerinin, ışınların ilgili noktalarda çakışacak şekilde düzenlenmesi sürecidir**
- Keyfi bir KS'nde stereo model oluşturulmuş olur. 5 parametre, 5 noktada ışınların çakıştırılması ile çözülür
- Mutlak yöneltme (AO) ile bu sistem Arazi KS'ne taşınır. 7 parametre Uzak Benzerlik Dönüşümü ile çözülür

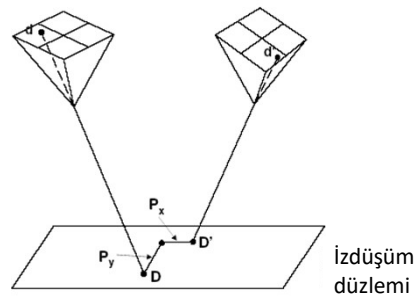
152
(Fras vd, 2008)

Karşılıklı Yönelme

153

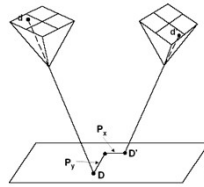
x-Paralaksı & y-Paralaksı

- Bir stereo modelde yer alan bir nokta için 2 fotoğraftan 2 ışın söz konusudur
- Yönelme yapılmadıysa bu ışınlar herhangi bir izdüşüm düzleminde ayrılırlar, D noktasına farklı yerlerde ulaşırlar

154
(Habib, 2008)

x-Paralaksı & y-Paralaksı

- Bu durum iki bileşen içerir
 - x-paralaksı
 - iki projeksiyon merkezini birleştiren baza paralel yöndedir
 - y-paralaksı
 - baza dik yöndedir
- x-paralaksı derinlik algılaması ile ilgilidir
- Karşılıklı yöneltme sırasında y-paralaksı ortadan kaldırılır



155
(Habib, 2008)

Karşılıklı Yöneltme

- Amaç: Bir stereo modeli oluşturan iki fotoğrafın ışın destelerinin birbirlerine göre rölatif konumlandırılması ve duruşlarının ayarlanması ile eşlenik noktalardan gelen ışınların bir düzlemde kesişmesinin sağlanması
- Sonuç: Keyfi bir koordinat sisteminde, arazinin yada objenin 3B olarak gözlemlenebildiği bir stereo modeldir
- 5 tane eşlenik ışın bu şekilde keşistirilirse, diğerleri de kesişecektir

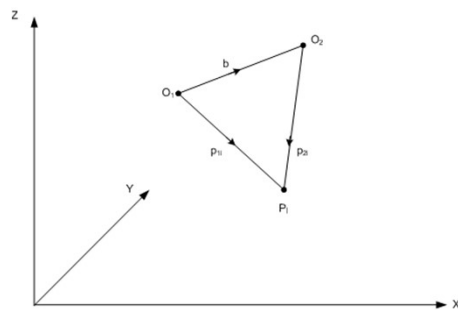
156
(Habib, 2008)

Karşılıklı Yönelme-KY

- Karşılıklı yönelme ile beş bilinmeyen tespit edilir
 - $\phi_l, \omega_l (\omega_r), \kappa_l, \phi_r, \kappa_r$
- Klasik iki yöntem vardır
 - Bağımlı KY
 - Bağımsız KY
- İki de matematik model vardır
 - Kolienarite eşitliği (çözüm Fotogrametrik Nirengi bölümünde açıklanmıştır)
 - Koplanarite koşulu (bu bölümde açıklanacaktır)

157

- Karşılıklı yönelme b, p_{1i}, p_{2i} vektörlerinin çarpımı ile formülize edilebilir



158

- İki vektörün çarpımı ve çıkan sonucun b^t ile çarpımı

$$b^t \cdot (p_{1i} \times p_{2i})$$
- Çarpım sonucu; bu vektörler üzerine kurulan paralelkenarın (paralelogram) hacmi bulunur
- Üç vektör bir düzlem üzerinde ise hacim sıfır olur

$$b^t \cdot (p_{1i} \times p_{2i}) = 0$$

159

Düzlemdeşlik (koplanarite, coplanarity) koşulu

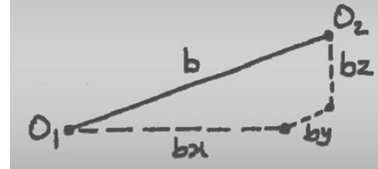
- Karışık çarpım determinant ile gösterilirse;

$$\Delta = \begin{vmatrix} bx & p_{1i,x} & p_{2i,x} \\ by & p_{1i,y} & p_{2i,y} \\ bz & p_{1i,z} & p_{2i,z} \end{vmatrix} = 0$$

- Bu koşul düzlemdeşlik (koplanarite, coplanarity) koşulu olarak adlandırılır
- Dijital fotogrametride bu koşuldan epipolar geometriye geçilir
- P obje noktası, noktanın iki fotoğraftaki karşılıkları ve iki fotoğrafın projeksiyon merkezi aynı düzlemde olmalıdır

160

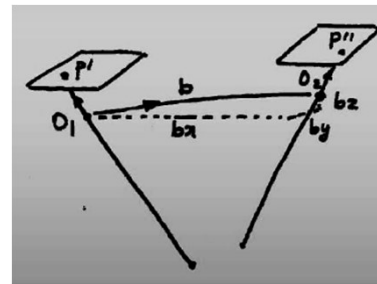
- İki projeksiyon merkezi arasındaki baz (b) aslında üç bileşenden oluşur
bx, by, bz



- Karşılıklı ışınların kesişmesi için $P'O_1$ ve $P''O_2$ doğru parçaları aynı düzlemde olmalıdır

Veya

- $\vec{b}, \vec{x}', \vec{x}''$ aynı düzlemde olmalıdır



- Düzlemdeşlik koşulu aşağıdaki gibi gösterilirse

$$\Delta = \begin{vmatrix} bx & by & bz \\ x' & y' & c \\ x'' & y'' & c \end{vmatrix} = 0$$

- x eksenini b ile çakıştırılırsa

$$bx = b$$

$$by = bz = 0$$

$$\Delta = b c (y' - y'') = 0$$

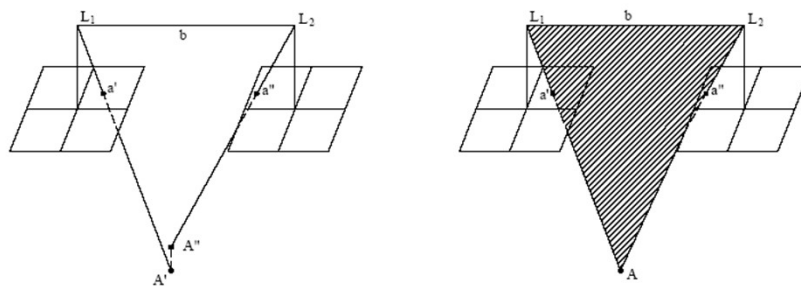
- b ve c sabit olduğuna göre karşılıklı yöneltme aşağıdaki koşula bağlı kalır
 $y' - y'' = 0$

y-paralaksı

- Koşula göre aynı noktaya ait “y” farkları yok edilmelidir (y; fotoğraf KS ne göre düşey bileşen)
- Bu farka düşey paralaks denir

$$p_y = y' - y''$$
- Stereo model oluşması için koşul modelde düşey paralaksın olmamasıdır

163

164
(Habib, 2008)

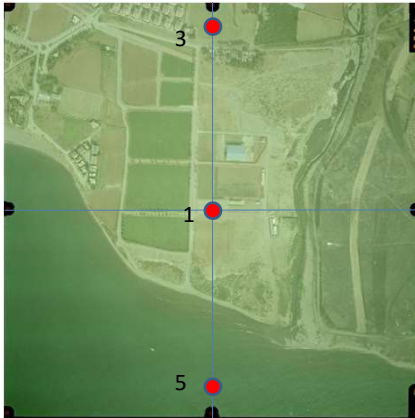
y-paralaksının yok edilmesi&çözüm

- Çözümlerden biri analog sistemler için geliştirilmiş yöntemdir. Bağımlı ve bağımsız yöneltme olarak iki ayrı tarzda çözülebilmektedir
 - Bağımsız yöneltmede her iki fotoğraf ayrı ayrı dönüklük elemanları ile yöneltir
 - Bağımlı yöneltmede 2. fotoğraf birinciye göre, by ve bz elemanları da kullanılarak yöneltir
- Diğer y paralaksının ölçümüne ve 5 bilinmeyen hesapla bulunmasına dayanır (analitik ve dijital fotogrametri sistemlerinde uygulanabilir, analog da ise hesaplanan dönüklükler ilgili elemanlara yerleştirilir)
- Her iki yöntemde, modelde "Von Gruber" noktalarında uygulanır

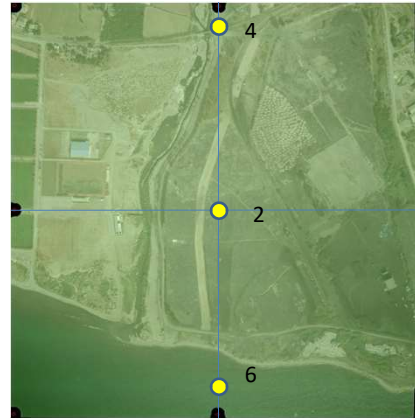
165

Von Gruber noktaları

1. fotoğraf



2. fotoğraf



166

%60 bindirme ve Von Gruber noktaları

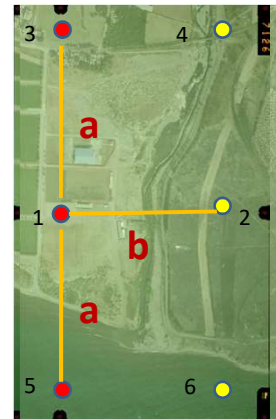


167

Stereo model ve Von Gruber Noktaları

Karşılıklı yöneltme noktalarının koordinatları paralaks formülünde yerine yazılarak bu noktalardaki kısmi paralaks katsayıları aşağıda gösterilmiştir. Bu bilgilerle KY için uygun bir sıralama yapılır. Amaç daha önce paralaksı giderilmiş noktalarda tekrar paralaks oluşumuna engel olmak ve her elemanın etkisinin en büyük olduğu noktalarda kullanılmasını sağlamaktır

Nokta	X	Y	db _y	db _z	dl _y '	dl _y ''	dl _z '	dl _z ''	dl _z '''
1	0	0	1	0	0	0	c	0	-b
2	b	0	1	0	0	0	c	-b	0
3	0	a	1	a/c	0	ab/c	$c(1+\frac{a^2}{c^2})$	0	-b
4	b	a	1	a/c	ab/c	0	$c(1+\frac{a^2}{c^2})$	-b	0
5	0	-a	1	-a/c	0	-ab/c	$c(1+\frac{a^2}{c^2})$	0	-b
6	b	-a	1	-a/c	-ab/c	0	$c(1+\frac{a^2}{c^2})$	-b	0



168

Dijital Fotogrametride Klasik Karşılıklı Yönelme

- Von Gruber noktalarında paralaks ölçüsü yapılır
 - Örneğin 1 numaralı noktanın fotoğraf KS koordinatları 1 ve 2. fotoğraflarda ölçülür
- Dolaylı ölçmeler dengelemesine göre, her nokta için paralaks formülü ile bir düzeltme denklemi oluşturulur
- Beş yönelme bilinmeyenine getirilecek düzeltmeler, normal denklemler çözülerek elde edilir
- Yinelemeli çözümdür

169

Mutlak Yönelme

- Mutlak Yönelme ile modelin arazi KS ile ilişkisi kurulur
- Arazi koordinat sistemi şunlarla tanımlanır
 - Başlangıç noktası koordinatları (3 bilinmeyen)
 - Uzaydaki yönelimler - duruş (3 bilinmeyen)
 - Ölçek faktörü (1 bilinmeyen)

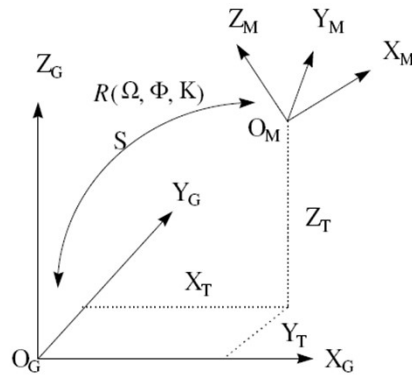
170

Mutlak Yönelme

- Amaç: Arazi KS bilinen noktalar kullanılarak stereo modelin döndürülmesi, ötelenmesi ve ölçeklendirilmesidir
- Mutlak yönelme için stereo model
 - Üç yönde de döndürülebilir
 - Bir adet ölçek faktörü uygulanabilir
 - Üç yönde ötelenebilir
- Klasik fotogrametride 7 bilinmeyen bu aşamada **uzay benzerlik dönüşümü** ile çözülür
- 3B benzerlik dönüşümü formülleri üçten fazla noktada ölçüm yapılarak EKK Dengelemesi ile dengelenir ve bilimeyenler hesaplanır

171

- M: model
- G: Arazi

172
(Habib, 2008)

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} + S \cdot R(\Omega, \Phi, K) \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{bmatrix}$$

173

4. Bölüm

Fotogrametrik Nirengi

174

Fotogrametrik Nirengi-FN

- Fotoğraflar , kamera ve arazi/obje arasında bağlantı kurabilmek için iki sistemde ortak noktalar olması gerekir
 - Sistemler: Model/Görüntü ve Obje
- Gerek tek fotoğraf gerekse bir stereo model için ortak en az üç ortak nokta gerekir
- Tüm noktaları arazi/obje üzerinde ölçmek işaretlemek yerine, çoğunu fotoğraflardan oluşturmak FN üretmek işlemidir
- Tüm veriler dengelendiği için sonuçlar çok güçlü olmaktadır

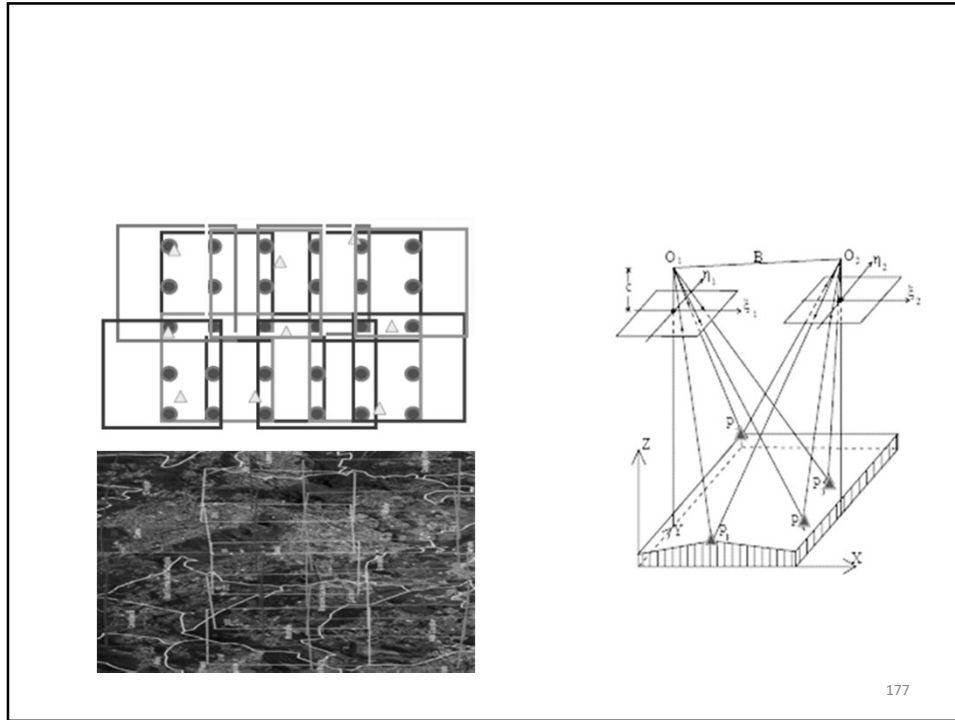
175

Yöntemler

- Kolon
- Bağımsız Modeller
- Işın Desteleri

(Bundle Adjustment/Demet Dengeleme/Işın Demetleriyle
Dengeleme/Triangulation/Photogrammetric Triangulation)

176



177

FN – Işın Desteleri ile Dengeleme Yöntemi

- İş Akışı
 - İç Yönelme
 - Görüntülerde nokta ölçümü
 - YKN arazi KS koordinatları vb diğer bilgilerin girişi
 - Dengeleme ve sonuçta dış yönelme elemanları, FN noktalarının Arazi KS koordinatları hesaplanır
- Veriler
 - Kamera Kalibrasyon bilgileri, İç yönelme
 - YKN Görüntü ve Arazi KS Koordinatları
 - FN Görüntü KS Koordinatları
- İstenen
 - FN Arazi KS koordinatları, Dış yönelme elemanları
 - Doğruluk vb analizler
- Algoritma
 - Kolinearite eşitlikleri
- İç Yönelme, nokta ölçümleri vb işlemler otomatik olarak da yapılabilmektedir
- Tüm veriler dengelendiği için sonuçlar çok güçlü olmaktadır

178

- Teorik 18, pratikte en az 25 nokta-otomatik ölçüm 70 nokta



● Karşılıklı Yöneltilme-Van Gruber

● FN-Model ve Kolon Bağlama

YKN

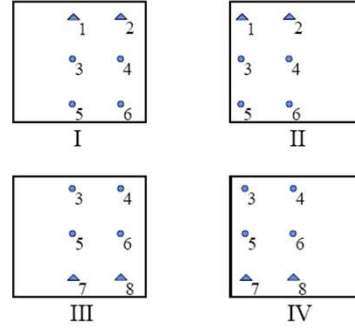
179

- Kinematik GPS kullanılıyorsa
 - blok köşelerinde, çapraz kolonların başında ve sonunda YKN yeterli
 - 15 cm civarında doğrulukla projeksiyon merkezlerinin koordinatları hesaplanarak sisteme girilebilir
- Kinematik GPS yönteminin uygulanmaması durumunda, ek olarak:
 - blok çevresinde 2B
 - blok içinde de 4B yeni kontrol noktaları oluşturulur
- Kurumların istediği ek koşullara uyulur, örneğin
 - TUTGA noktaları ile 15 km mesafede C1 noktaları
 - 1.5 km de bir C2, C3 noktaları vb
- Blok sonlarında dik uçuşlar
- Çapraz uçuşlar
- Çapraz ve dik kolonlar, her modelde en az dört nokta olmak üzere, bağlantı noktaları ile ilgili kolonlara bağlanır

180

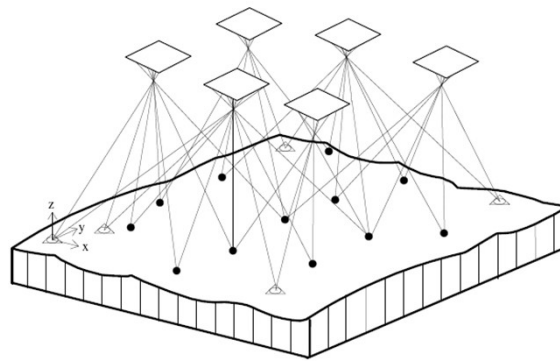
Dört fotoğraf, iki kolon

- Ölçü sayısı: 48
 - Kolinearite eşitlikleri--- 4 (fotoğraf) $\times$ 6 (FN) $\times$ 2 (GKS x,y) = 48
- Bilinmeyen sayısı: 36
 - 4 projeksiyon merkezi $\times$ 3 (AKS- X_0, Y_0, Z_0) = 12
 - 4 fotoğraf $\times$ 3 (dönüklük) = 12
 - 4 (FN) $\times$ 3 (AKS X,Y,Z) = 12
- Serbestlik derecesi 48-36= 12
- Kabüller
 - İç yönelme bilinir ve hatasızdır (klasik yöntem)
 - YKN Arazi KS koordinatları bilinir ve hatasızdır



▲ 4 adet YKN
● 4 adet FN

181



182

- Kolinearite eşitliği
- Aynı YKN için pek çok ışın, pek çok görüntü/projeksiyon merkezi için mevcut
- Aynı FN için pek çok ışın, pek çok görüntü/projeksiyon merkezi için mevcut
- Dengelenmesi gerekir, FN noktalarının da Arazi KS koordinatları bu arada hesaplanır

183

Merkezel İzdüşüm Denklemleri Doğrusallık/Doğrudaşlık/Kolinearite Eşitliği

- Arazi KS koordinatlarından fotoğraf KS koordinatları: Asal Nokta- fotoğraf orta noktası farkı dikkate alınmış durum

$$x - x_0 = -c \frac{a_{11} (X - X_0) + a_{21} (Y - Y_0) + a_{31} (Z - Z_0)}{a_{13} (X - X_0) + a_{23} (Y - Y_0) + a_{33} (Z - Z_0)}$$

$$y - y_0 = -c \frac{a_{12} (X - X_0) + a_{22} (Y - Y_0) + a_{32} (Z - Z_0)}{a_{13} (X - X_0) + a_{23} (Y - Y_0) + a_{33} (Z - Z_0)}$$

x, y : P noktasının görüntü KS koordinatları
 x_0, y_0 : Asal noktanın görüntü KS koordinatları x_p, y_p
 X, Y, Z : P noktası arazi KS koordinatları
 X_0, Y_0, Z_0 : İzdüşüm (Projeksiyon merkezi arazi KS koordinatları)
 c : asal uzaklık
 a katsayıları: Görüntü KS ile arazi KS arasındaki dönüklük matrisinin elemanları- r

184

Kolinearite Eşitliklerinin EKK ile Çözülmesi ve Bilinmeyenlerin Hesabı

- Denklemler doğrusal değildir
- Taylor serisine açılır, yaklaşık değerler uygunsa birinci derece olan terimler kullanılır
- Klasik FN dengelemesi için bilinmeyenler
 - Her görüntü için
 - Dönüklük açıları: κ, ϕ, ω
 - Projeksiyon merkezinin Arazi KS koordinatları: X_0, Y_0, Z_0
 - FN noktaları için
 - Arazi KS Koordinatları: X, Y, Z

185

Kolinearite Denklemlerinin Çözümü- Dolaylı Ölçüler Dengelemesi

- Ölçü sayısı kadar düzeltme denklemleri
 - Ölçü+Düzeltilmesi = Bilinmeyenlerin bir fonksiyonu

$$L_i + V_i = f_i(x, y, z, \dots)$$
- İlk düzeltme denklemleri Taylor Serisi Açılımı yardımıyla doğrusallaştırılır. Bu amaçla bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri gerekir
 - (1) denklemlerinde bilinmeyenlerin yerine
 - Her görüntü için
 - $X_0 = X_{00} + \delta X_0$
 - $Y_0 = Y_{00} + \delta Y_0$
 - $Z_0 = Z_{00} + \delta Z_0$
 - $\omega = \omega_0 + \delta \omega$
 - $\phi = \phi_0 + \delta \phi$
 - $\kappa = \kappa_0 + \delta \kappa$
 - Her FN noktası için
 - $X = X_0 + \delta X$
 - $Y = Y_0 + \delta Y$
 - $Z = Z_0 + \delta Z$
 - yazılır ve Taylor Serisi Açılımı uygulanır

186

Kolinearite Eşitliği ve Taylor Serisi

$$x = -c \frac{r_{11} (X - X_0) + r_{21} (Y - Y_0) + r_{31} (Z - Z_0)}{r_{13} (X - X_0) + r_{23} (Y - Y_0) + r_{33} (Z - Z_0)} + x_p$$

$$y = -c \frac{r_{12} (X - X_0) + r_{22} (Y - Y_0) + r_{32} (Z - Z_0)}{r_{13} (X - X_0) + r_{23} (Y - Y_0) + r_{33} (Z - Z_0)} - y_p$$

$$L_i(YKN) + V_i(YKN) = f_i(\dots) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial X_0}\right)_0 \delta_{X_0} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial Y_0}\right)_0 \delta_{Y_0} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial Z_0}\right)_0 \delta_{Z_0} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \varphi}\right)_0 \delta_{\varphi} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \omega}\right)_0 \delta_{\omega} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial K}\right)_0 \delta_K + \left(\frac{\partial f_i}{\partial c}\right)_0 \delta_c + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)_0 \delta_{x_p} \text{ yada } \left(\frac{\partial f_i}{\partial y_p}\right)_0 \delta_{y_p}$$

$$L_i(FN) + V_i(FN) = f_i(\dots) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial X_0}\right)_0 \delta_{X_0} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial Y_0}\right)_0 \delta_{Y_0} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial Z_0}\right)_0 \delta_{Z_0} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \varphi}\right)_0 \delta_{\varphi} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \omega}\right)_0 \delta_{\omega} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial K}\right)_0 \delta_K + \left(\frac{\partial f_i}{\partial c}\right)_0 \delta_c + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)_0 \delta_{x_p} \text{ yada } \left(\frac{\partial f_i}{\partial y_p}\right)_0 \delta_{y_p} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial X}\right)_0 \delta_X + \left(\frac{\partial f_i}{\partial Y}\right)_0 \delta_Y + \left(\frac{\partial f_i}{\partial Z}\right)_0 \delta_Z$$

x ve y için "Li+Vi" düzeltme denklemleri yazılır. İç yöneltme elemanları da sisteme dahil edilmiştir.

TS

Doğruluğu neler etkiler

- Fotoğraf ölçeği
- Yöntem
- YKN sayısı, sıklığı ve dağılımı
- FN ve YKN niteliği
- Kamera ve fotoğrafın geometrik kalitesi
- Bindirme oranı
- B/h oranı
- Ölçü kalitesi

Doğruluk

YKN veya iyi tanımlanmış noktalar

- Konum

$$\sigma_{XY} = m_r \times 5-10 \mu$$

- Yükseklik

$$\sigma_z = h \times 0.00003$$

genel yaklaşım konum doğruluğunun 1.5 katı civarı

- Örneğin $M_r=1/4000$, $h=1200$ m ise

$$\sigma_{XY} = 4000 \times 5 = 2 \text{ cm} \quad \sigma_{XY} = 4000 \times 10 = 4 \text{ cm}$$

$$\sigma_z = h \times 0.0003 = 1200 \times 0.00003 = 3.6 \text{ cm}$$

189

FN Dağılımı Örnekleri

Aerotriangulation – Matching point – Automatic correlation

- 48 images
- Nber of axes : 4
- Scale image :
1/16.667
- Matching/image :
17 sec.
- Sigma0 : 1.4 μm



190

[1]

YKN Nokta Dağılımı Örnekleri

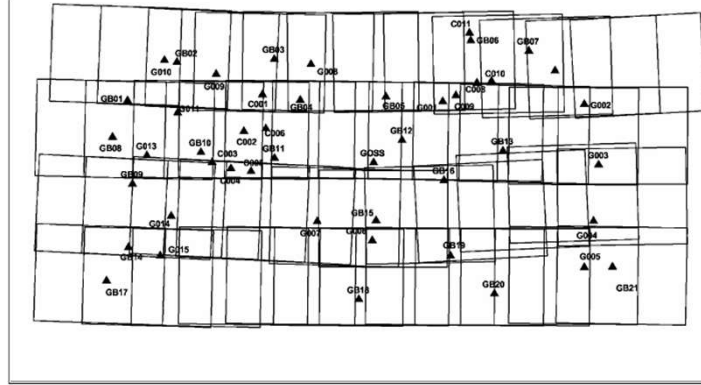


Image Scale	No. of check	hg (m)	expected accuracy of control point (m)			computed accuracy of control points		
			σ_X	σ_Y	σ_Z	σ_X	σ_Y	σ_Z
1/16667	37	1333	0.133	0.107	0.062	0.055		

191

[1]

Kolinearite Denklemlerinin Çözümü- Dolaylı Ölçüler Dengelemesi

İŞİN DESTELERİ İLE FN DENGEME MODELİ
EK PARAMETRELER+KİNEMATİK GPS

192

Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi

- YKN sayısı çok aza indirilerek nokta sayısında yaklaşık % 90-95'lik bir tasarruf sağlanır
- GPS verileri FN dengelemesinde ek parametreler olarak kullanılır ve kullanıldığında geometrik olarak daha stabil bir blok oluşur
- Uçuş sırasında fotoğraf çekim noktalarının Arazi KS koordinatları (X_o, Y_o, Z_o) 15 cm civarında doğrulukla belirlenir ve FN dengelemesine katılır
 - Datumdan dolayı ölçülmüş bilinmeyen olarak dahil edilmesi daha uygun görülüyor
- Az sayıda YKN kalibrasyon, GPS hatalarını tespit edip düzeltmek ve jeoit problemleri için kullanılır

193

- Projeksiyon merkezi Arazi KS koordinatları, kinematik GPS yöntemiyle çözülmektedir
- Kinematik GPS (örneğin GrafNav yazılımı)
 - yerde kurulan sabit bir GPS ile uçakta bulunan GPS'in kinematik diferansiyel çözümü ile gerçekleştirilmektedir
 - Aynı anda iki GPS ölçümü, uydu yörünge ve saat hatalarının giderilmesini sağlamaktadır
 - Yerde ölçü yapılan GPS ile uyduların yayınladığı efemeris dosyası otomatik olarak indirilmektedir
 - Diferansiyel yaklaşım ile, sabit GPS ve uçakta bulunan GPS verileri ile efemeris dosyası kullanılarak baz çözümü yapılmaktadır
- Hassas Nokta Konumlandırması (Precise Point Positioning) Kinematik GPS yöntemine alternatiftir
 - yayınlanan hassas efemeris verisi kullanılarak resim orta noktalarına ait koordinatlar çözülmektedir
 - hassas efemeris dosyasında düzeltilmiş uydu koordinatları ve uydu saat hataları yayınlanmaktadır
 - Böylece teorik olarak oldukça hassas sonuçlar elde edilebilmektedir
 - PPP çözümünün avantajı, uçuş sırasında yerde GPS ölçüsüne ihtiyaç olmamasıdır

¹⁹⁴
(Kiraci, 2009)

Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi

$$\begin{bmatrix} X_{GPS}^t \\ Y_{GPS}^t \\ Z_{GPS}^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_O^t \\ Y_O^t \\ Z_O^t \end{bmatrix} + R(\omega_t, \phi_t, \kappa_t) \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{x_{GPS}} \\ e_{y_{GPS}} \\ e_{z_{GPS}} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} e_{x_{GPS}} \\ e_{y_{GPS}} \\ e_{z_{GPS}} \end{bmatrix} \sim (\underline{0}, \Sigma_{GPS})$$

195

Ataletli ölçü sistemi? Inertial Measurement Unit-IMU

- IMU: Jiroskop ve ivme ölçme sistemlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş bir sistemdir
- IMU; INS (Inertial Navigation System) sisteminin ana parçasıdır
- IMU ile
 - konum; ölçülen ivme bilgileri
 - dönüklük açıları ölçülen açısal hızlar ile hesaplanır
- Atalet verisi kuvvetli sürüklenmeler nedeni ile yalnızca kısa süreli boyutlarda yeterli doğruluğa sahip olur
- Bu nedenle mutlak doğruluğa sahip bir GPS ile kombinasyonu gereklidir
- Dönüklük açılarının görüntü düzlemine dönüştürülmesi gerekmektedir

196

Dış Yöneltilme için GPS ve IMU kullanımı

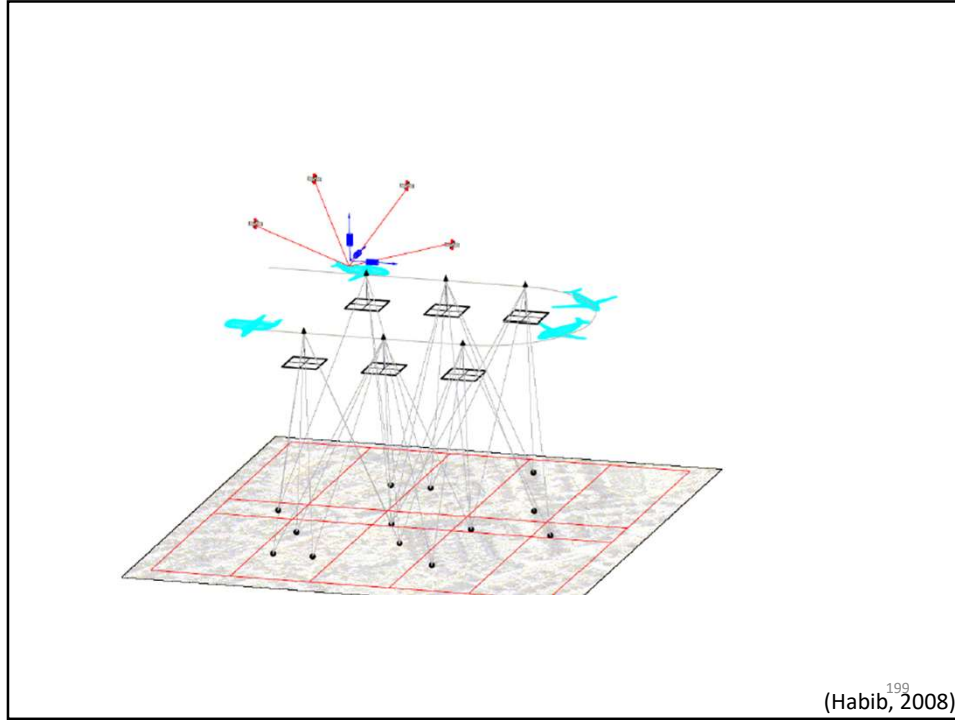
- Dış yöneltilme parametreleri için GPS ve IMU verilerinin kullanılması fotogrametride iki ayrı yapıda ele alınır
 - Doğruluğu arttırmak için FN dengelemesine katılım, tüm ölçülerin birarada dengelenmesi
Bütünleşik sensör yöneltilmesi - Integrated sensor orientation (ISO)
 - Fotoğrafların dış yöneltilme parametreleri için doğrudan kullanım –YKN ihtiyaç kalmamakta (ortofoto üretimi vb için)
Doğrudan sensör yöneltilmesi- Direct Sensor Orientation (DSO) –Direct Georeferencing
 - FN dengelemesinin “Indirect Georeferencing” olarak kullanılabildiğini de belirtmek de yarar vardır

(Heipke¹⁹⁷ vd, 2002)

GPS ve IMU ölçüleri

- Kamera/laser
- Kinematik GPS+IMU (örneğin AeroOffice yazılımı)
- X_0 , Y_0 , Z_0 yaklaşık 15 cm doğrulukla Kinematik GPS ölçülerinden
- ω , ϕ , κ bir dakikalık zaman aralığında 5'' (grad saniyesi) doğrulukla, konum da 0.5-3 m doğrulukla IMU sisteminden belirlenebilmektedir

198



Doğrudan sensör yöneltmesi -DSO

- Araştırmalarda DSO ile 1/5000 ölçekli görüntüler ile denemede konumda 5-10 cm, yükseklikte 10-15 cm doğrulukla, fotoğrafta 15-20 μ ile nokta koordinatlarına ulaşılmıştır
- Sonuçlar klasik fotogrametrik yaklaşımların yaklaşık 3 katı kadar kötüdür
- Bu durum, yöntem daha da geliştirilirse FN dengelemesine alternatif olabileceğini düşündürmektedir
- Bu sonuçlar çok yüksek doğruluk istenmeyen ortofoto üretimi için yöntemin kullanılabileceğini göstermektedir
- Stereo sayısallaştırmada büyük değerdeki y paralakslarından dolayı istenen sonuçlara henüz ulaşamamıştır
 - 10 μ gerekirken 10-20 μ arası çıkmaktadır

(Heipke,²⁰⁰ 2004)

Doğrudan sensör yöneltmesi -DSO

- Doğrudan sensör yöneltmesi yani dış yöneltme elemanlarının hesaplanıp kullanılması işleminin üç adımı vardır
 - Sensör kalibrasyonu
 - GPS/IMU verilerinin ön işlenmesi
 - Dış yöneltme elemanlarının belirlenmesi

201

Bütünleşik sensör yöneltmesi (ISO)

- GPS ve IMU ile ölçülen ve hesaplanan dış yöneltme elemanları için desteleri ile FN dengelemesine ek parametreler olarak katılmaktadır
- Ölçülmüş bilinmeyen olarak dahil edilmesi daha uygun görülmektedir

202

On the use of direct georeferencing in airborne photogrammetry
Michael Cramer

Jonas Nelson



Comparison: Block / GPS+INS

Approach	GCP	Check	σ_0 (μm)	RMS object coords (cm)		
				East	North	Vertical
Block Δ	9	122	4.79	5.6	6.2	20.3
Block Δ + extra param.	9	122	4.24	4.5	6.3	12.1
Direct georef.	0	131	10.80	8.8	11.9	17.8
Direct + Block Δ + extra param.	1	130	5.16	8.7	8.7	15.8
	1	130	4.46	5.2	9.2	13.3

FN Dengelemesi
FN+Ek parametreler
Doğrudan Yöneltilme
Doğrudan Yöneltilme + FN
Doğrudan Yöneltilme + FN +Ek parametreler

Indirect (block) VS direct georeferencing (Applanix POS/AV 510DG)
Image scale 1:13000 (about 2000 m flying height)

203

Yazılımlar

- INPHO: MATCH-AT
- Z/I Imaging: ISAT
- University of Hannover- Dr. Jacobsen BLUH
- Leica-ORIMA
- BAE Systems: BINGO

5. Bölüm

Fotogrametrik Harita Üretimi

205

- Proje
 - bir amacı gerçekleştirmeğe yönelik, başlangıcı ve bitimi tanımlanabilen görevler topluluğudur
- Örnek projeler
 - Bir kentin 1/1000 ölçekli haritalarının yapımı (vektör harita)
 - Bir kentin 1/5000 ölçekli ortofotolarının yapımı (raster harita)
- Proje planlaması
 - Teknik özelliklerin (spesifikasyonlar) belirlenmesi
 - Yönetmelikler, teknik şartnameler
 - Yöntem planlaması

206

- Sınırları ve sonuç ürünleri saptanmış bir fotogrametrik projenin planlanması
 - Uçuş planının hazırlanması
 - YKN ve blok tasarımı içerir
- Büyük ölçekli harita yapımında blok tasarımı genelde 1/25 000 ölçekli altlıklar kullanılır
- Proje sınırı, istenen ölçekteki harita sınırı ile karşılaştırılır ve alan düzgün geometrik şekilli bloklara ayrılır
- Uçuş yönü, uçuş çizgileri ve fotoğraf çekme noktaları belirlenir
- Bu bilgiler uçaktaki sistemlere yüklenir ve eş zamanlı olarak fotoğraflar çekilmeye çalışılır

207

Harita Üretimi

- Fotogrametrik Nirengi sonrası belirlenen yöneltme elemanları kullanılarak stereo modeller oluşturulur
- Bir kaç model ile çalışılacaksa yöneltmeler YKN veya FN noktaları da kullanılarak yapılır
- Epipolar (normalleştirilmiş) görüntüler oluşturulur
- Kullanılan donanım ve yazılımın olanakları ile ekranda 3B görüş sağlanır
- Sayısallaştırılacak detaylar için hazırlanmış olan geometri türü (nokta, çizgi, poligon veya yazı) semboloji, renk, tabaka no vb verileri içeren arayüz ile sayısallaştırma yapılır
- Sayısallaştırma ; ekrandaki model 3B görülerek ve fotogrametri yazılımın sağladığı CAD/CBS ortamı kullanılarak yapılır
- Bir model bitince komşu model ile çizime devam edilir
- Sonuç pafta bazında veya yekpare CAD/CBS dosyalarıdır

208

Örnek Sayısallaştırma Bilgileri

Level	Color	ST	LW	NO1	N02	Açıklama
1	26	3	0	12630	126	ARA ESYUKSEKLİK EGRİSİ
1	30	0	0	13000	130	DTM NOKTASI
1	37	0	3	13703	137	GÖLESYUKSEKLİK EGRİSİ
2	26	0	0	22600	226	ESYUKSEKLİK EGRİSİ
3	26	0	1	32601	326	ANA ESYUKSEKLİK EGRİSİ
4	3	0	1	4301	43	YER KOTU
5	6	0	0	5600	56	MAGARA
5	6	1	0	5610	56	TRAVERTEN SINIRI
5	7	0	0	5700	57	PERİBACASI PERİ
5	9	0	0	5900	59	TASLIK
5	9	0	1	5901	59	KUMLUK
5	9	1	0	5910	59	HEYELAN SINIRI
5	9	1	1	5911	59	KUMLUK SINIRI
5	14	0	0	51400	514	SUDA KAYA
5	16	0	0	51600	516	BLOK KAYA
5	16	1	0	51610	516	BLOK KAYA SINIRI
11	5	0	0	11500	115	BATAKLİK
11	5	1	0	11510	115	BATAKLİK SINIRI
11	17	2	0	111720	1117	KURU DERE
11	18	0	0	111800	1118	DERE
12	2	0	1	12201	122	KANAL
12	17	2	1	121721	1217	SU DEPOSU
12	18	0	0	121800	1218	KUYU
13	18	0	0	131800	1318	CESME
14	1	0	0	14100	141	DENİZ GÖL KİYİSİ
14	1	0	3	14103	141	BENT
14	1	0	4	14104	141	İSKELE
14	1	1	0	14110	141	GECİCİ GÖL KİYİSİ

209

- Sayısallaştırma “p-mouse” - fotogrametrik sayısallaştırmaya özel bir “mouse” ile yapılır
- Ekrandaki detaylar 3B olarak gözlemlenir ve sayısallaştırılmak istenen detaya X ve Y hareketleri ile yaklaşılır
- Detayın sayısallaştırılmak istenen noktasında “p-mouse” ile “Z” ayarı yapılır
- Arayüzden seçilen komut ile detayın istenen noktalarının 3B koordinatı (X, Y, Z Arazi KS), semboloji, tabaka no, geometri türü vb bilgiler sisteme aktarılır
- Sayısallaştırma sırasında yükseklik değişirse yatay paralaks oluşur, bu noktada “p-mouse” “Z” tuşu ile tekrar ayarlama yapılır ve çizime devam edilir

210

- Topoğrafya: eş yükselti eğrileri, karakteristik çizgiler
- 2B ve 3B diğer vektör veriler: yollar, binalar, nehirler, yer üstü teknik alt yapı tesisleri, tarlalar, yükseklik noktaları vb

211

- Koordinat değerlerinin kaydedilmesi genelde genelde noktasaldır (her kırık noktada koordinatlar kaydedilir)
- İstenirse belirli bir zaman aralığında sistemin otomatik koordinat okuması ve kaydetmesi sağlanarak sürekli çizim de yapılabilir
- Eş yükselti eğrilerinin sayısallaştırılması, stereo model de böyle bir detay olmadığı için oldukça zordur, tecrübe ister. Operatör ilgili yükseklik değerindeki yerleri hissederek sayısallaştırır
- Yükseklik verisi sistem ile üretilecek SYM'den de elde edilebilir

212

3B Sayısallaştırma-Vektör

- Nokta koordinatı ölçme doğruluğu 1/3 piksel civarındadır
- Bazı ön koşullarla aşağıdaki formüller kullanılabilir
- İşaretlenmiş veya çok iyi seçilmiş noktalar (h: uçuş yüksekliği veya alım uzaklığı)

$$\sigma_{xy} = \pm 6 \mu * mr$$

$$\sigma_z = \pm 0.00006 * h$$

213
(Altan vd, 2007)

İşaretli Nokta

- Örneğin $Mr=1/4000$, $h=1200$ m ise
 $\sigma_{xy} = mr \times 6 = 4000 \times 6 = \pm 2.4$ cm
 $\sigma_z = h \times 0.00006 = 1200 \times 0.00006 = \pm 7.2$ cm
- Örneğin $c = 210$ mm, $h=1600$ m ise, nokta nokta sayısallaştırılan yol, çit, yükseklik noktası vb detayların doğruğu?
- $Mr = c/h = 1/7600$
 $\sigma_{xy} = 7600 \times 6 = \pm 4.6$ cm
 $\sigma_z = 1600 \times 0.00006 = \pm 9.6$ cm

214

Doğal Nokta

- Bina, yol, tarla sınırı vb sayısallaştırılmış detaylar için çeşitli projelerde belirlenmiş tanımlama belirsizliği değeri de doğruluğu etkiler
- (iş): işaretli nokta
- (doğ): doğal nokta
- (tan): tanımlama belirsizliği

$$\sigma_{XY}(\text{doğ}) = \sqrt{\sigma_{XY}^2(\text{iş}) + \sigma_{XY}^2(\text{tan})}$$

$$\sigma_Z(\text{doğ}) = \sqrt{\sigma_Z^2(\text{iş}) + \sigma_Z^2(\text{tan})}$$

15

(Altan vd, 2007)

Tanımlama belirsizliği

Nokta Türü	Konum $\sigma_{XY(\text{tan})}$ [cm]	Yükseklik $\sigma_{Z(\text{tan})}$ [cm]
Bina, çit	7-12	8-15
Kanal kapağı	4-6	1-3
Tarla köşeleri	20-100	10-20
Çalılık, ağaç	20-100	20-100

216

(Altan vd, 2007)

- Örnek: 21 cm asal uzaklıklı orta açılı bir kamera ile 1600 m'den fotoğraflar çekilmiştir. Nokta nokta sayısallaştırılan yol, çit ve yükseklik noktalarının doğrulukları ne kadardır?

$$Mr=0.21/1600=1/7600$$

$$\sigma_{xy} = 7600 * 0.0006 = \pm 4.6 \text{ cm}$$

$$\sigma_z = 1600 * 0.00006 = \pm 9.6 \text{ cm}$$

217

- Aşağıdaki değerler tanımlama belirsizliği için kullanılırsa

Nokta Türü	Konum $\sigma_{xy(tan)}$ [cm]	Yükseklik $\sigma_z(tan)$ [cm]
Çit	8	8
Yol	1	1
Yükseklik noktası	2	2

218

$$\sigma_{XY(dog)} = \sqrt{4.6^2 + 1^2} = \mp 4.7 \text{ cm}$$

Yol

$$\sigma_{Z(dog)} = \sqrt{9.6^2 + 1^2} = \mp 9.7 \text{ cm}$$

$$\sigma_{XY(dog)} = \sqrt{4.6^2 + 8^2} = \mp 9.2 \text{ cm}$$

Çit

$$\sigma_{Z(dog)} = \sqrt{9.6^2 + 8^2} = \mp 12.5 \text{ cm}$$

$$\sigma_{XY(dog)} = \sqrt{4.6^2 + 2^2} = \mp 5 \text{ cm}$$

Yükseklik noktası

$$\sigma_{Z(dog)} = \sqrt{9.6^2 + 2^2} = \mp 9.8 \text{ cm}$$

219

- Örnek: Yol kırık noktaları için bir projede doğruluğun $\sigma_{XY} = \pm 2 \text{ cm}$, $\sigma_Z = \pm 2.5 \text{ cm}$ olması istenmektedir. Bu doğruluğa ne şekilde ulaşılabilir? (Tanım belirsizliği $\pm 1 \text{ cm}$)
 - Kamera asal uzaklığı değiştirilebilir
 - Uçuş yüksekliği değiştirilebilir
 - FN dengelemesine ek parametreler katılabilir

220

- Tekrar örneğe dönülürse: Yol kırık noktaları için bir projede doğruluğun $\sigma_{xy} = \pm 2 \text{ cm}$, $\sigma_z = \pm 2.5 \text{ cm}$ olması istenmektedir. Bu doğruluğa ne şekilde ulaşılabilir?(Tanım belirsizliği $\pm 1 \text{ cm}$)
 - İşaretli nokta için $\sigma_{xy} = \pm 1.6 \text{ cm}$, $\sigma_z = \pm 2.4 \text{ cm}$ alınırsa
 - $h = 400 \text{ m}$, $M_r = 1/2500$, $c = 17 \text{ cm}$ civarı çıkar
- Yol için $\sigma_{xy} = \pm 1.9 \text{ cm}$, $\sigma_z = \pm 2.6 \text{ cm}$ olur

221

Harita çizim doğruluğu

- Bir haritadan alınacak ölçünün $\pm 0.2 \text{ mm}$ düzeyinde olması gerekir
- Örneğin 1/1000 ölçekli bir harita için bu değer

Çizim doğruluğu $[m] = 0.0002 * 1000 = 0.2 \text{ m}$

$= \pm 20 \text{ cm}$ dir

$\pm 20 \text{ cm}$ değeri arazide aynı ölçü yapıldığında oluşabilecek maksimum farkdır

222

6. Bölüm

GÖRÜNTÜ EŞLEŞTİRME

Bülent Bayram & Çiğdem Çavdaroglu

223

- Görüntü eşleştirme yöntemleri stereo görüntülerde eşlenik noktaların bulunmasını amaçlar. Bir eleme operasyonu tanımlanarak iki ya da daha fazla görüntü setinde uygulanır
- İç Yöneltilme için resim çerçeve işaretlerinin otomatik olarak ölçümünde
- Karşılıklı yöneltilme ve fotogrametrik nirengi amacıyla görüntü bağlama noktalarının belirlenmesinde,
- Mutlak yöneltilmede küçük görüntü alanları yer kontrol noktası tanımları veya işaretler yardımıyla karşılaştırılır.
- SYM oluşturmada: Eşlenik noktalar bulunur.

224

Bazı hipotezler:

- Görüntülerdeki aynı banta ait gri değerler benzer ya da aynıdır.
- Görüntülerin elde edilişleri sırasında ışık ve atmosferik etkiler sabittir
- Obje yüzeyi genellikle "smoot" , engebeli değildir
- Ek bilgiler mevcuttur (enine boyuna bindirme oranları, uş yüksekliği, vb.)

Fotogrametrinin ana problemi eşlenik noktaların otomatik olarak elde edilmesidir. Bu işlem operatörler tarafından yapıldığında uzun zaman almaktadır.

En eski ve basit yöntem gri değerler arasındaki korelasyonun bulunmasıdır.

225

- Görüntü eşleme işleminde temel işlem, "eşleşme birimi" seçimidir. Eşleşme birimi, her bir görüntüde farklı birimlerle karşılaştırılacak olan detaylar grubudur.
- Bir diğer temel işlem ise, benzerlik ölçümüdür. Benzerlik ölçümü ile, eşleştirilen birimlerin eşleşme durumları ölçülür.

226

- Bir görüntünün tamamı için piksel piksel bir eşleştirme işlemi uygulamak çok zaman alıcı bir işlemdir, hem de beraberinde bazı sorunlar getirecektir.
 - Görüntü içerisinde tekrarlı olarak görülen piksel gri değerleri anlam karmaşasına yol açar
 - Görüntünün sahip olduğu gürültünün benzerlik gösterdiği pikseller anlam karmaşasına yol açar.
- Bu nedenlerle eşleştirme işlemi belirli “birimler” bazında yapılmaktadır.

227

Görüntü Eşlemede Yöntemler

- Alan-Tabanlı Yöntemler
 - Korelasyon
 - En küçük kareler
 - Görüntü mesafesi
 - Ortak bilgi
- Detay-Tabanlı Yöntemler
 - İlinti operatörleri
 - Kenarlar ve bölgeler (regions)
- İlişkisel Yöntemler

228

7. Bölüm

SYM, Fotoplan, Ortofoto Yersel Fotogrametri

229

Sayısal Yükseklik Modelleri - SYM

- SYM'leri harita, jeoloji, mimarlık, inşaat, tıp vb bir çok alanda kullanılmaktadır. 1950'li yıllarda başlayan çalışmalardan günümüze dek pek çok isimle, tanımla anılmıştır
- SYM'leri dijital anlamda nokta ve çizgi elemanları ile arazi yüzeyinin geometrik gösterimini sağlarlar. Yumuşak veya sert kırıklı çizgilerle ve noktalarla tanımlanabilen morfolojik detaylarla tamamlanan, düzenli veya düzensiz dağılımdaki noktalarla arazi yüzeyinin temsil edilmesidir. Noktalar ve çizgiler, aralarındaki lokal enterpolasyonlarla birlikte arazi yüzeyini temsil ederler. (Koçak, 1988)
- Yer yüzeyinin; X, Y, Z koordinatları bilinen çok sayıda özel nokta ile istatikselsel olarak ve sürekli bir formda, bilgisayarda temsilidir. Sürekli bir yüzeyin, sonlu sayıda eleman ile dijital olarak temsilini sağlar. Bilgisayar ortamında yer yüzeyinin temsilidir. (Habib, 2008).

230

Tanımlamalara benzer şekilde bu konuda çeşitli terimlerde mevcuttur (Habib, 2008):

- DEM (Digital Elevation Model): Düzenli bir şekilde yükseklik değerlerini içeren bir dizi (kareler veya altıgen şeklinde düzenli). Bu terim ABD’de yaygın olarak kullanılmaktadır.
- DHM (Digital Height Model): DEM terimine benzer olarak, nadiren kullanılır, Almanya çıkışlıdır.
- DGM (Digital Ground Model): Genellikle Birleşik Krallık’da kullanılan ve yer yüzeyinin Dünyanın sürekli/katı dijital modelini algılatan bir terimdir.
- DTM (Digital Terrain Model): Yükseklikleri ve diğer CBS verilerini (nehir, sırt, karakteristik çizgiler) kapsayan bir kavramdır.
- DTED (Digital Terrain Elevation Data): ABD’de kurumlarda kullanılan DEM benzeri bir terimdir.
- DSM (Digital Surface Model): Daha önceki terimler daha çok arazi yüzeyi ile ilgilidir. DSM ise yüzeyin üzerindeki binalar vb detayların yüksekliklerini de içerir. Özellikle ortofoto üretimi için çok önemli bir üründür-SYÜM

231

- SYM’nin başlangıç verileri topoğrafyayı yansıtan noktaların XYZ koordinatlarıdır
- Temel olarak arazideki su toplama ve su ayırımı çizgilerini belirleyen noktalar ve eğimin değiştiği yerlerdeki noktalar SYM üretiminde kullanılır
- Yeryüzünün topoğrafik yapısını tam olarak bilgisayara aktarabilmek için böyle milyonlarca nokta gerekir
- Bu kadar çok noktanın koordinatlarının ölçülerek tespit edilmesi hem zahmetli hem de zaman alıcı bir iştir
- Genel bir yaklaşım olarak mümkün olduğunca az, ancak gerçekleri de yansıtan noktaların arasında enterpolasyon yapılarak yeni noktaların yükseklikleri türetilir
- Enterpolasyon sonucu SYM kareler halinde hücreler yada üçgenler halinde elde edilir

232

- SYM'ni oluşturmak için gereken noktalar çeşitli ölçüm yöntemleri ile toplanabilir
- Mevcutsa eşyükselti eğrileri ve yükseklik noktalarının kullanımı en ekonomik ve hızlı veri toplama yöntemidir
- Arazide total station vb aletlerle ölçüm yapmak, fotogrametrik ölçüm yöntemlerini kullanmak SYM için veri toplamada yararlanılan diğer yöntemlerdir.
- Mevcut eşyükselti eğrilerinin de kaynağı bu iki ölçme yönteminden toplanan verilerdir
- Her yöntemin sonucu ;noktalar ve noktalardan oluşturulan yüzeydir. Bir projede kullanılacak yöntem seçimini; istenen doğruluk, maliyet ve hız faktörleri etkiler

233

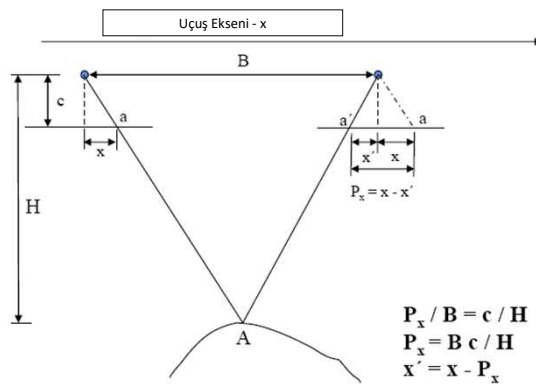
- Fotogrametrik yöntemlerle SYM oluşturmada veri kaynağı; fotoğraflar, uydu görüntüleri yada lazer verileridir.
- SYM için klasik yöntemde stereo görüntülerden operatör tarafından sayısallaştırılan eş yükselti eğrileri kullanılmakta, otomatik yöntemde ise noktalar eşleştirme teknikleri ile üretilmektedir.
- SYM, genelde sayısal fotogrametrik harita yapımı projelerinde bir yan üründür, ortofoto yapımı içinse temel kaynaklardan biridir
- Otomatik olarak nokta ölçümü yapıldıysa görüntü piramitlerinden yararlanılmakta ve görüntü eşleştirme teknikleri kullanılmaktadır

234

- Stereo modellerden SYM için arazi yüzeyi noktalarının üretimi iki ayrı yaklaşımla gerçekleştirilebilmektedir.
 - Klasik yaklaşım : eşyüksekti eğrilerinin stereo modellerden operatör destekli sayısallaştırılmasıdır.
 - Operatör stereo modelde yeryüzünü üç boyutlu (3B) görerek aynı yükseklik değerini taşıyan yüzeylerde, gereken aralıkta eğrileri çizmektedir.
 - Sayısallaştırılan diğer noktalardan da yararlanılarak SYM için işlenecek veriler oluşturulur
 - Otomatik yöntem: görüntü eşleştirme/otomatik korelasyon, epipolar geometri ile eşlenik noktalar belirlenmekte ve FN ile yada x yönündeki paralaksların ölçümü ile yükseklikler tespit edilmektedir
 - Arazinin benzer yüksekliğe sahip bölgelerinin ayrılması ve işlemlerin bölgesel olarak yapılması doğruluğu arttırmaktadır
 - Filtre yöntemleri kullanılarak bina yüzeyi vb detaylar, topoğrafik yüzeyden ayrıştırılabilir

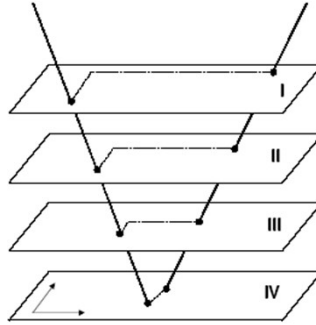
235

x paralaksının (noktaların 2 fotoğraftaki x koordinatlarının ölçümü ve bunların farkı) ölçümü ile yüksekliklerin belirlenmesi



236

x-Paralaksı & Yükseklik ilişkisi



237
(Habib, 2008)

- Veriler toplandıktan sonra hata analizinin yapılması gerekir
- Genel yaklaşım yükseklik kesin değeri bilinen noktaların modelden çıkan değerlerini karşılaştırmaktır
- Bir SYM'nin yeryüzü şekillerini yansıtmayı yansıtmadığı, bir hücrenin etrafındaki piksel değerlerinden yeniden değerlendirilebildiği fokal istatistik ile veya gölge verisi (hillshade) oluşturularak da gözlemlenebilir
- Sonuçlar yeterli ise SYM oluşturmaya devam edilmektedir
- Bir çok dijital fotogrametri ve uzaktan algılama yazılımlarında veri toplama ve işleme arka arkaya yürütülmekte ve SYM otomatik olarak hazırlanmaktadır

238

Yazılımlar

- Veri toplama: tüm fotogrametri yazılımları ve uydu görüntülerini işleme yazılımları
- Enterpolasyon
 - ArcGIS-3D analyst/Spatial Analyst
 - MapInfo-Vertical Mapper
 - Surfer
 - ErMapper
 -

239

ORTOFOTO-FOTOPLAN

240

Merkezzel (Konik) İzdüşümden Dik İzdüşüme Geçiş Fotoğrafik Ürün

- Fotoğraflardan- Harita ortamına izdüşüm
- Tek bir fotoğraf olabileceği gibi mozaik haline de getirilebilir
- Fotoğrafik haritalar iki türdür
 - Fotoplan
 - Ortofoto
- Her ikisi de ölçeklidir, ölçü alınabilir
- Harita tek bir fotoğraftan yada mozaik haline getirilmiş görüntülerden de oluşturulabilir
- Fotoğraf çeşitli dönüşüm yöntemleri ile haritaya dönüştürülebilir ancak bazı geometrik sorunların bilinmesi ve bu sorunları elemine eden koordinat dönüşümü yöntemlerinin seçilmesi gerekir. $xy \rightarrow XY$
 - Fotoğrafın dönüklüklerinin neden olduğu yer değiştirmeler
 - Arazideki yada objedeki yükseklik farklarının neden olduğu yer değiştirmelerdir

241

Diğer Fotoğrafik Ürünler

- Stereo-ortofoto
 - aynı alanı içeren iki ortofoto birleştirilmiştir
- 3B fotorealistik modeller
 - SYM üzerine objelerin/arazinin fotoğrafları giydirilmiştir. Ölçü alınabilen 3B bir modeldir

242

Bazı terimler

- Rektifikasyon (rectification): Görüntü KS, obje KS'ne dönüştürülür, eğiklik giderilir fakat rölyef etkileri giderilmez. Yataylama , rödresman da denir
 - Parametrik: uçuş/yörünge, sensör parametreleri kullanılır
 - Parametrik olmayan: 2B polinomal dönüşümler (Benzerlik, afin, projektif vb) kullanılır
- Ortorektifikasyon (orthorectification): Görüntü KS, obje KS'ne dönüştürülür eğiklik ve rölyef etkileri giderilir (tüm objeler için giderilmesi SYM türüne bağlıdır)
- Georeferencing: Görüntü KS, obje KS'ne dönüştürülür, eğiklik ve rölyef etkileri giderilmez
- Geocoding: genellikle radar görüntüleri için kullanılır, ortorektifikasyon ile aynı anlamdadır

243
(Fraser, 2007)

Fotoplan

- Fotoğraf eğikliklerinin düzeltilmesi sonucu yükseklik farkları olmayan yerler için harita benzeri kullanılabilen fotoğraflık bir üründür
- Yersel fotogrametride de aynı derinlikteki yüzeyler için kullanılabilir
- Düz yüzeyler için geometrik niteliği harita düzeyinde olan ve harita gibi belirli bir ölçeği olan görüntüdür

244

Matematik Modeller

- Kolinearite Eşitlikleri (Merkezsiz İzdüşüm)

veya

- Projektif Dönüşüm

245

Kolinearite Eşitlikleri ve Fotoplan

$$\frac{X-X_0}{Z-Z_0} = \frac{a_{11} x + a_{12} y - a_{13} c}{a_{31} x + a_{32} y - a_{33} c}$$

$$\frac{Y-Y_0}{Z-Z_0} = \frac{a_{21} x + a_{22} y - a_{23} c}{a_{31} x + a_{32} y - a_{33} c}$$

- Kolinearite eşitliklerinde arazi düz olduğundan $Z-Z_0 = -h$ = iç ve dış yöneltme elemanları biliniyorsa (doğrudan yöneltme veya FN) x, y verildiğinde X, Y hesaplanabilir
- yada en azından üç YKN/FN ile bu denklemler yazılarak dengeleme ile X, Y hesaplanabilir-Uzay Geriden Kestirme

246

Projektif Dönüşüm ve Fotoplan

- Kolinearite eşitliklerinden Projektif Dönüşüme geçilebilir
- Denklemlerin çözümü için 4 adet YKN yada FN ihtiyacı vardır

$$X = \frac{a_1 x + a_2 y + a_3}{c_1 x + c_2 y + 1}$$

$$Y = \frac{b_1 x + b_2 y + b_3}{c_1 x + c_2 y + 1}$$

247

Fotoğraf --- Fotoplan

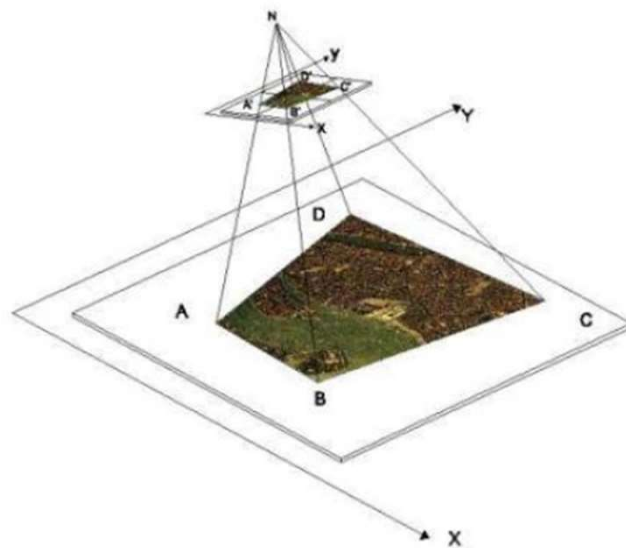


248

Fotoğraf --- Fotoplan Eğrikemer-YTÜ



249



250

Yazılımlar

- Intergraph: I/RAS C ve Image Analyst
- Fotogrametri ve 3B modelleme yazılımları

251

Ortofoto/Ortogörüntü

- Fotoğraf eğiklikleri ve yükseklik farklarından dolayı olan ötelemelerin etkilerinin ortadan kaldırıldığı fotoğraflık bir üründür
- Geometrik niteliği harita düzeyinde olan ve harita gibi belirli bir ölçeği olan görüntüdür
- Yükseklik farkı ve eğik çekimden dolayı oluşan ötelemeler, görüntü piksel piksel işlenerek giderilir
- Geometrik nitelik genelde arazi yüzeyi için söz konusudur
- Bina vb detaylar için gerçek ortofoto (true orthophoto) hazırlamak gerekir

252

Matematik Model

- Ortofoto-Ortorektifikasyon
 - Kolinearite Eşitlikleri (Merkezzel İzdüşüm)
 - Yükseklik değerleri SYM'den elde edilir
 - Gri değerler (resampling): en yakın komşuluk, bilinier veya kübik enterpolasyon

253

Ortofoto için gerekli veriler

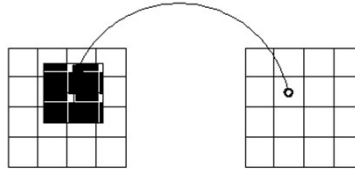
- Görüntü (fotoğraf)
- İç ve dış yöneltme parametreleri veya İç yöneltme parametreleri + 4 YKN/FN
 - Dış yöneltme parametreleri klasik yollarla yada FN Dengelemesi ile yada Doğrudan Yöneltme (GPS/IMU) hesaplanabilir
- SYM
- Pafta için gerekli diğer bilgiler
- Fotoğraf – Ortofoto arasındaki büyütme oranı 3-6 arasında olmalı

254

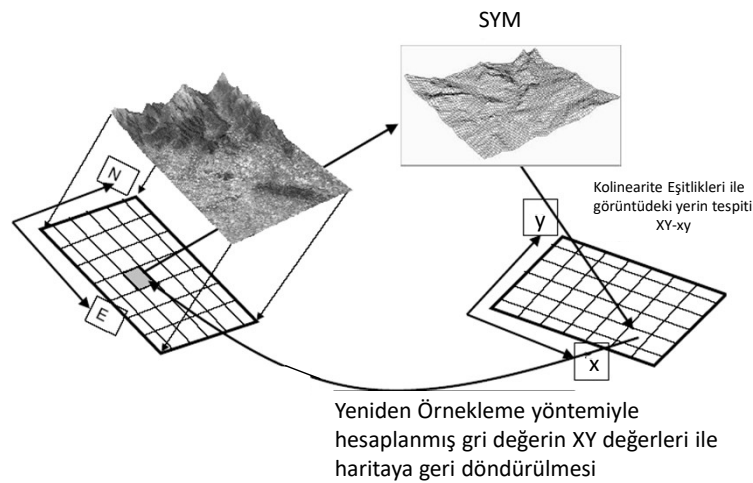
Dolaylı çözüm

- Ortofoto altlığı Arazi KS'nde pikseller halinde tasarlanır
- Altlıktaki her pikselin SYM'den yüksekliği alınır ve Kolinearite Eşitlikleri ile fotoğraf KS koordinatları hesaplanır
- Yeniden örnekleme yöntemlerinden biriyle fotoğrafa taşınan pikselin gri değeri hesaplanır. Değer tekrar altlığa taşınır

Görüntü Ortogörüntü



255



256

[2]

1/5000 Ölçekli Ortofoto



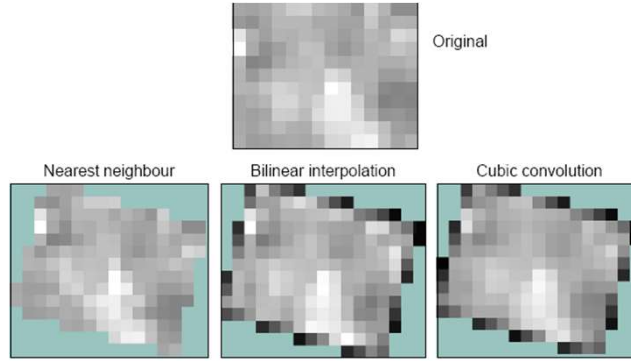
257

1/1000 Ölçekli Ortofoto



258

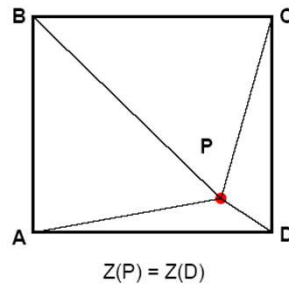
Gri değer enterpolasyonu Yeniden rneklemey Yöntemleri



259

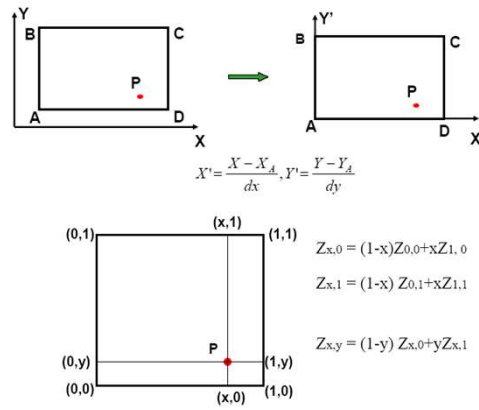
En Yakın Komşuluk

- En yakın grid değeri atanır

260
(Fraser, 2007)

Bilinier Enterpolasyon

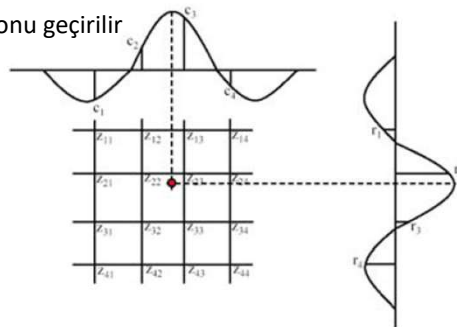
- Komşu 4 grid hücresinin ortalaması olarak yeni değeri atanır



261
(Fraser, 2007)

Kübik Konvülsyon

- 16 komşu grid verisi kullanılarak ilgili noktanın Z değeri hesaplanır
- Yumuşak bir eğri fonksiyonu geçirilir



$$\begin{aligned}
 Z = & z_{11} r_1 c_1 + z_{12} r_1 c_2 + z_{13} r_1 c_3 + z_{14} r_1 c_4 + \\
 & z_{21} r_2 c_1 + z_{22} r_2 c_2 + z_{23} r_2 c_3 + z_{24} r_2 c_4 + \\
 & z_{31} r_3 c_1 + z_{32} r_3 c_2 + z_{33} r_3 c_3 + z_{34} r_3 c_4 + \\
 & z_{41} r_4 c_1 + z_{42} r_4 c_2 + z_{43} r_4 c_3 + z_{44} r_4 c_4
 \end{aligned}$$

262
(Fraser, 2007)

Ortofoto doğruluğunu etkileyen faktörler

- Fotoğraf ölçeği /Ortofoto ölçeği
 - 3 ile 6 arası uygun
- GSD
- Ortofoto konum tolerans değeri
- SYM doğruluğu

263

- Dış yöneltme parametrelerinin değerleri yada SYM doğru değilse, gri değerleri doğru piksele denk gelmeyecektir
- İç ve Dış Yöneltme hataları
 - Asal nokta koordinatları --- X, Y ölçek hataları
 - Projeksiyon merkezleri---X, Y hataları
 - Açılar ---- ω , ϕ yükseklik hatalar
- SYM doğruluğu ve yüzey üstündeki objeler hesaba katılmazsa

$$\Delta \rho = \Delta R \frac{c}{Z_0} = \Delta Z \frac{\rho}{c * m_r} = \Delta Z \frac{\rho}{c * m_{Ortofoto}}$$
- Tolerans: Harita anlamında çizim doğruluğu 0.2 mm –tolerans 0.4 mm

264

Yersel Fotogrametri

- Çekimlerin yerden yapıldığı fotogrametrik süreçtir. Fotoğraf çekimi ve KS eksenleri dışında hava fotogrametrisi ile aynı algoritmalar kullanılır
- Close Range Photogrammetry
- Terrestrial Photogrammetry
- Ürünler: Rölöve ve harita yapımı, ortofoto, fotoplan, 3B modelleme, hareketli objeler, endüstriyel ölçmeler, deformasyon, heyelan vb ölçmeler

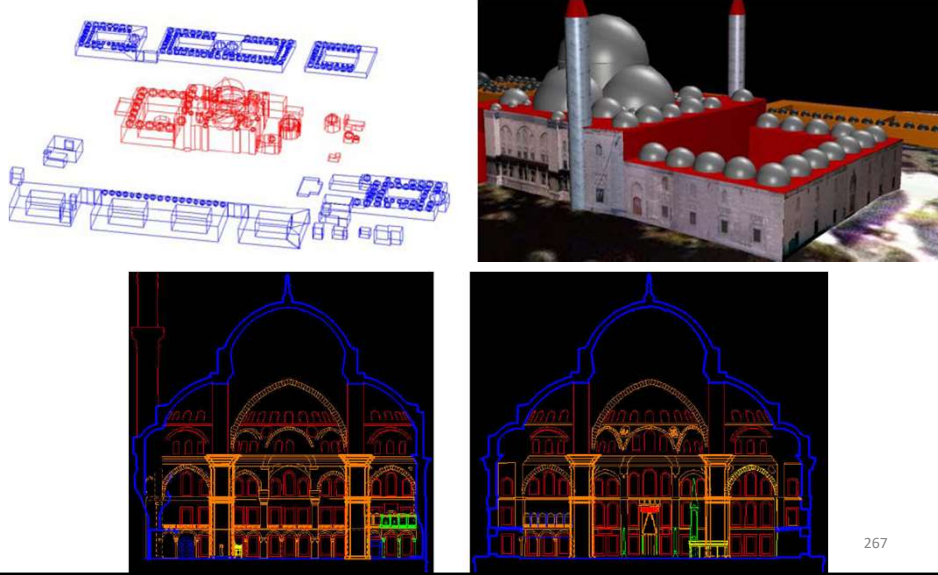
265

Kullanılan alanlar

- Endüstriyel fotogrametri (vision metrology)
- Mühendislik Ölçümleri (civil & geotechnical)
- Arkeolojide Fotogrametri (Heritage recording)
- Mimari Fotogrametri (Heritage recording)
- Trafik kazalarının kaydedilmesi
- Adli tıp
- Grafik animasyon için 3B modelleme
- Biostereometrik and medikal görüntüleme
- Sualtında fotogrametri

266

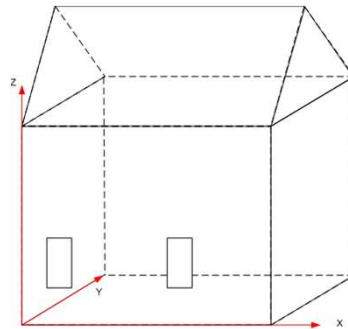
Fatih Camii Rölövesi ve 3B Modeli-YTÜ



267

Obje/Arazi Koordinat Sistemi

- Fotoğraf çekilen noktaların ve kamera eksenlerinin konumu ölçülebilir– Dış Yöneltilme elemanları bilinir
- Yersel fotogrametride kamera eksenini doğrultusu “Y” eksenini olarak alınır

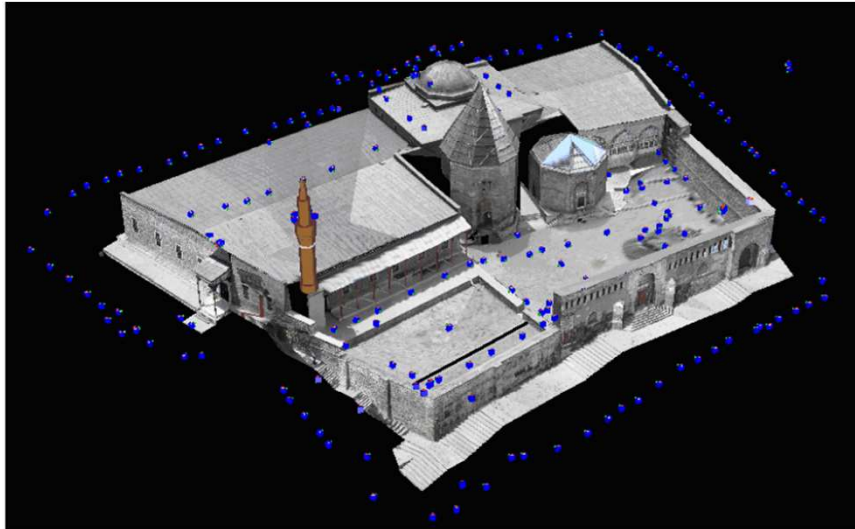


268

Fotogrametride dik alım-Normal Durum

- İki fotoğrafın alım eksenleri paralel ve ve baza dik ise bu çekim durumuna normal alım denir
- Çekim noktaları arasında yükseklik farkı varsa B yatay değildir, Bz "0" değildir
- Yersel fotogrametride kamera eksenlerinin konumları kolayca ölçülebilir
 - Dış yöneltme elemanları bellidir, $2 \times 6 = 12$ eleman
- Kamera eksenı yatay konumda olduğundan x eksenı çevresindeki ω dönüklüğü ile kamera eksenı çevresindeki κ dönüklüğü sıfırdır. Kameralar ile baz arasındaki açı da 90° olduğundan ϕ dönüklüğü "0" olmaktadır
- Böylece yöneltme problemi hava fotogrametrisine göre çok kolaylaşır

269



270
(Asri vd, 2007)

Fotoğraf çekimi

- Bütün mühendislik çalışmalarında olduğu digital fotogrametrik yöntemle 3B modelleme işlemi yapabilmek için fotoğraf çekim ve jeodezik alım işlemi planlanmalıdır
 - Model oluşturmak için gerekli her detay noktası en az iki (tercih edilen dört) fotoğrafta görünecek şekilde çekilmelidir
 - Modelleneyecek nesnenin şekil ve ebatlarına göre uygun konum ve sayıda fotoğraf çekilmelidir
 - Dış yöneltme için her fotoğrafta en az 4 kontrol noktası olacak şekilde fotoğraf çekilmelidir. Bu noktalar aynı doğrultu üzerinde olmamalıdır
 - Bindirmeli bölümlerde (model alanda) en az 3 ortak nokta olmalıdır. Tabi ki fazlası daha iyi olacaktır. Ortak noktalar bir doğrultuda olmamalıdır
 - Eğer modelleme işlemi kontrol noktasız yapılırsa ölçek için değeri iyi bilinen bir mesafe gerekir
 - Bu mesafenin mümkün olduğu kadar uzun olması tercih edilir
 - Modellemede obje üzerindeki detaylar hedef noktası olarak kullanılabilceği gibi, hassasiyetin artırılması için otomatik veya belirli bir işaret kullanılabilir

271

(Asri,)

Fotoğraf çekimi

- İşaretli noktalar ve çekim noktaları için;
 - İyi bir jeodezik ağ kurulmalıdır
 - Ağ noktaları yukarıda bahsedilen kontrol ve bağlama noktalarını iyi görebilecek şekilde tasarlanmalıdır
 - Kontrol noktaları için iyi görünebilen düzgün hedef işaretleri kullanılmalıdır
 - Fotoğraf çekimi ve alım işleri sırasında iyi bir kroki hazırlanmalıdır. Değerlendirme işlemi, fotoğraf çekimi ve jeodezik ölçmeler arasında fazla süre geçmemelidir

272

(Asri,)

- Aın doğruluğu B/Y oranının büyük tutulması ve konvergent alım yapılmasıyla arttırılabilir
- Bir noktanın ölçülebildiği fotoğraf sayısının çok olması doğruluğu arttırabilir. Ancak sayı dördü geçmemelidir
- İyi bir aę konfigürasyonu kurulduysa ve noktalar iyi tanımlanmış (işaretli) ise, görüntüde nokta dağılımı yeterliyse bu artış çok önemli değildir
- Görüntü znrlę (piksel sayısı) hesaplanan obje koordinatlarının doğruluğunu etkiler. Doğal noktalar da doğruluk artar, işaretli noktalar içinse çok etkin değildir
- Kamera kalibrasyonu yapılacaksa
 - self-kalibrasyon (işaretli noktalarla veya noktasız); geometrik konfigürasyon uygun ise olumlu olacaktır. Çok sayıda 3B işaretli nokta ve konvergent çekilmiş görüntüler
 - Düz (2B) test alanları, farklı mesafelerde fotoğraflar ekildiyse, asal uzaklığı doğru olarak bulmak için yeterlidir

273
(Remandino, 2004)

Fotoğraf ekimi

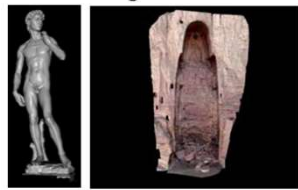
- Yersel Fotogrametri-pratik
 - Çizim lęine yakın (2-3 kat küçük) fotoğraf lęi
 - $M_r = c/Y$
 - köşelerde ve merkezde işaretli nokta
 - Stereo ekim
 - Objeye paralel alım
 - b/y oranı 1/4 -1/20 arası ideali 1/10
 - 1/4 oranında derinlikler daha iyi algılanır ancak model alanı küçüktür

274

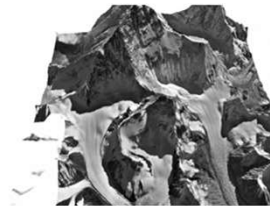
- Tüm fotogrametri ve FN dengelemesi yazılımları
- Stereo olmayan değerlendirme
 - PhotoModeler
 - ImageModeler
 -

275

3B Modelleme



Cultural heritage documentation



Mapping and Visualization

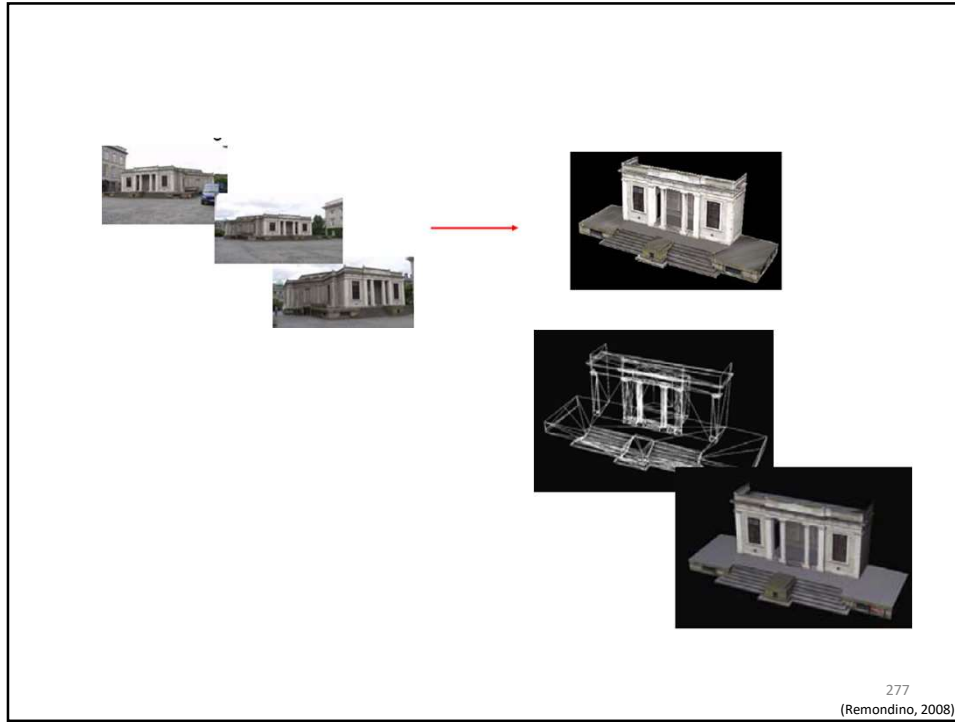


Video games industry



City modeling

276
(Remondino,2008)

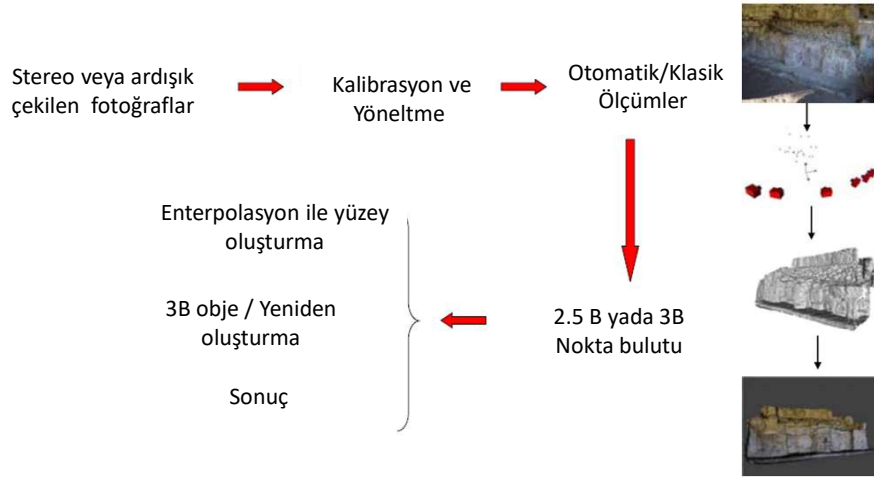


3B Modelleme için Teknolojiler

- Görüntülemeye dayanan teknikler : fotogrametri (pasif sensörler)
- Lazer tarayıcılar (pasif sensörler) - range -based techniques
- Arazide ölçüm yöntemleri (GPS, Total Station vb)
- Bilgisayar grafiği yaklaşımları (Computer graphics approaches and software) 3DStudioMax, Maya vb

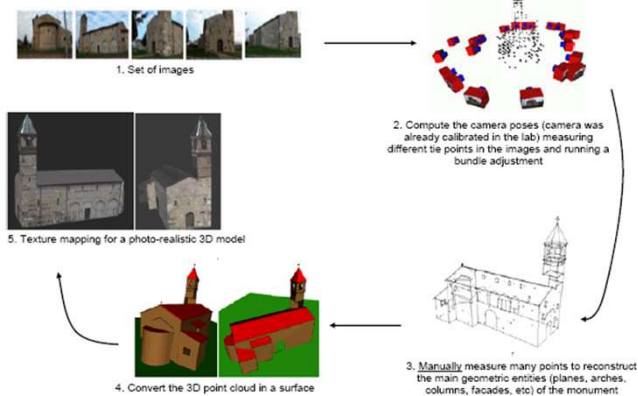
278
(Remondino, 2008)

Fotogrametri



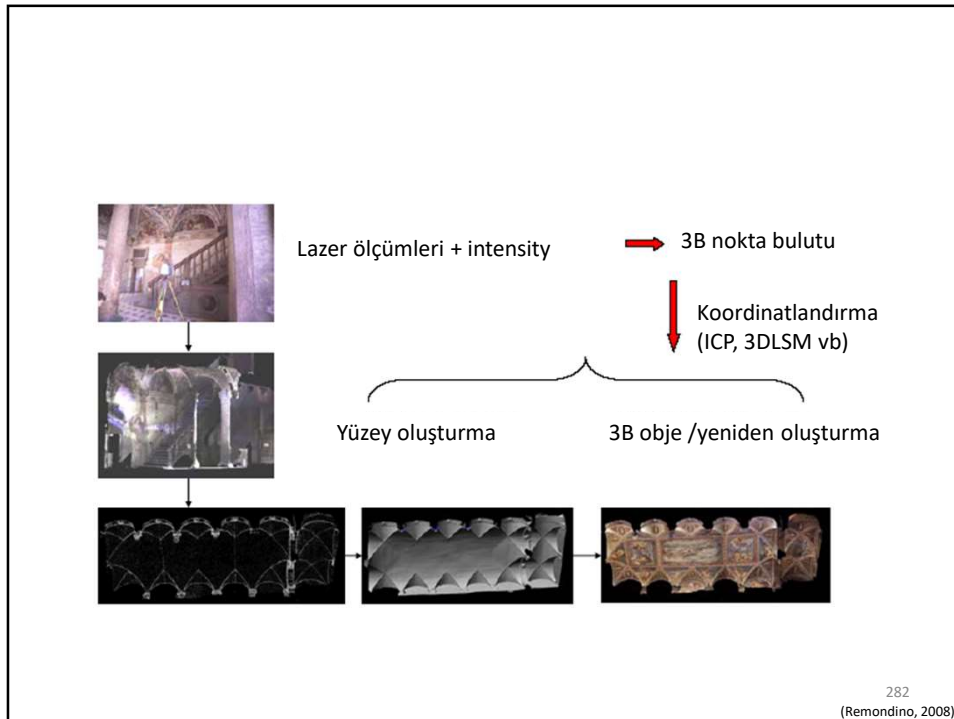
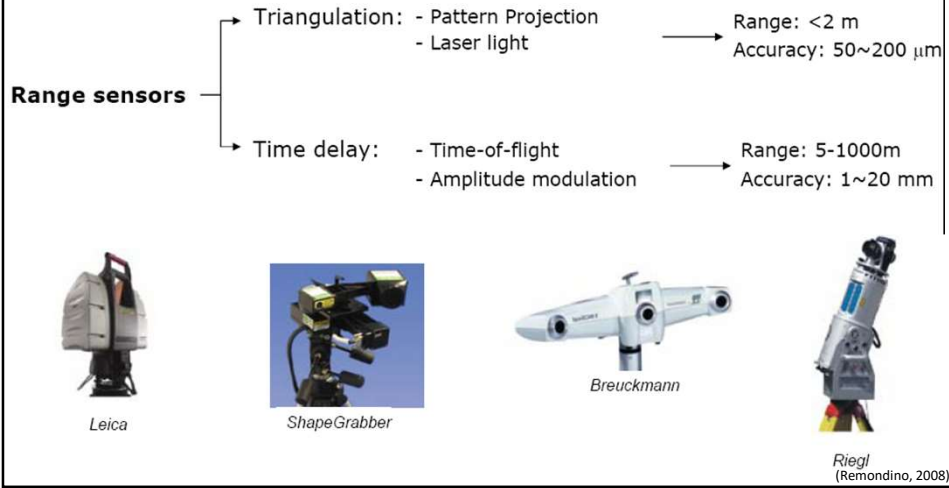
279
(Remondino, 2008)

Example - 3D Reconstruction of an ancient church in Padua, Italy



280
(Remondino, 2008)

Lazer Tarayıcılar



Karşılaştırma

Katkılar

- Fotogrametri
 - Hızlı veri toplama
 - Düşük Maliyet
 - Farklı görüş açıları ile alım
 - Obje büyüklüğünden bağımsız
 - Tektür
- Lazerle Tarama
 - Doğrudan ölçüm
 - Basit kullanım
 - Kısa zamanda milyonlarca nokta verisi

Dezavantajları

- Fotogrametri
 - Veri işlemenin zaman alıcı olması
 - Ölçek faktörü
 - Deneyim
 - Olası yumuşatma etkileri
- Lazerle tarama
 - tarayıcıya bağlı alım mesafesi
 - Bağımlı obje büyüklüğü
 - Genel olarak tektür eksikliği
 - Kenarlarda olası sorunlar

283
(Remondino, 2008)

The screenshot shows the ISPRS website with the following content:

ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences

Instructions for ISPRS Archives Production

In the early years of the Society, *Archive Volumes* were published independent of Congress or Technical Commission Symposia. Some of these *Archives* are still available from the ISPRS Member listed under "Repository" below. A copy of all *Archives* resides in the International Training Center (ITC) in The Netherlands.

The *Archives* are numbered odd for Congress Volumes and even for Commission Symposia. Volume Parts are given the Commission number and are separate books. When a Volume or Part is composed of multiple books, the number of total books of the Volume or Part is given in parentheses below. The Part for other ISPRS Conferences, Workshops or Tutorials is the Commission number followed by a C, W or T respectively and a sequence number.

The following table contains a list of all the ISPRS Archives.

Year	Event/Title	Date/Place	Volume	Type
1908-1909	International Archives		I	Book
1909-1911	International Archives		II	Book
1911-1913	International Archives		III	Book

284

Kaynaklar

- A C Kiracı, O Eker, L İçcan A Akabalı , 2009 Fotogrametrik nirengi ve GPS/IMU ile doğrudan Konumlandırma Test sonuçları, TUFUAB- 2009
- Ahmet Yaşayan, Fotogrametri Ders Notları, YTÜ, 1996
- Christian Heipke, 1996, Automation of interior, relative, and absolute orientation, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 52 (1997) 1-19
- Clive Fraser, 2007, 451-447 PHOTOGRAMMETRY (2007) Digital Photogrammetric Workstations (DPW) Lecture notes
- Clive Fraser, 2007, 451-447 PHOTOGRAMMETRY (2007) DTM & Digital Orthoimage Generation Lecture notes
- Fabio Remondino, Image-Based Modeling, and Human Reconstruction, Doktora Tezi, ETH, Zurich 2006
- Fabio Remondino, Terrestrial Photogrammetry & 3d Modeling, <http://www.Photogrammetry.Ethz.Ch>, 2008
- Habib, A., Ders notları, 2008 <http://www.geomatics.ucalgary.ca/~habib/courses.html>,
- Heipke C, Jacobsen K, Wegmann H, Andersen O, Nilsen Jr. B, 2002 Test goals and test set up for the OEEPE test "Integrated Sensor Orientation". In: Integrated Sensor Orientation, OEEPE Official Publication No. 43, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/Main, pp. 11 - 18.
- İ. Asrı, Ö. Çorumluoğlu Büyük Objelerde Tarihi Dokümantasyon Ve Tanıtım Amaçlı GPSSİT Destekli Digital Fotogrametrik 3B Modelleme
- İbrahim ASRI vd, Tanıtım ve Turizm Amaçlı 3B Model Destekli Tarihi Mekanlar Bilgi Sistemi, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 30 Ekim –02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon
- Jens Kremer, 2001, CCNS and AEROcontrol: Products for Efficient Photogrammetric Data Collection, Photogrammetric Week 01, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/phowo01.htm>
- Koçak, E. Sayısal Arazi Modeli, Yüksek Lisans Ders Notları, ZKÜ, (1988) Zonguldak
- Nielsen, M O, True Orthophoto Generation, Technical University Of Denmark, Doktora Tezi, 2004
- Orhan Altan vd, Fotogrametri kitabı, 2007
- Thomas Luhmann, Stuart Robson , Stephen Kyle, Ian Harley , Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications John Wiley & Sons; 2008
- Fotogrametri ders notları
 - www.yildiz.edu.tr/~batuk
 - www.yildiz.edu.tr/~gumusay
 - www.yildiz.edu.tr/~bayram
- BÜYÜK ÖLÇEKLİ HARİTA VE HARİTA BİLGİLERİ ÜRETİM YÖNETMELİĞİ, BÖHHÜY, Bakanlar Kurulu Tarihi - No : 23/06/2005 - 2005/9070, Resmi Gazete Tarihi : 15/07/2005, Resmi Gazete No : 25876
- www.yok.gov.tr Tezler