

FOTOGRAMETRİ I

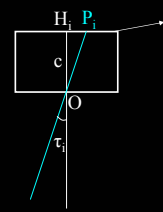
Fotogrametri'nin Temelleri

Uzman Murat ORUÇ
Arş.Gör. Hüseyin TOPAN

2007
ZONGULDAK

Fotogrametrinin Optik Temelleri

Fotogrametrik bir ölçme resmi, cisim uzayının merkezi perspektif bir izdüşümüdür.



Bir ölçme resminin fiziksel olarak meydana gelmesi için önce bir optik izdüşüm olması ve bu izdüşümün fotoğrafik olarak kaydedilmesi gerekir.

Optik izdüşüm: Herhangi bir P ışık noktasından çıkan ışık ışınları, yolları üzerindeki bir optik düzen sonucunda bir P' noktasında kesişecekleri şekilde yörüngelerinden sapıtılacak olursa bu durumda P resim noktasının P' izdüşüm noktasına optik olarak izdüşürüldüğünden söz edilebilir. Bu izdüşüm için gerekli olan optik düzene **optik sistem** denir.

Mercek Kusurları: Bir optik izdüşüm matematiksel olarak merkezi izdüşüm denklemleriyle tanımlanır. Ancak mercek denklemlerinin kullanıma 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** adı verilir.

Nedenlerine göre Mercek kusurları:

- 1- Eksene yakın bölgede olan ancak farklı yükseklikten merceğe rastlayan ışınların izdüşümündeki kusurlar. (Küresel aberasyon ve Kenar hataları)
- 2- Eksenin uzağında bulunan bölgelerin izdüşümünde ortaya çıkan kusurlar. (Koma, Distorsiyon, Astigmatizm, Görüntü alanının eğriliği). Buradaki ilk iki kusur belirli bir dalgaboyundaki ışık için geçerlidir. Farklı dalgaboyundaki ışıklar için renksel sapma hataları ortaya çıkar.

a) Renksel sapma:

Muhtelif renkte olan (farklı dalga boyundaki ışık ışınları) merceğe rastladığı zaman, farklı ışınlar farklı şekilde kırılma uğrayacaktır. Bu durumda optik izdüşüm sonucunda görüntülerin konumu arka odakta bulunmayacak ve farklı izdüşüm düzlemleri ortaya çıkacaktır. İzdüşüm sonucunda çıkan resimlerin bir düzlem üzerinde bulunmayışı resim üzerinde **gölge** oluşturur.

Bu hatayı ortadan kaldırmak için resim çekimi sırasında objektifin önüne **filtre** konur. Filtrelerin görevi, belirli dalga boyundaki ışınları yutup bunların objektife girmesini önlemektir.

b) Küresellik sapması (aberasyon):

Optik eksene paralel olarak gelen ışınlar sistemden geçtikten sonra bazılarının odakta gerisinde bazılarının ilerisinde kesiştiği görülür. Bu sapmanın nedeni, merceğe farklı yükseklikten gelen ışınların farklı küresel eğriliği yüzeye rastlamasıdır. Optik eksene göre yüksekten gelen ışınlar büyük sapma vermekte ve kenara doğru gitmektedir.

c) Koma hatası:

Objektiflere gelen geniş açılı ışınlar resimdeki keskinliği kaldırır. Bu nedenle nokta olarak görünmesi gereken ışınlar virgül veya kuyruk biçiminde görülürler. Bu hataya koma adı verilir.

d) Astigmatizm:

Objektife gelen ışınlardan dar açı teşkil edenleri resim düzlemi üzerinde görüntü oluşturacakları yerde iki ayrı yerde ayrı ayrı görüntü verirler. Objektif sistemlerinde merceklerin uygun biçimde yerleştirilmesiyle bu hata yok edilir.

e) Görüntü alanının eğriliği:

Astigmatizm hatası tek bir yüzeye çevrilse bile bu yüzeyin kamburluğunun giderilmesi mümkün olmamaktadır. Bu da görüntü izdüşümünün eğri bir yüzeyde oluşmasına neden olmaktadır. Bu hata güçlü objektiflerin kullanılmasıyla ortadan kalkar.

f) Distorsiyon:

Distorsiyon pratik yönden ölçme işleminde en önemli hata kaynağıdır. Diğer hata kaynakları görüntünün kalitesine etki etmektedir. Distorsiyon ise, görüntünün yer değiştirmesine neden olur ve bu yer değiştirmenin belirli bir değeri aşması sonucu presizyonlu bir ölçme yapma olabacağı olmaz. Distorsiyon nedeniyle resim düzleminde bir *ölçek değişimi* söz konusu olmaktadır.

Bu değişim (+) ve (-) olarak iki şekilde oluşur.

Distorsiyonun nedeni, optik eksene yatık olarak gelen ışınların farklı kırılma indisli yüzeylere gelip farklı şekilde kırılmaya uğramalarıdır.

Eğer bir optik izdüşüm sonucunda elde edilen izdüşüm noktasının sistemin merkez noktasına olan uzaklığı r ile gösterilirse $r = c \cdot \tan \tau$ ile elde edilecek izdüşüme *distorsiyonsuz izdüşüm* denir. $r = c \cdot \tan \tau$ denkleminde de *resim fonksiyonu* denir.

Ancak teorik ve teknik nedenlerden dolayı distorsiyonsuz objektiflerin yapımı olanak dışıdır. Distorsiyon değeri ancak belirli bir sınır içerisinde tutulabilir. Bu nedenle gerçek fiziksel izdüşümün resim fonksiyonu $r' = f(\tau)$ dur. Teorik resim fonksiyonu ise

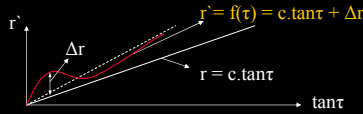
$r = f(\tau) = c \cdot \tan \tau$ arasındaki fark distorsiyon nedeni ile doğan

$\Delta r = r' - r = f(\tau) - c \cdot \tan \tau$ Distorsiyon nedeni ile öteleme

şeklinde olup distorsiyonun sayısal değeridir. Bu durumda gerçek izdüşüm için resim fonksiyonu

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

olup, eğer ordinat eksenini r' = $f(\tau)$, abscis eksenini de $\tan \tau$ gösterecek şekilde bölümlendirilirse grafik;



Her iki grafik gösteriliş arasındaki fark Δr grafik ötelemeleridir. Fotogrametrik uygulamalarda distorsiyonun tüm resim alanı içinde mümkün olduğu kadar küçük olması istenir. Bunun için şekildeki grafikte $r = c \cdot \tan \tau$ doğrusu c değerinin değiştirilmesi ile ($r = c \cdot \tan \tau$ doğrusunu 0 noktası etrafında döndürerek) Δr değerlerinin minimum olması sağlanabilir.

Fotogrametride kullanılan yöntem, resim üzerindeki distorsiyonların cebirsel toplamının sıfır olmasıdır. Eğer elimizde n tane distorsiyon değeri varsa bu koşul,

$\sum \Delta r = [\Delta r] = 0$ olur. Bu koşul sonunda elde edilen yeni c değeri,

$$c_b = \frac{r'}{\tan \tau}$$

olur. Bu değer fiziksel olarak izdüşüm ışınlarının resim düzleminde c değil de c_b kadar uzaklıkta bir izdüşüm merkezinden geliyormuş gibi izdüşümün oluşmasına neden olur. c nin bu yeni değerine **KAMERA SABİTİ** denir.

Bu sırada, tüm distorsiyonların sıfır olarak elde edildiği ve resim ekseninin resim düzlemine dik olarak geldiği noktaya da **ANA NOKTA** denilir.

Distorsiyonun etkisini ortadan kaldırmak için kolimatör kümeleri, Goniometre ile laboratuvaradaki ayar ölçmelerinden veya test alanlarındaki ayar ölçmelerinden yararlanılır.

DİSTORSİYONUN ÖLÇÜLMESİ

Distorsiyon resim çekme makinelerinin kalibrasyon ölçmeleri sonucunda kalibrasyon raporunda belirtilen değerlerdir. Kalibrasyon ölçmeleri iki şekilde yapılır. Birincisi laboratuvarında, ikincisi de analitik olarak yapılır.

Laboratuvardaki 2 şekilde yapılır.

- 1- Kolimatör kümesi
- 2- Goniometre ile yapılan ölçmeler

Kolimatör kümesiyle yapılan kalibrasyon ölçmelerinde, resim çekme makinasının objektifinin giriş beneğinde eksenleri keşişecek şekilde çok sayıda kolimatör yerleştirilir. Bu kolimatörler birbirlerine dik iki düzlemde belirli açısız uzaklıkta yerleştirilmiş olup X şeklindeki cismin ışık demetlerini resim düzlemine iz düşürürler. Kolimatörlerin resim düzlemindeki r izleri presizyonlu bir şekilde ölçülür. Bu değerlerin herbir kolimatör izi için hesaplanan $r = c \cdot \tan \tau$ teorik uzaklıkları ile olan farkları distorsiyon değerleridir.

Goniometre ile yapılan kalibrasyon ölçmelerinde, resim çekme makinasının odak düzlemine presizyonlu bir ağ plaka yerleştirilir. Ağ plaka resim çekme makinasının arkasından aydınlatılır. Ağ noktaları ışınların cisim uzayında optik eksenle yaptıkları θ_i açıları bir goniometre yardımıyla ölçülür. Ölçülen θ_i açılarıyla bu açıların hesaplanan teorik değerlerinden distorsiyon değerleri elde edilir.

Analitik olarak yapılan kalibrasyon ölçmelerinde uzaydaki konumu presizyonlu olarak belirlenmiş noktalar yardımıyla perspektif izdüşümün matematik modeli kullanılarak aranan distorsiyon değerleri hesaplanır.

DİSTORSİYONUN DÜZELTİLMESİ

1- Porre Koppe Yöntemi

Resim çekme makinasının çekim anındaki geometrik özelliklerini yeniden oluşturmaya dayanan bir distorsiyon düzeltme yöntemidir.

Resim negatif veya diapositif olabilir. Resim çekme makinasının objektifini kamera sabiti değeri kadar uzağına resim, resim çekme makinasına orta nokta bulucuları yardımıyla yerleştirilir. Objektifin önüne sonsuza ayarlanmış bir dürbün yerleştirilir. Resmin arkasından aydınlatılması sonunda mercekle ters işlem yaparak izdüşüm noktasından gelen ışınları dürbün tarafına geçirecektir.

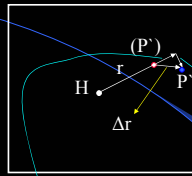
Aynı veya eşlenik bir mercek çalışılması durumunda dürbün tarafındaki ışınlar arası açılar resim çekme durumunun aynı olacağı ve bu durumda distorsiyonun etkisi yok edilmiş olacaktır.

Bu amaçla ya dürbün yada resim taşıyan projektör hareketli olacaktır. Burada zorluk, aynı anda eşlenik mercek ile çalışma durumunun pratikte güçlüklerle sağlanabilmesidir.

2- Kompenzasyon Plakaları Yöntemi

Bu yöntemde Δr sapmaları resmin ölçülmesi sırasında yok edilebilir. Bunun için objektif sisteminin üzerine cam plaka yerleştirilir. Buna kompenzasyon plakaları denir.

Bu yöntemde fotoğraflar perspektif olarak gözlendiği için ya da merkezi izdüşümle bir masaya iz düşürüldüğü için, iz düşüm ışını Δr kadar düzeltilir. Düzeltme plakaları, bu durumda hem kameranın ve hem de değerlendirme projektörünün distorsiyon hatasını toptan giderecek şekilde yapılır.



Şekilde P noktasının fotoğraf üzerindeki P' görüntüsü ile olması gereken (P') hatasız konumu gösterilmiştir.

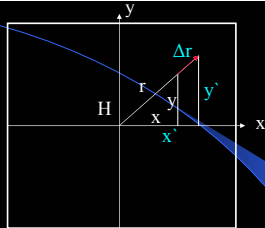
(P') ve P noktalarını birleştiren Δr doğru parçası, vektörel hata; çap ve teğet yönünde iki bileşene ayrılır. Bunlardan çap yönünde (r yönünde) olan bileşenine *çapsal (radyal)* distorsiyon, diğerine de *teğetsel* distorsiyon denir.

Çapsal distorsiyon hesapla yada analog fotogrametride özel donanımlarla düzeltilir. Teğet yönündeki distorsiyon ise, yapılacak bir şey olmadığı için olduğu gibi kalır.

Fotogrametrik ölçmelerde kullanılan objektiflerde bu distorsiyon değeri (teğetsel distorsiyon) fazla önemli değildir.

Distorsiyon değerleri, bir raporla kullanıcılara sunulur. Bu raporlara kalibrasyon raporları denilir.

Bir süre kullandıktan sonra kameraların distorsiyon hataları değişir. Bunun için kameraların 2-3 yılda bir kalibrasyon ölçülerinin yapılması, başka bilgilerle birlikte distorsiyon hatasının yeni durumunun da belirlenmesi gerekir.



Hesapla Düzeltme

Analitik fotogrametride distorsiyon düzeltmesi, diğer hesaplama programları ile birlikte ve sayısal olarak yapılır. Bunun için önce çapsal uzaklık,

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

ile hesaplanır. Bu değere karşılık gelen distorsiyon hatası kalibrasyon raporundan, enterpolasyon ile bulunur. Düzeltilmiş x' , y' fotoğraf koordinatları aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

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