

# SAYISAL FOTOGRAMETRİK NİRENGİ

Oktay AKSU

## ÖZET

Fotogrametrinin tarihsel gelişim sürecine ( analog-analitik-sayısal ) paralel olarak uygulanan yöntemlerde de önemli gelişmeler sağlanmıştır. Sayısal fotogrametrik çalışma istasyonlarının üretimde kullanılır duruma gelmesiyle birlikte , özellikle fotogrametrik nirengi ve DTM (sayısal arazi modeli) üretiminde önemli ölçüde otomasyon sağlanmıştır.

Bu yazıda , sayısal fotogrametrik nirengide uygulanan temel prensipler verilmektedir.

## ABSTRACT

Significant improvements relating to applied methods in photogrammetry , parallel to historical improvement period ( analogue-analytical-digital ) are being provided. High level automation in DTM production and in aerial triangulation is possible by means of digital photogrammetric workstations.

Basic principles of digital aerial triangulation are given in this paper.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde fotogrametrik uygulamalarla uğraşan kuruluşların çoğu fotogrametrik nirengi tekniğini kullanmaktadır. Bu alanda, her kuruluş aşağıdaki konuları dikkate alarak kendi alışkanlıklarını ve olanaklarını geliştirmektedir :

- Mevcut donanım,
- Yer kontrol noktası oluşturma ve koruma olanakları,
- Resim ölçeği,
- Operatörlerin deneyimi,
- Amaç, istenen doğruluk, gereksinim duyulan sonuç ürünlerin özelliği.

Yüksek ayırma güçlü tarayıcıların geliştirilmesiyle, yüksek kalitede sayısal görüntü elde etmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca performansı çok iyi olan bilgisayar donanım ve yazılımlarının geliştirilmesiyle, daha hızlı görüntü işleme yeteneği elde edilmiş ve günümüzde otomatik fotogrametrik işlemler mümkün olabilmektedir. Özellikle DTM ve ortofoto üretimi ile fotogrametrik nirengi, alt düzey görüntü işleme yöntemleriyle büyük oranda otomatize edilebilmektedir. Bu tür işlemlerin ve üretimlerin otomasyon başarısı, sayısal fotogrametrinin uygulamada çabuk kabul görmesini sağlamıştır.

Son iki üç yıl içerisinde sayısal fotogrametrik nirengi, üretimde oldukça önemli bir artış sağlayan yeni bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır.

## 2. İŞLEM ADIMLARI

Analitik (klasik) fotogrametrik nirengideki hazırlık, ölçüm ve dengelemeden oluşan işlem adımları burada da geçerlidir. Ancak otomatik fotogrametrik nirengi sayısal görüntüler, otomatik ölçüm teknikleri ve hemen hemen tamamıyla otomatik işleyişe dayalıdır.

### 2.1. Hazırlık :

a. Projenin tanımlanması , kamera verilerinin girilmesi : Bu işlemler analitik ve sayısal yöntemlerin her ikisinde de birbirine çok benzer.

b. Görüntülerin sisteme yüklenmesi ve gerekiyorsa istenen raster formata dönüşüm ,görüntü piramitlerinin oluşturulması : Bu işlemler yığın (batch) modda yapılır. Eğer mevcutsa rölatif kinematik GPS ile elde edilmiş resim izdüşüm merkezi koordinatları da sisteme girilir.

Analitik fotogrametrik nirengide kolon ve model bağlama noktalarının işaretlenmesi ve delgi yoluyla transferi, topoloji oluşturmanın (bloğu oluşturan modellerin ya da resimlerin birbirleriyle komşuluk ilişkileri, yani ortak alanlarının belirlenmesi) bir türü olarak düşünülebilir.

Otomatik fotogrametrik nirengi uygulaması durumunda, kuşkusuz bağlama noktası hazırlanması sözkonusu değildir ancak, fotoğraf merkezlerinin yaklaşık koordinatları ile  $\kappa$  (kappa) açıları girilerek resimlerin topolojisinin oluşturulabilmesine olanak sağlanır. Topoloji oluşturma, bağlama noktalarının otomatik olarak belirlenmesidir. Böylelikle görüntülerin ortak (bindirmeli) alanları da belirlenmiş olur. Bu amaçla alt düzey ayırma güçlerinde görüntü pramitleri kullanılır. Görüntü piramitleri basit bir sayısal filtre ile oluşturulabilir. Gauss filtresi vb. gibi simetrik bir filtre kullanılırsa, hesaplama süresi azaltılır /4/. Uygulanan prensip; orijinal görüntüde  $a$  olan bir kenar, bir sonraki görüntü piramitinde  $a/2$ , daha sonrakinde  $a/4$  olur ve ayırma gücü de bir önceki görüntüye göre  $1/2$  azalmış olur. Bir görüntü piramitinde orijinal görüntü piramit düzeyi  $0$  ya da düzey  $0$  olarak tanımlanırken, bir sonraki piramit düzeyi  $1$  olarak ve diğerleri de benzeri biçimde tanımlanır.  $1$  düzeyindeki bir görüntü,  $0$  düzeye göre diskte % 8.33 kadar daha az bir alan kapsar /4/.

### 2.2. Ölçüm

a. Otomatik İç Yönelme : Günümüzde mevcut sayısal fotogrametrik nirengi yazılımlarının bir kısmında, ilk iki resim kenar göstergesi operatör tarafından ölçüldükten sonra, diğer kenar göstergelerinde otomatik ölçümler yapılır. İç yöneltmede yapılan iş, sayısal görüntünün piksel koordinat sistemi ile, kalibre edilmiş kamera koordinat sistemi arasındaki dönüşüm parametrelerini belirlemektir.

b. Otomatik Karşılıklı Yönelme : Otomatik karşılıklı yönelme ile ikinci resmin birinci resme göre olan  $Y$ ,  $Z$ ,  $w$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  karşılıklı yönelme elemanları belirlenir /5/. Bu amaçla girdi verileri olarak; iç yönelme parametreleri, kamera kalibrasyon bilgileri, her iki görüntünün de görüntü piramitleri, yaklaşık boyuna ve yan bindirme oranları ile resimlerin sırası gereklidir.

Otomatik karşılıklı yöneltmenin esasları detay teşhisi (feature extraction) ve detay eşlemeye (ya da detay çakıştırma , feature matching) dayanır /1/, /5/. Yine temel prensip, görüntü piramitlerinin kullanımıdır. Uygulamadaki bir yaklaşıma (Phodis-AT , Zeiss) göre en kaba düzeyden başlayarak, sağ ve sol resimlerden mümkün olduğu kadar çok detay tespit edilir. Sonraki aşamada, sağ resimde bulunan detaylar sol resimle eşlenmeye çalışılır.

Başlangıçta her iki resim arasında iki boyutlu dönüşüm yapılır. İlk iterasyon sonunda yöneltme parametreleri belirlenir. Bundan sonraki hesaplamalarda bu parametreler sol resim detayları ile sağ resim detaylarının eşlenmesinde kullanılır. Eğer bir çift eşlenmiş detay bulunursa, sağ resimdeki detaydan bir epipolar hat geçirilir. Bu hat boyunca tespit edilecek bir çok detayın büyük bir olasılıkla sol resimde doğru eşlenebileceği bir karşılığı bulunabilecektir. Bu adıma kadar işlem hala yaklaşıklıkla devam etmekte ve epipolar hatta belli bir mesafedeki detaylar, muhtemel ortak (bağlama) noktalar olarak düşünülmektedir. Bütün bu veriler dengelenerek bilinmeyen parametrelere yeni yaklaşık değerler verilir. Bu adımda kaba hatalar elenir. Bu işlem adımları bütün piramit düzeylerinde aynıdır ve işlemler kabadan inceye doğru devam eder.

Önceden belirlenmiş bir ara düzeye (örneğin düzey 4) gelindiğinde, işlem doğrudan düzey 0'a atlar. Bu hareket detay izleme (feature tracking) olarak adlandırılır /5/. Bu tür bir hareketin nedeni, bir detayın ara düzeydeki konumunun yeterince durağan (sabit) olduğu belirlenirse, bu düzeyden düzey 0'a izdüşümü sağlayan ışın ile detayı tanımlamanın mümkün olmasıdır. Bu yaklaşımın üstünlüğü, diğer bütün piramit düzeylerinde işlem yapmanın gereği ortadan kalkar ve böylece ihtiyaç duyulan disk kapasitesi azaltılmış olur .

Otomatik karşılıklı yöneltme için diğer bir yaklaşımda (MATCH-AT, Inpho), bağlama noktaları için Gruber noktaları olarak bilinen 9 standart konumda (şekil 1) araştırma yapılır. Bu konumlardaki bağlama noktaları fotogrametrik nirengi için en etkin noktalardır. Önceden seçilen bu görüntü bölümlerinin boyutları normalde 3cm x 3cm.dir. Kolon ve model bağlama noktaları bu bölümler içinde seçilir ve aynı bölümü gören bütün görüntülerle eşlenir.

### Şekil-1: Eşlenik görüntü bölümleriyle nokta transferi

Buradaki temel felsefe, analitik yöntemdeki gibi tek tek bağlama noktaları yerine nokta kümeleri çıkarılmasıdır. Bu fazla ölçüm prensibi fotogrametrik nirenginin sonuç doğruluğunu da olumlu yönde etkiler. İşlem normal olarak 480  $\mu$  piksel boyutundan başlayarak 3 veya 4 düzeyde görüntü piramitleri oluşturularak iteratif olarak devam eder. Kaba bir düzeydeki detay noktası, bir sonraki düzeye izdüşürülmez. Çünkü, başlangıçtaki detay noktasının daha yüksek ayırma güçlerinde tanımlanması mümkün olmayabilir. Her bir izdüşüm, yalnızca bir sonraki alt düzey pramitte görüntünün yeni bir alt bölümünün merkezini belirler (şekil 2). Her düzeyde detay teşhisi bağımsız olarak gerçekleştirilir. Sonuç olarak herbir görüntü bölümü için yaklaşık 20-25 bağlama noktası oluşturularak, görüntü başına toplam 200-300 nokta elde etmek mümkündür/1/. Böylesine fazla nokta ölçümü bloğun geometrisini sağlamlaştıracağı gibi sonuç dengeleme doğruluğunu da etkiler.

### Şekil-2 : Görüntü piramitleri kullanılarak bağlama noktaları oluşturulması

c. Operatöre Bağımlı Görsel (Manuel) Ölçümler : Manuel ölçümler otomatik fotogrametrik nirenginin ayrılmaz parçasıdır. Özellikle yer kontrol noktalarının ve yeni detay noktalarının

ölçümünde, bu tür ölçümler kullanılmaktadır. Ayrıca kontrol amacıyla veya blok dengelemeye yeni bağlama noktalarının eklenmesi gerektiğinde de operatör tarafından kolon ve model bağlama noktaları ölçülebilir.

Otomatik ölçümlerde genellikle detaya bağlı eşleme kullanılırken, manuel ölçümlerde en küçük kareler eşlemesi (least square matching) kullanılır. Detay eşleme ile en küçük kareler eşlemesinin temel farkı, sonuç duyarlılığıdır. Detay eşleme ile resim koordinatlarının standart sapması 0.3-0.4 piksel iken, en küçük karelerde 0.1 piksel değerine erişilebilir /1/.

En küçük kareler eşlemesinde , bir görüntü üzerindeki bir nokta sabit alınır ve diğer görüntü veya görüntülere transfer edilir. Yani , bunun bir çeşit sayısal komparator olduğu düşünülebilir /1/. Bu noktada, sayısal fotogrametrik nirenginin analitik yöntemden farkı, aynı anda ikiden fazla görüntünün ortak alanında ölçüm yapılabilmesidir.

### 2.3. Blok Dengeleme

Otomatik fotogrametrik nirengi yöntemiyle resim koordinatları ölçülür. Buna uygun blok dengeleme yöntemi, ışın demetleriyle blok dengelemedir. Bütün resimlerin dengelenmiş yöneltme parametreleri, ölçülmüş tüm noktaların dengelenmiş arazi koordinatları ve karesel ortalama hataları bir rapor halinde verilir. Ayrıca blok dengeleme, otomatik ölçüm adımlarında kaba hataların tespiti amacıyla da kullanılır.

Fotogrametrik nirenginin sonuç doğruluğunu yargılamak için iki parametre kullanılır. Birincisi, resim koordinatlarının yani ağırlığı bir olan ölçümlerin dengeleme sonucu bulunan ve  $\sigma_o$  ile ifade edilen duyarlılığıdır. Resim koordinatları ölçüm duyarlılığı neredeyse ihmal edilebilir düzeyde (1-2  $\mu$  ) olduğu için,  $\sigma_o$  değerinin büyüklüğü normal olarak nokta transferinin inceliği ile saptanır.

İkinci ölçüt, dengelenmiş bir fotogrametrik nirengi bloğunun mutlak doğruluğu olup, ölçümlerin duyarlık düzeyi ( $\sigma_o$  ) ve bloğun geometrisine (yer kontrol noktaları sayısı ve dağılımı, resim bindirme oranları, bağlama noktalarının sayısı ve dağılımı, GPS verileri) bağlıdır. Aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir /1/:

$$\sigma_i = \sqrt{q_{ii}} \sigma_o$$

$q_{ii}$  : Normal denklemler matris inversinin köşegen elemanları

Otomatik nokta transferi kullanan sayısal fotogrametrik nirenginin duyarlık düzeyi, uygulanan eşleme (çakıştırma) yöntemine ve sayısallaştırılmış görüntülerin piksel boyutlarına bağlıdır. Eğer görüntüler için 20  $\mu$  piksel boyutu ve detay eşlemesi (feature matching) yöntemi için 0.3-0.4 piksel ve en küçük kareler eşlemesi (least squares matching) yöntemi için de 0.1-0.2 piksellik duyarlılık kabul edilirse,  $\sigma_o$  değeri sırasıyla 7  $\mu$  ve 3  $\mu$  dolayında olur /1/. Bu değerler de iyi kalitede bir fotogrametrik nirengi sonucunu ifade eder.

### 3. Sonuç

Otomatik fotogrametrik nirengi, analitik (klasik) fotogrametrik nirengi ile kıyaslandığında, iş akışında bir değişiklik ortaya çıkmaktadır. Burada asıl hedef, fotogrametrik nirenginin otomasyonudur. Otomasyon, operatör desteğinin tamamıyla ortadan kalkması demek değildir. Bunun yerine, başlangıçta işlemleri harekete geçirme ve gerekli durumlarda kalite kontrolü, kabul ve işlemlerin sonunda bir kısım editleme fonksiyonları biçiminde kısıtlı olması demektir. Analitik fotogrametrik nirengiden temel farkları otomatik ve manuel ölçümlerde operatörün ilgili noktalara kanalize edilmesi, bir noktanın aynı anda ikiden fazla görüntüde ölçülebilmesi ve tüm otomatik işlemlerin ilk adımlarında hata kontrolü olanaklarıdır.

Görüntü piramiti teknikleri ardışık olarak kullanılarak herhangi bir anda tüm bloğa ulaşılabilir. Bağlama noktalarının numaralanması otomatik olarak yapılır. Bilindiği gibi, analitik yöntemde bu numaralama hataları çok sıkça ortaya çıkan ve düzeltilmesi oldukça fazla zaman alan bir hata kaynağıdır.

Sistemin en önemli sıkıntısı, çok büyük miktarlardaki verilerle işlem yapmanın gereği olarak ihtiyaç duyulan disk kapasitesi ve yükleme (saklama), transfer zorluklarıdır.

Sonuç olarak otomatik fotogrametrik nirenginin analitik fotogrametrik nirengiden daha hızlı, daha doğru ve daha ucuz olduğunu söylemek mümkündür.

## K A Y N A K L A R

- /1/ Ackermann F. : Some Considerations About Digital Aerial Triangulation  
OEEPE Official Publication No .33 ( 157-164 ) , 1996
- /2/ Vanommeslaeghe J. : Some Considerations About Digital Aerial Triangulation  
OEEPE Official Publication No .33 ( 115-124 ) , 1996
- /3/ Kölbl O. : Some Considerations About Digital Aerial Triangulation  
OEEPE Official Publication No .33 ( 125-138 ) , 1996
- /4/ Mayr W. Poth Z. : Automatic Generation of Steromodels  
Joint ISPRS Workshop WG III/2 , Stockholm , 1995
- /5/ Mayr W. : Aspects of Automatic Aerotriangulation  
Photogrammetric Week 95 - Wichmann