

GNSS TEKNIĞİ



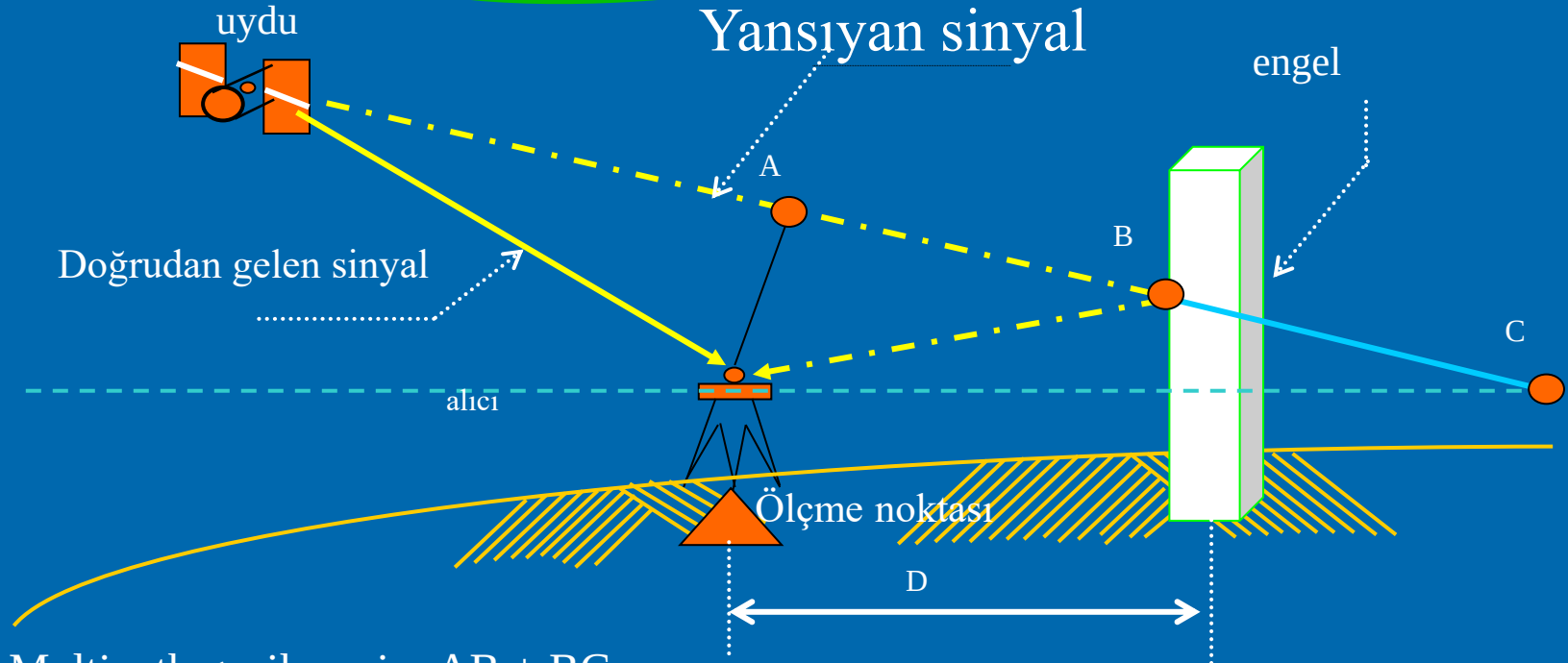
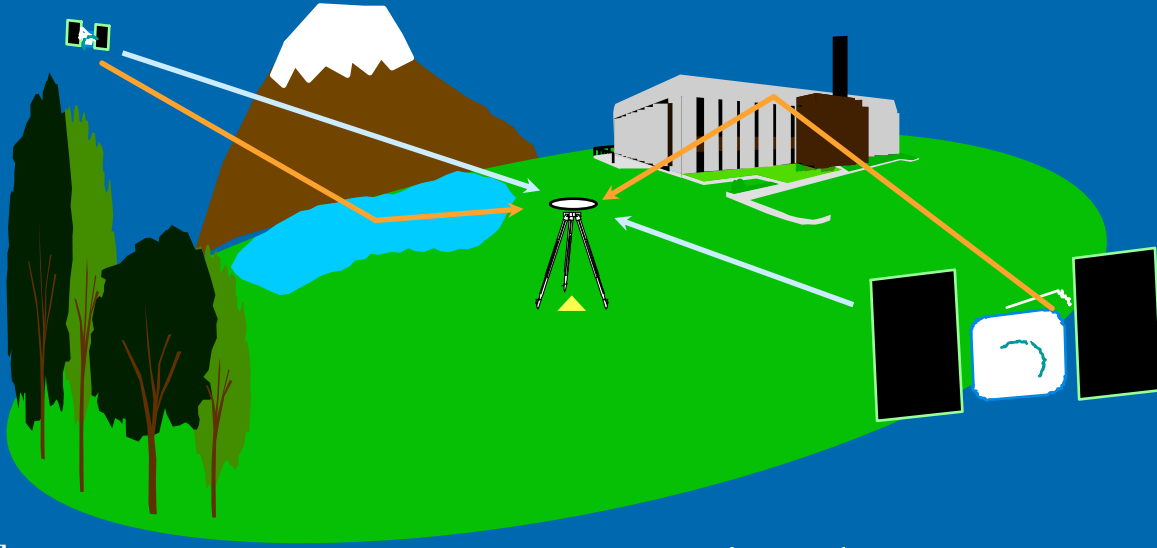
GPS
GLONASS
GALILEO

Sinyal Yansıma (Multipath) Etkisi

- GPS alıcı antenleri her yönden gelen uydu sinyallerini eş zamanlı alabilme özelliğine sahiptir. Arazi yapısı ve sinyal yükseklik açısına bağlı olarak istenmeyen sinyal yansımaları ile karşılaşılır.
- Uydulardan yayınlanan sinyallerin alıcı antenine bir veya daha çok yol izleyerek ulaşmasına sinyal yansıma (multipath) etkisi denir.
- Uyduların neden olduğu etkiler ve alıcı anteninin çevresindeki yüzeylerin neden olduğu etkiler kısa kenarlı ağlarda bazın iki ucundaki anten için aynı büyüklüğe sahip olacağından görelî konum belirleme yöntemi ile büyük ölçüde giderilmektedir.

- Alıcı antenin çevresinin neden olduğu yansımaların kaynakları yapılar, ağaçlar, su yüzeyleri ve diğer yansıtıcı yüzeylerdir. Sinyal yansımaya etkisinin büyüklüğü dalga boyu ile orantılıdır.
- Yansımaya hatalarının büyüklüğü sinyalin dalga boyuna bağlı olduğundan kod ve taşıyıcı dalga ölçümleri farklı şekilde etkilenir.
- Taşıyıcı dalga ölçümlerinde yansımadan kaynaklanan hatalar 3-5 cm' yi geçmezken kod ölçümlerinde bu hatalar 15 m. ye ulaşabilir.

Multipath Hatası



GPS Multipath hataları

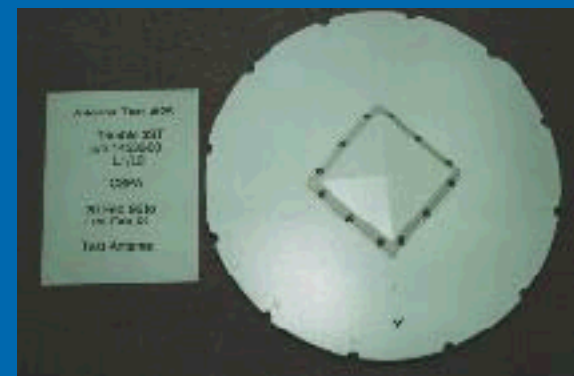
Multipath etisinden kaçınmak için

- Yansıtıcı yüzeylerden kaçınmak
- Multipath önleyici antenler kullanmak
- Multipath engelleyici alıcılar kullanmak



GPS Antenleri (hassas konumlama için)

- Halkalar choke-rings olarak adlandırılır (multipathı engellemek için)

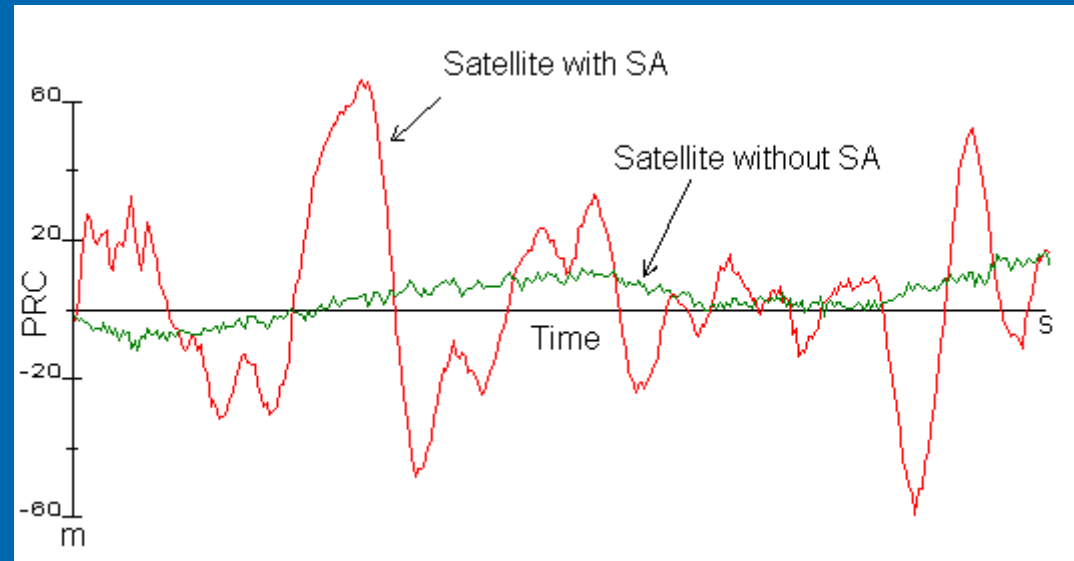
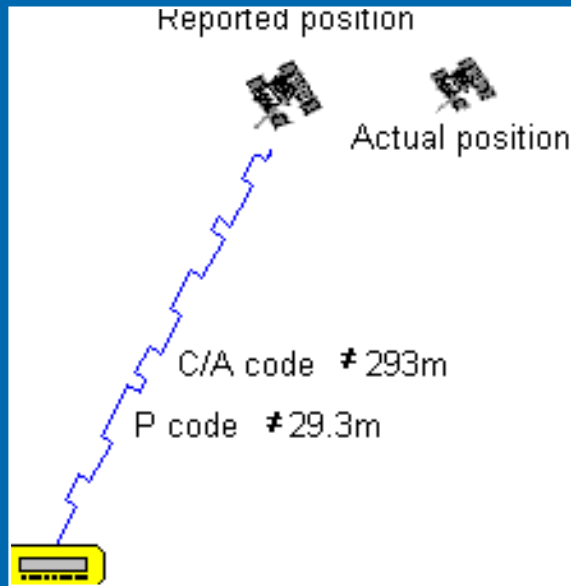


Alıcı Anteni Faz Merkezi Hatası

- Alıcı anteni faz merkezi GPS sinyallerinin antene ulaştığı noktadır.
- Bu nokta genellikle geometrik faz merkezinden farklıdır.
- İdeal bir GPS anteninin faz merkezi, antene ulaşan sinyalin geliş doğrultusundan bağımsız olması gerekir.
- Uygulamada, uydu sinyalinin azimut ve yükseklik açısına bağlı olarak antenlerin faz merkezlerinde küçük değişimler gözlenmektedir.
- Bu değişimler L_1 ve L_2 sinyalleri için farklıdır.
- Kayıklık, biri sabit diğeri zamana bağlı değişim olmak üzere iki ayrı büyüklük olarak incelenebilir.
- Anten faz merkezi değişimleri anten yapısına göre birkaç milimetre ile 1-2 cm arasında değişmektedir.
- Önemli çalışmalarda bu değişimler dikkate alınmalıdır.

Seçimli Doğruluk Erişimi (SA)

- Seçimli doğruluk erişimi (SA), ABD tarafından yetkisiz kullanıcılar için konulmuştur. Yani konum belirleme doğrulukları ABD tarafından kasıtlı olarak kötüleştirilmiştir. Bu durum 1 Mayıs 2000'den itibaren kaldırılmıştır.
- Kısa baz uzunluklarında SA etkisinden korunmak için Diferansiyel GPS (DGPS) tekniği kullanılmaktadır.



SA iki kısımdan oluşur

- **Uydu saat hataları**
- **Uydu koordinat hataları**

S/A Nasıl Çalışır

En büyük hata kaynağı

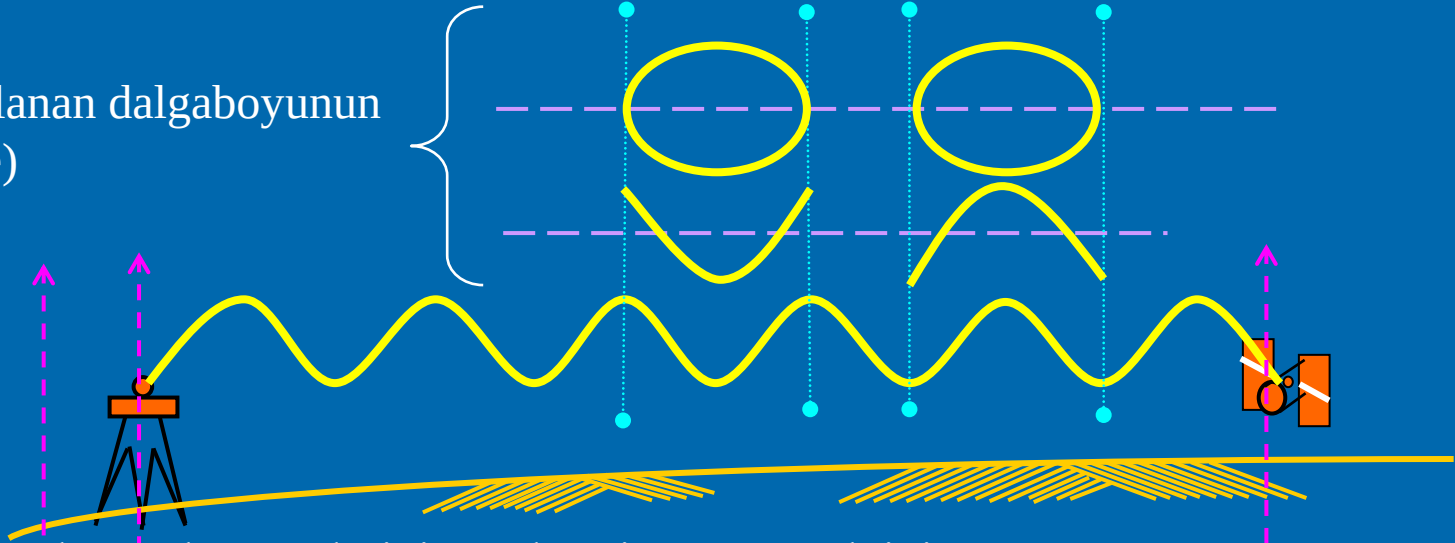
- Uydu saatleri kapatılır.
- Efemeris hata tanımlamaları uzay kumanda kontrol merkezince yayınlanamaz
- Düzeltme bilgilerine sadece askeri birimler sahiptir

Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği ve Faz kesiklikleri

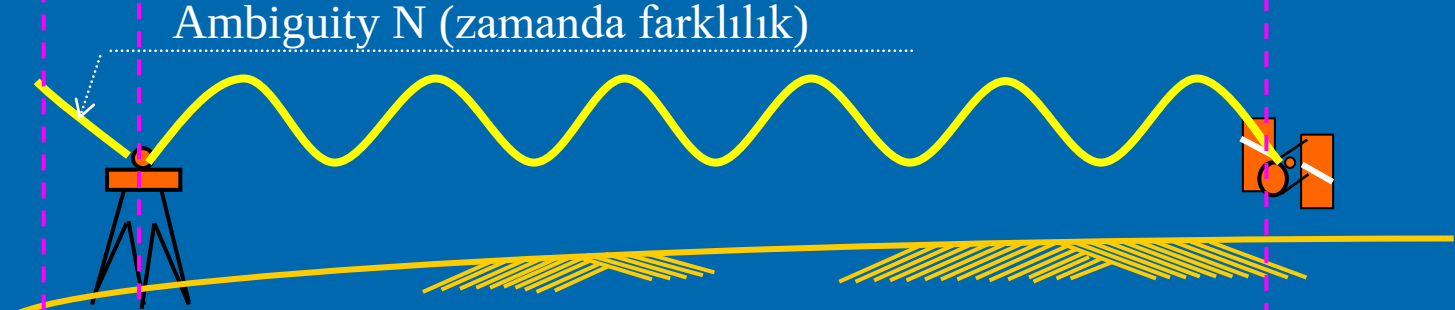
- GPS alıcısı ölçü anında yalnız ölçü sinyali ile alıcı sinyali arasındaki fazi ölçer.
- Alıcının açıldığı anda devreye giren bir sayaç, uydu alıcı fazi 0 ile 2π arasında değiştiğinde $+1$ veya -1 tamsayı artar veya azalır. Böylece ilk ölçü epogundan itibaren fazdaki tam sayı dalga boyu değişimleri belirlenmiş olur.
- İlk epok (başlangıç anı) için uydu-alıcı arasındaki taşıyıcı dalga fazının kaç tane tam dalga içerdiği bilinmemektedir.
- Bu bilinmeyene “Taşıyıcı Dalga Faz Başlangıç Belirsizliği” veya kısaca faz belirsizliği (ambiguity) adı verilmektedir.
- Faz belirsizliği N ile gösterilmektedir.
- Gözlemlerde sinyal kesikliği olmadığı sürece N sabit olacaktır.

Ambiguity

A- tamamlanan dalgaboyunun şekli (daire)



B- uydu ve alıcı saatlerinin senkronizasyonu çok iyi

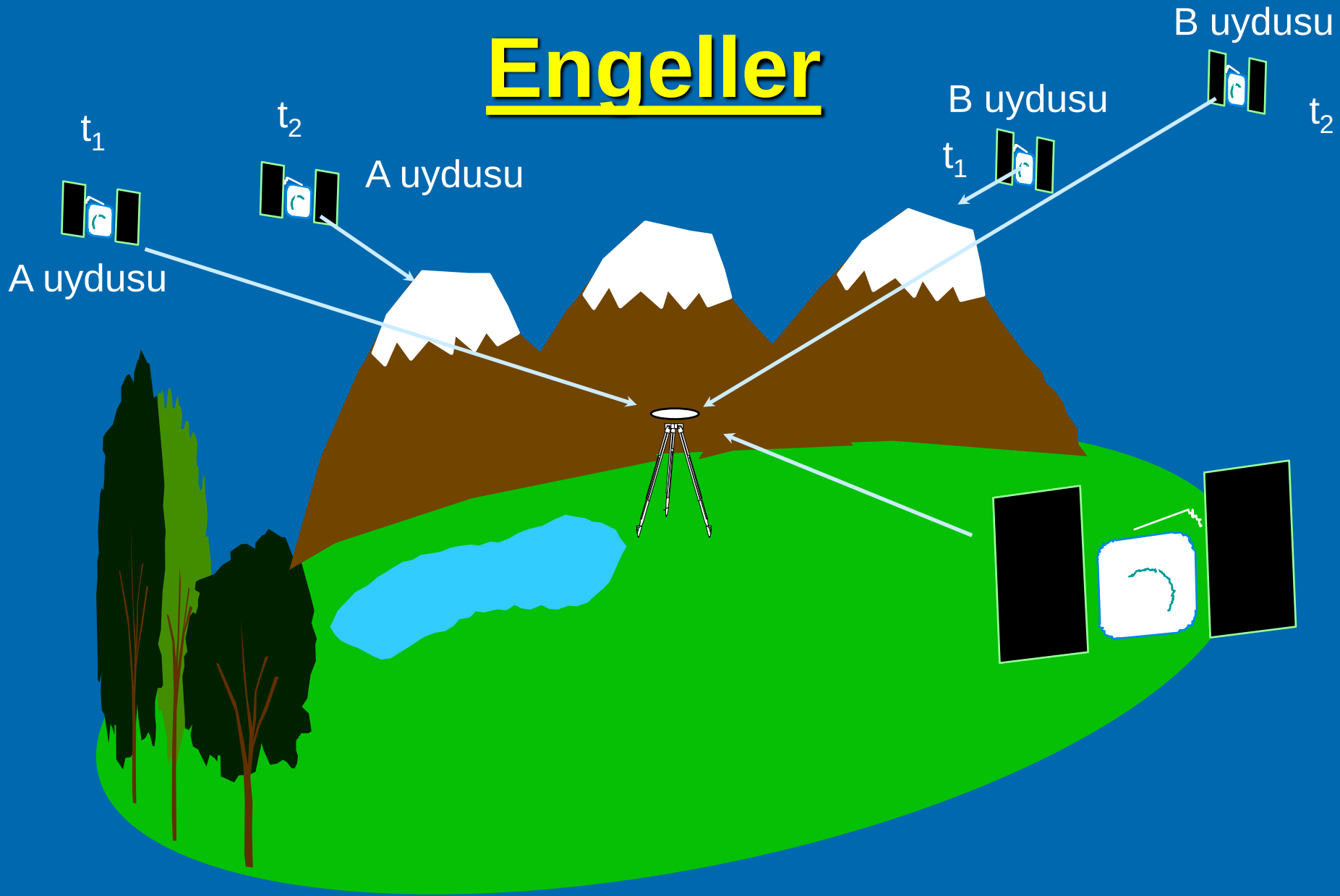


C- uydu ve alıcı saatlerinin senkronizasyonu çok iyi değil

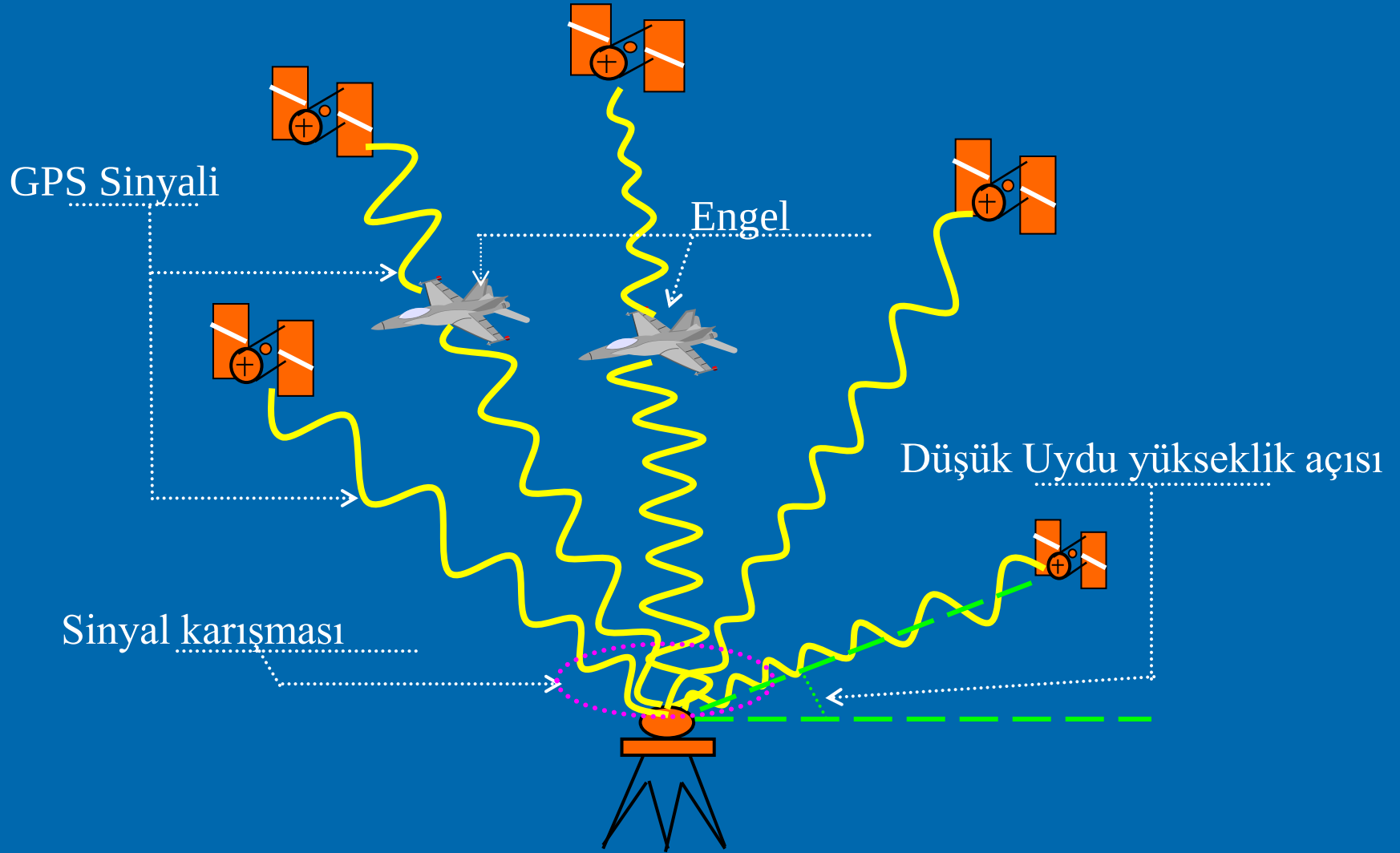


- GPS gözlemi devam ederken uydu sinyalinin alınmasında meydana gelecek sinyal kesikliklerine faz kesiklikleri yada faz kayıklığı adı verilmektedir.
- Faz kesikliklerinin genel nedenleri şunlardır:
Ölçü noktası çevresinde ağaç, bina, köprü vb. gibi uydu sinyallerinin alıcıya ulaşmasını engelleyen nesneler,
Kötü iyonosferik koşullar nedeniyle sinyal-gürültü (S/N) oranının düşük olması,
Sinyal yansıma etkisi (multipath),
Alıcı yazılımında oluşabilecek arızalar.
- Faz belirsizliği pratik konum belirlemede 20 km' nin altındaki bazlarda GPS yazılımlarında otomatik olarak giderilmektedir.
Faz belirsizliği bilinmeyenlerinin çözümü için;
 - Klasik yöntem,
 - P kod destekli yöntem,
 - Anten yer değiştirmesi yöntemi,
 - Modern (QIF), (OTF) gibi yöntemler geliştirilmiştir.

Engeller



Faz Kesilmesi



Duyarlık Ölçütleri

- Yukarıda açıklanan hata kaynakları pseudorange ölçümünde sapmalara neden olmaktadır.
- Bu hataların tümünün oluşturduğu toplam hataya UERE (User Equivalent Range Error) denilmektedir.
- UERE, yukarıda verilen her bir hatanın kareleri toplamının karekökü olarak hesaplanmaktadır. Kısaca UERE uydu-alıcı arasındaki uzaklığa getirilecek düzeltmeyi göstermektedir.
- UERE' nin uzay ve kontrol bölümlerine ilişkin kısmı URE olarak adlandırılır.
- UERE' nin alıcıya ilişkin kısmına UEE denir.
- Navigasyon mesajı içersinde yayınlanan ve uydu-alıcı uzaklığına ilişkin hata miktarını ifade eden bir katsayı URA (user range accuracy) olarak adlandırılır.

Duyarlık Kaybı (DOP) Faktörleri

- GPS ile navigasyon amaçlı ölçmelerde üç boyutlu konumu etkileyen diğer bir faktör gökyüzündeki uydu geometrisidir.
- Uydu geometrisi konum belirlemede önemli bir hata kaynağıdır.
- Uyduların birbirine ve yeryüzündeki alıcıya göre olan konumlarının, alıcı anteni koordinatlarının belirlenmesindeki hatalara katkısı duyarlık kaybı (DOP) faktörleri ile ifade edilmektedir.
- Yüksek DOP değeri uydu geometrisinin doğru konum belirleme için uygun olmadığını (uyduların birbirine göre çok yakın olduğunu),
- Düşük DOP değeri ise uydu dağılımının çok uygun olduğunu göstermektedir.

Duyarlık Kaybı (DOP) Faktörleri

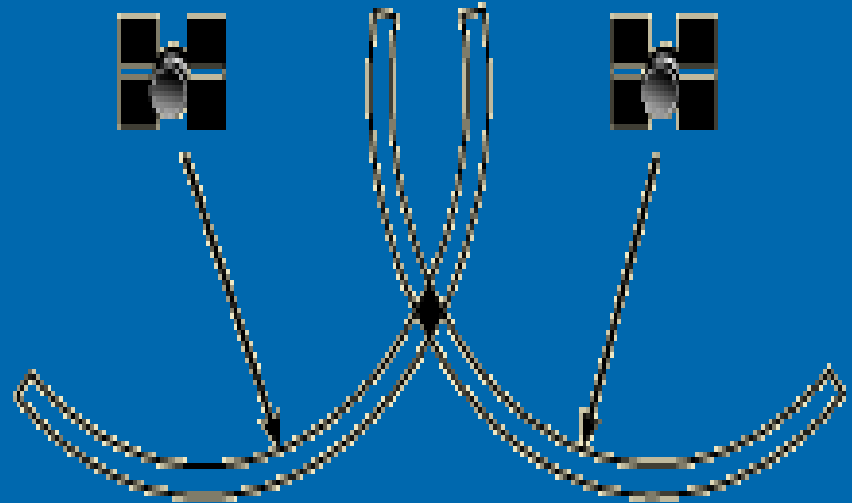
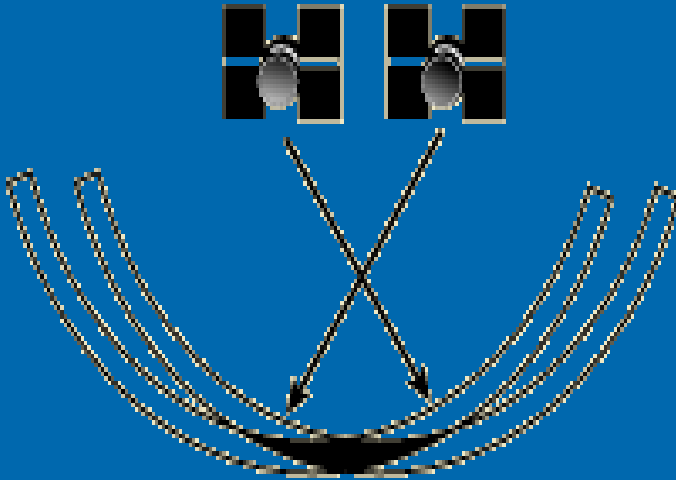
- DOP faktörleri, uydu geometrisinin navigasyon çözümlerinden elde edilen doğruluklar üzerindeki etkilerini ifade eden ölçütlerdir.
- DOP faktörleri genel olarak dengeleme sonrası elde edilen kofaktör ve varyans-kovaryans matrisinin köşegen elemanlarının fonksiyonu olarak elde edilmektedir.
- Genel olarak
$$\sigma = \text{DOP} \cdot \sigma_0$$
olup σ_0 , gözlenen pseudorange ölçüsünün standart sapmasını, σ ise koordinat bileşenlerinin standart sapmasını göstermektedir.

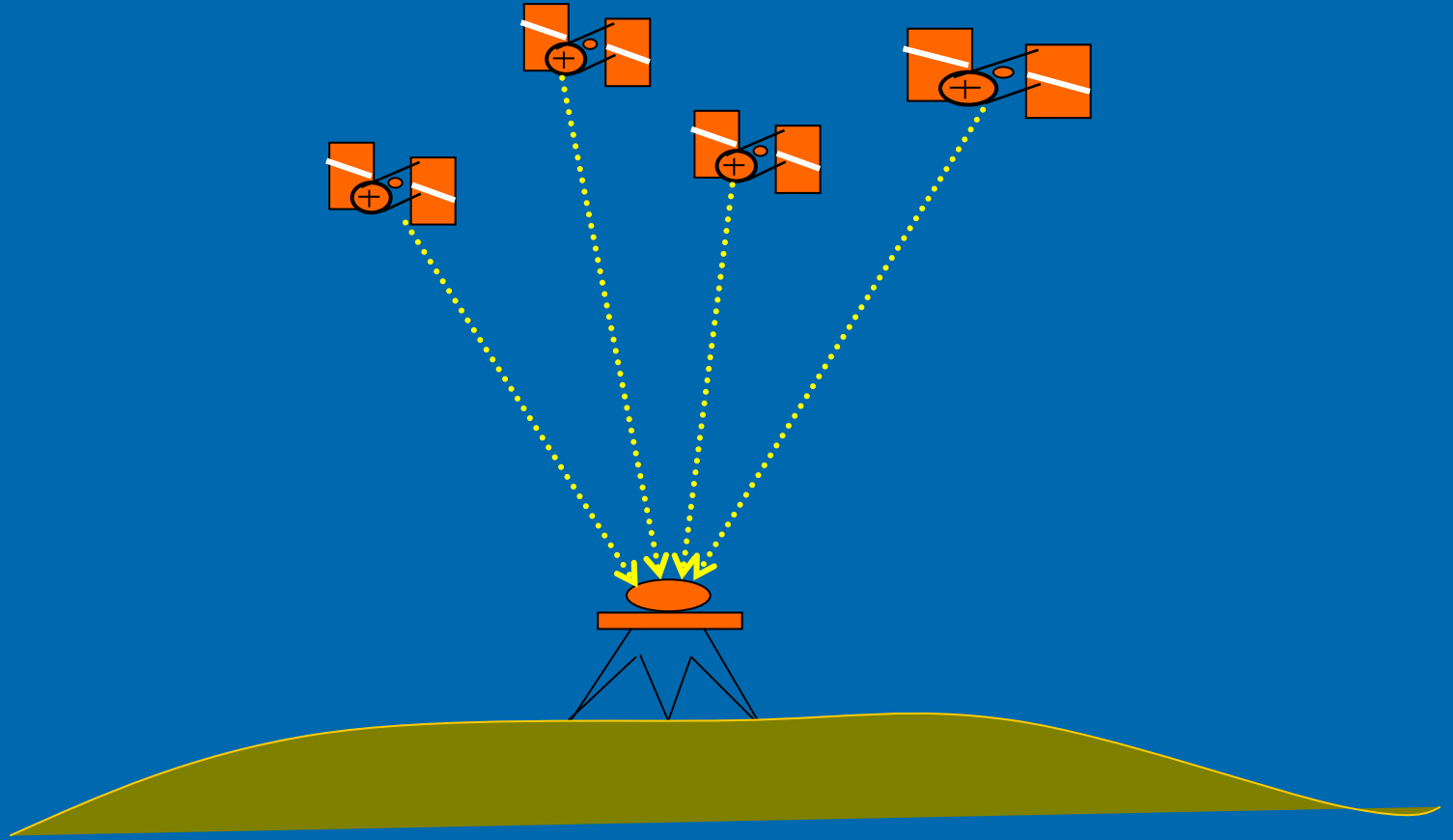
DOP faktörleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. Bunlar

- **GDOP** :Uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına ve alıcı saati bilinmeyenine toplam etkisini,
- **PDOP** : Uydu geometrisinin hesaplanan yatay ve düşey koordinatlara etkisini,
- **HDOP** : Uydu geometrisinin hesaplanan yatay koordinatlara etkisini (enlem, boylam),
- **VDOP** : Uydu geometrisinin hesaplanan nokta yüksekliğine etkisini,
- **TDOP** :Uydu geometrisinin hesaplanan zaman bilgisine etkisini ifade etmektedir.

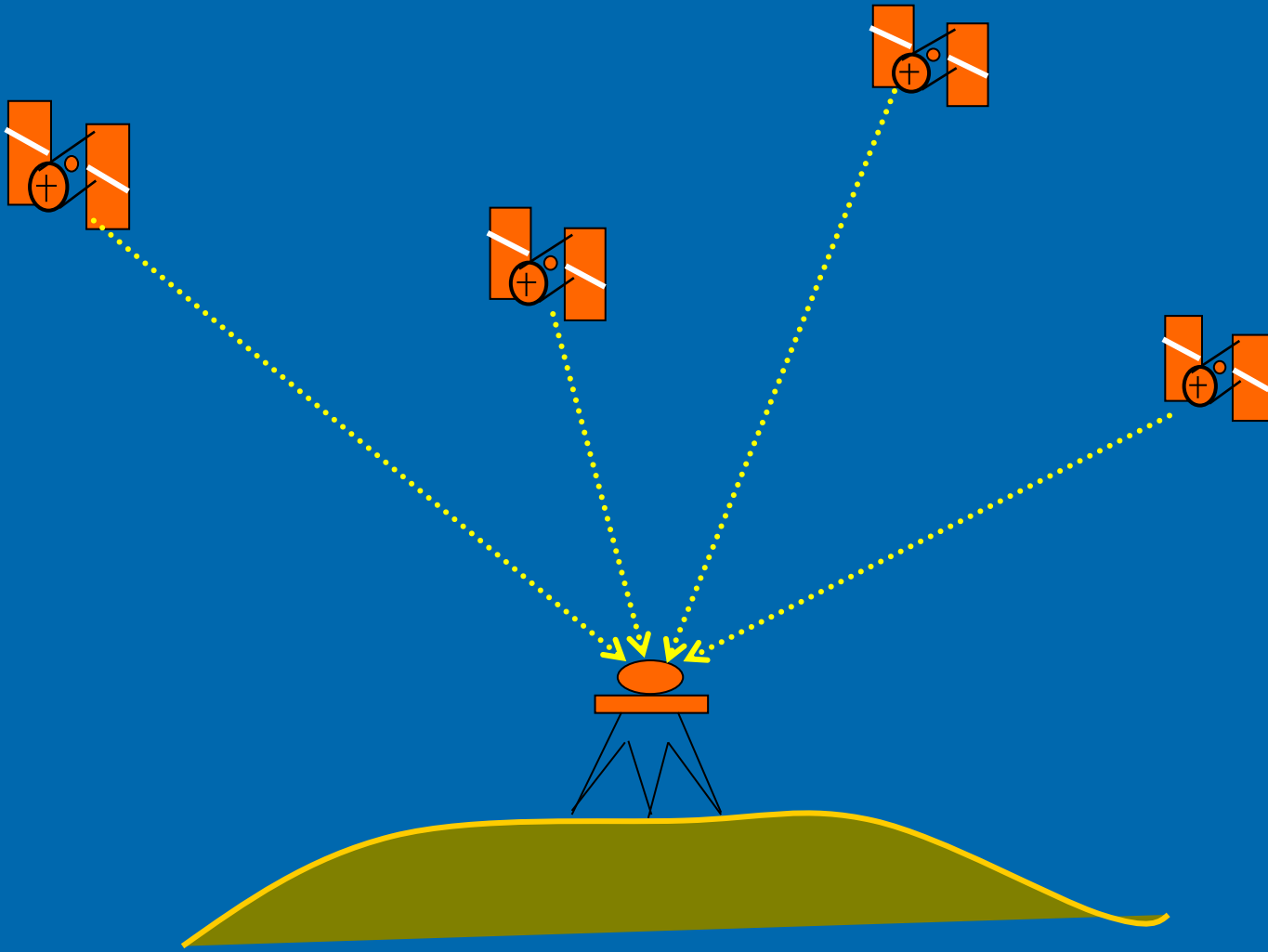
Geometri & GPS Doğruluğu

- Birbirine çok yakın uyuar = kötü geometri
- ölçülen Duyarlılığın konum bozukluğu (Position Dilution of Precision) (PDOP):
 - PDOP >6 birçok uygulama için kötü/uygun olmayan geometri
- Alıcının kurulması kilit nokta

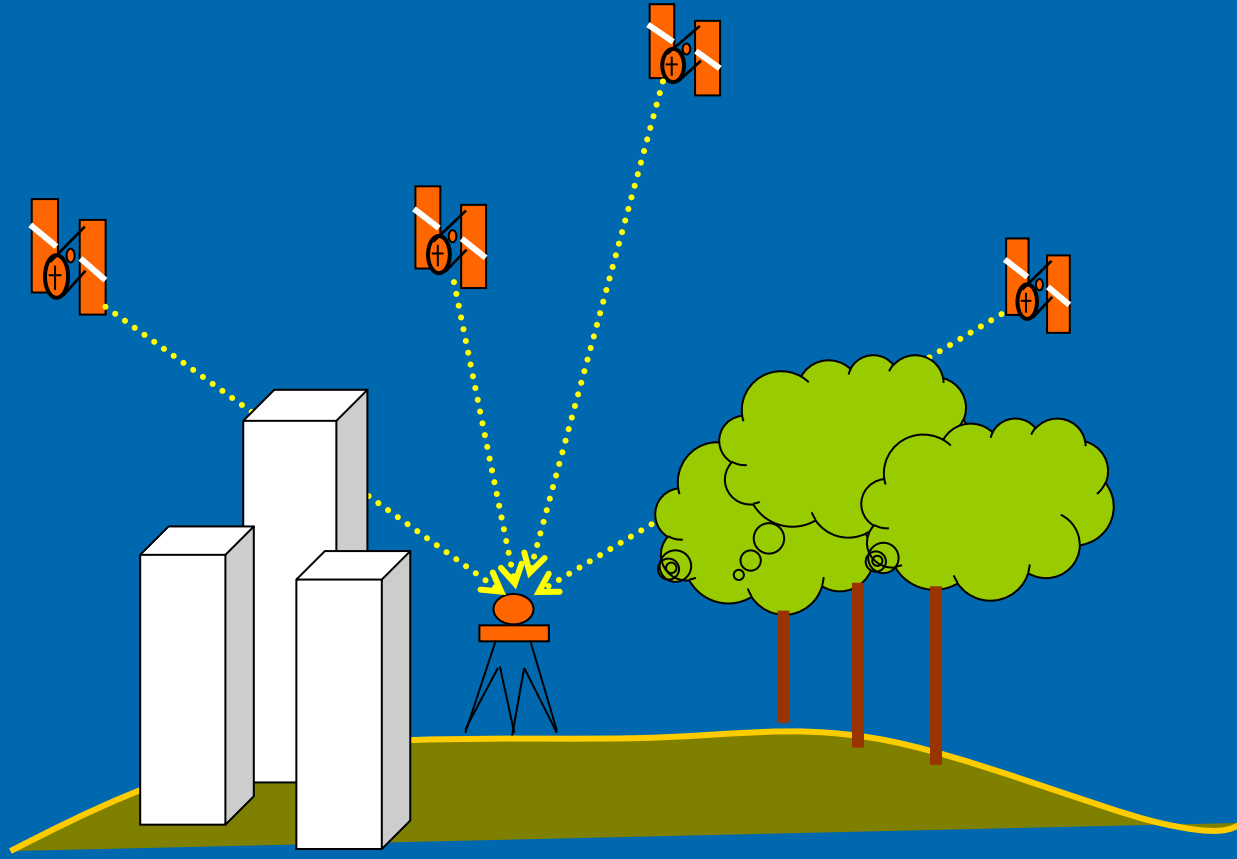




Uydular gökyüzünde küçük bir hacim meydana getiriyor.

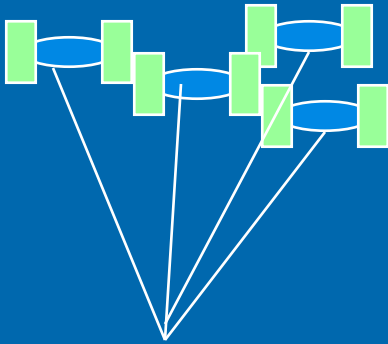


Uydular gökyüzünde büyük bir hacim meydana getiriyor.



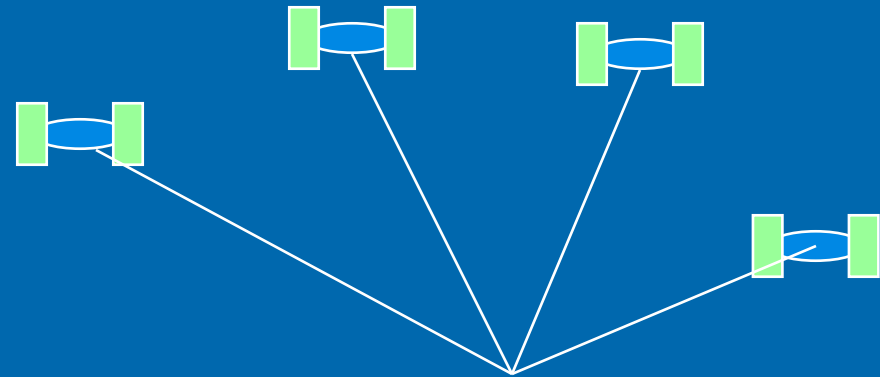
**Ölçü sırasında iyi GDOP ve iyi görünebilirlik olmalıdır.
...bu her zaman mümkün olmayabilir.**

PDOP
HDOP



Uydular bir arada Toplanmış
PDOP kötü > 6

Position Dilution of Precision
Horizontal Dilution of Precision



Uydular geniş alana yayılmış
PDOP iyi < 3

GPS ile Konum Belirlemede Temel İlkeler

- GPS ile konum belirleme uydu-alıcı uzaklıklarının hesabına dayanan bir uzay geriden kestirme problemidir. Uydudan alınan sinyallerle uydu-alıcı uzunlukları hesaplanır.

Uydu-alıcı uzaklığı (pseudorange),

$$\rho_P^{SV} = c \cdot \Delta t \quad \text{eşitliğinden hesaplanır}$$

4 uydu alıcı saat hatasının giderilmesi için kullanılmaktadır.

GPS ile konum belirlemede navigasyon hizmetleri iki farklı kullanıcı seviyesinde sunulmaktadır. Birincisi standart konum belirleme hizmeti (SPS), diğeri duyarlı konum belirleme (PPS) hizmetidir. PPS yüksek doğrulukta konum, hız ve zaman belirleme hizmeti olup askeri kullanıcılara açıktır. SPS ise tüm kullanıcılara açıktır, doğruluğu daha düşüktür.

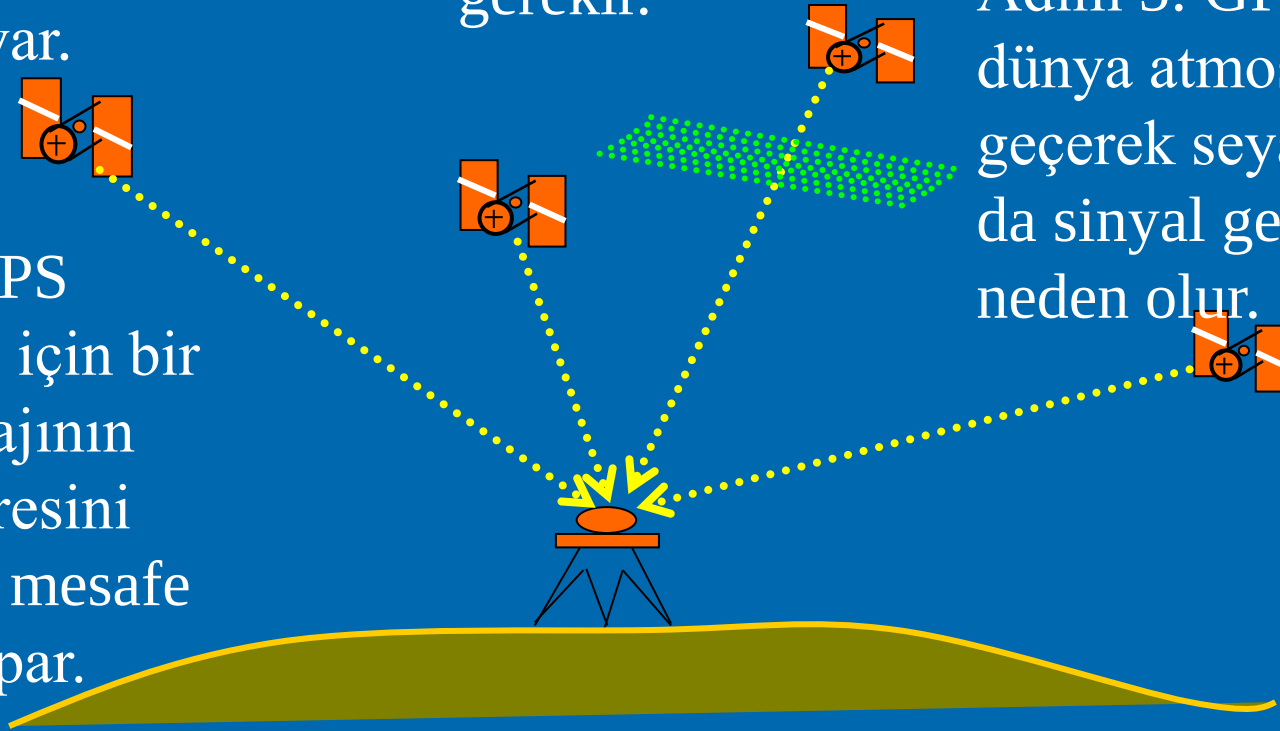
GPS nasıl çalışır?

Adım 3: Seyahat süresinin ölçümü için GPS çok hassas saatlere ihtiyaç duyar.

Adım 2: GPS üçgenleme için bir radyo mesajının seyahat süresini kullanarak mesafe ölçümü yapar.

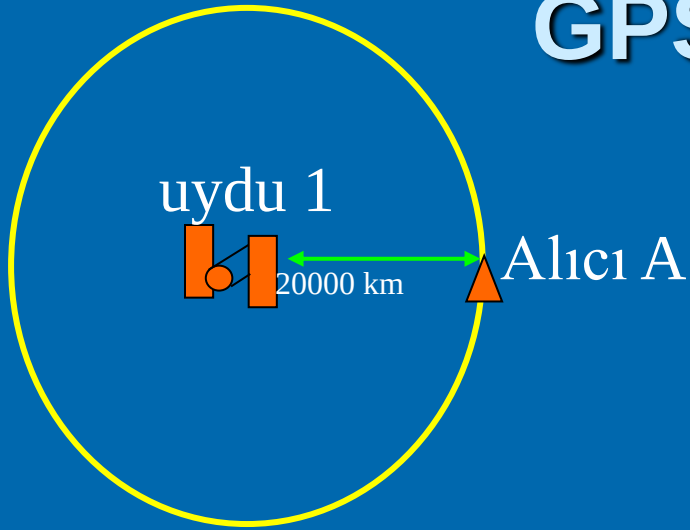
Adım 4: bir uyduya olan mesafe bilindiğinde bu sefer o uydunun uzaydaki konumunun bilinmesi gerekir.

Adım 5: GPS sinyali dünya atmosferinden geçerek seyahat eder, bu da sinyal gecikmelerine neden olur.

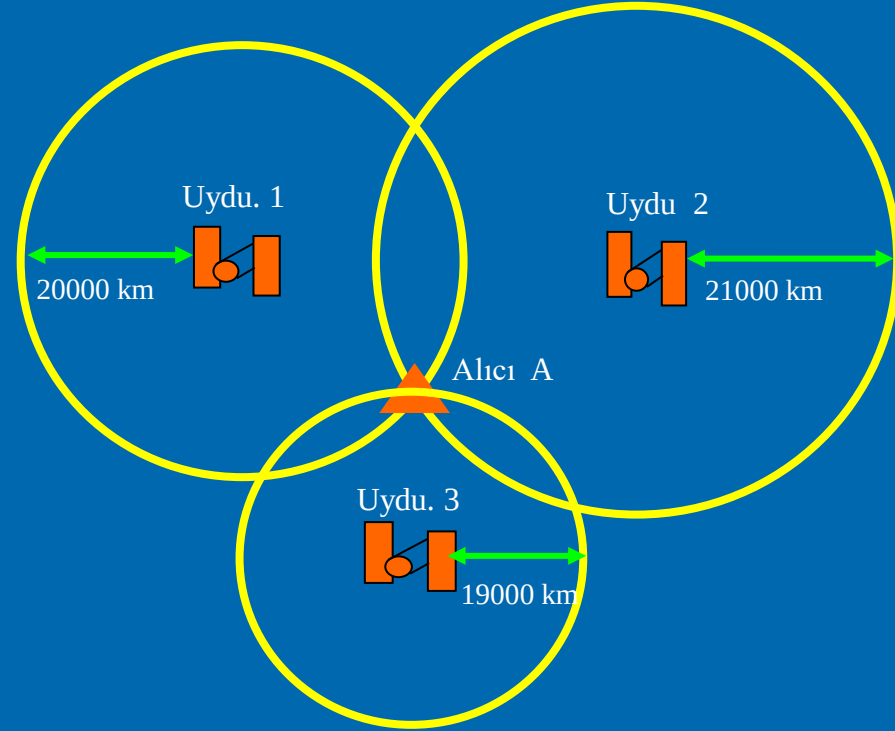


Adım 1: uydulardan üçgenleme GPS sisteminin temelidir

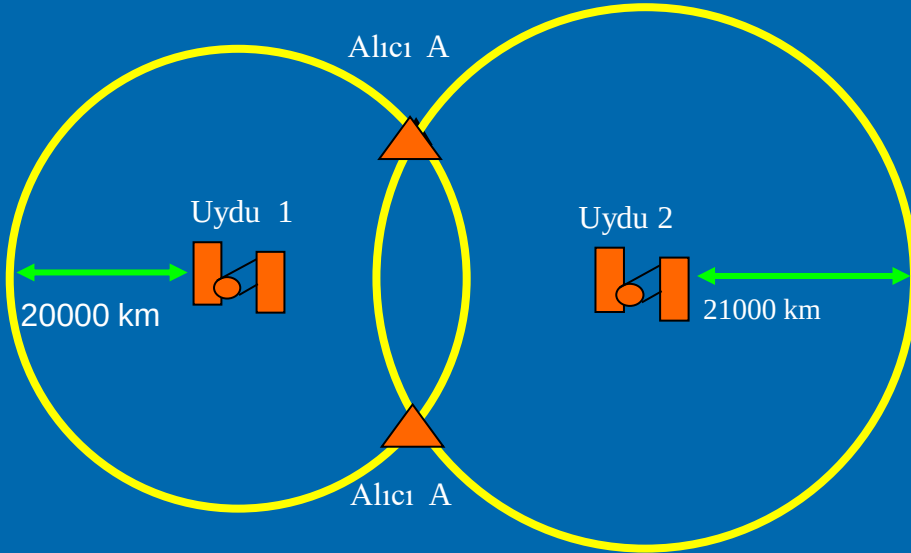
GPS konumlama



Alıcı A 20000km yarıçaplı bir çemberin herhangi bir noktasında olabilir.



Bilinir üç uzunluk Alıcı A için tanımlı bir konum verir.



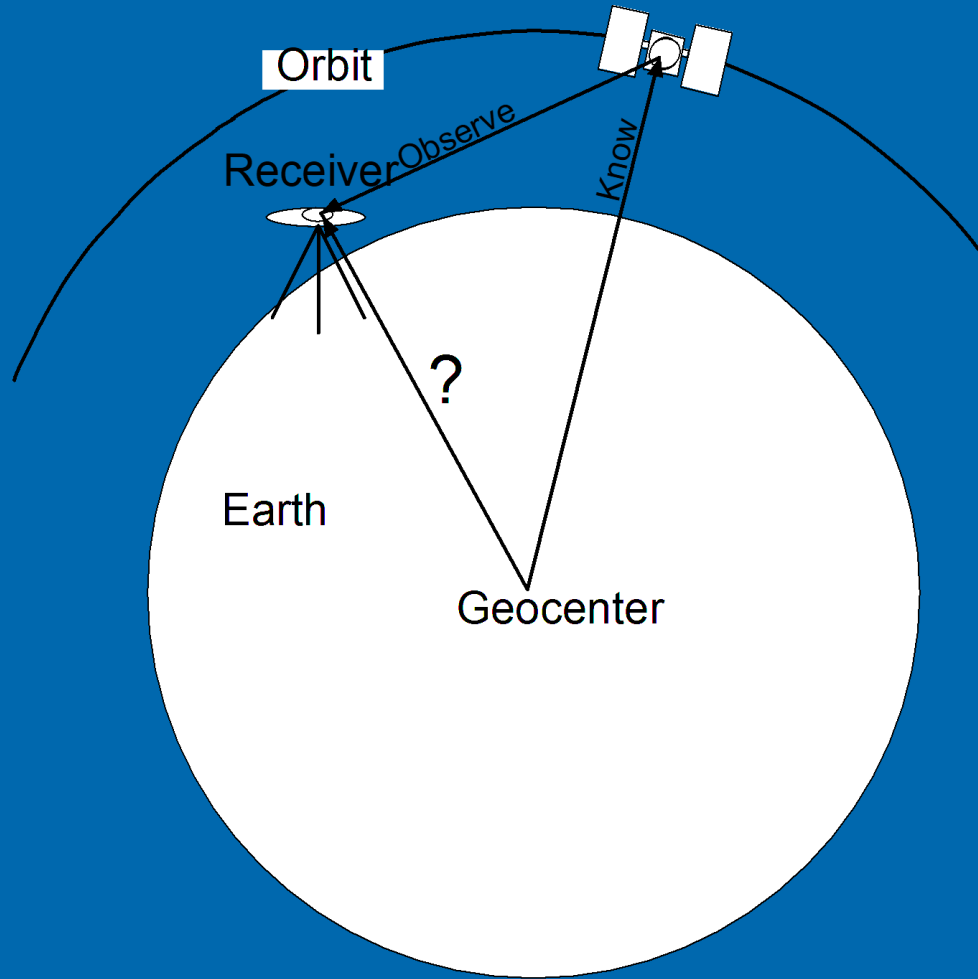
Alıcı A farklı yarıçaplı iki çemberin kesim noktalarından ikisinde de olabilir

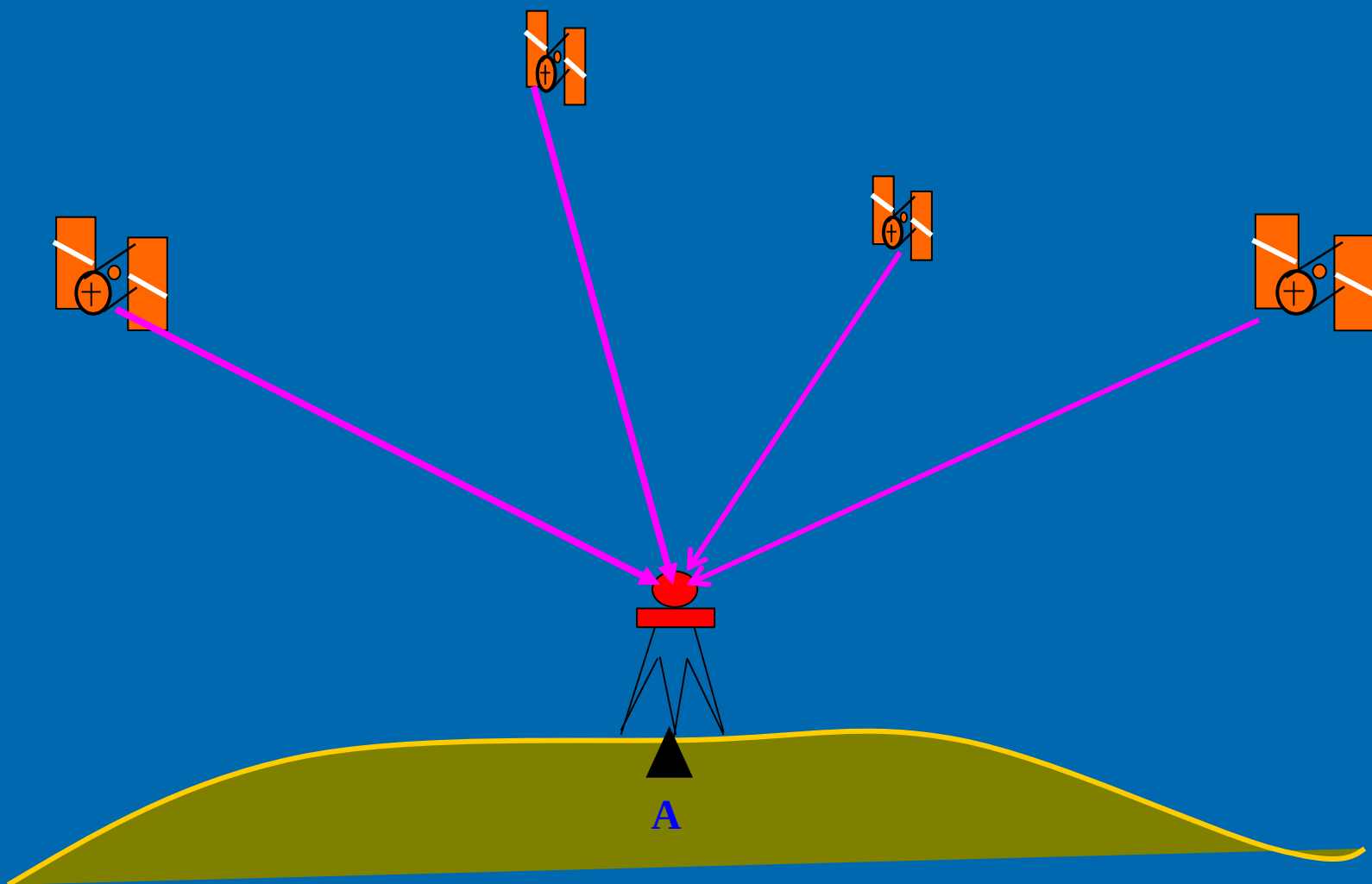
Konum Belirleme Yöntemleri

Mutlak Konum Belirleme

- Mutlak konum belirlemede tek bir alıcı ile 4 ya da daha çok uydudan kod gözlemleri yapılarak nokta koordinatları belirlenmektedir.
- Uzay geriden kestirme ile noktanın koordinatları belirlenir.
- Alıcı koordinatları kod bilgisine (P kod ve C/A kod) ve uydu geometrisine bağlı olarak anında ve mutlak anlamda belirlenmektedir.
- Bu yöntem alıcının sabit olması durumunda **statik**, hareketli olması durumunda ise **kinematik** konum belirleme olarak tanımlanmaktadır.
- Günümüzde mutlak konum belirleme ile birkaç metre doğruluğunda konum bilgisi elde edilebilmektedir.

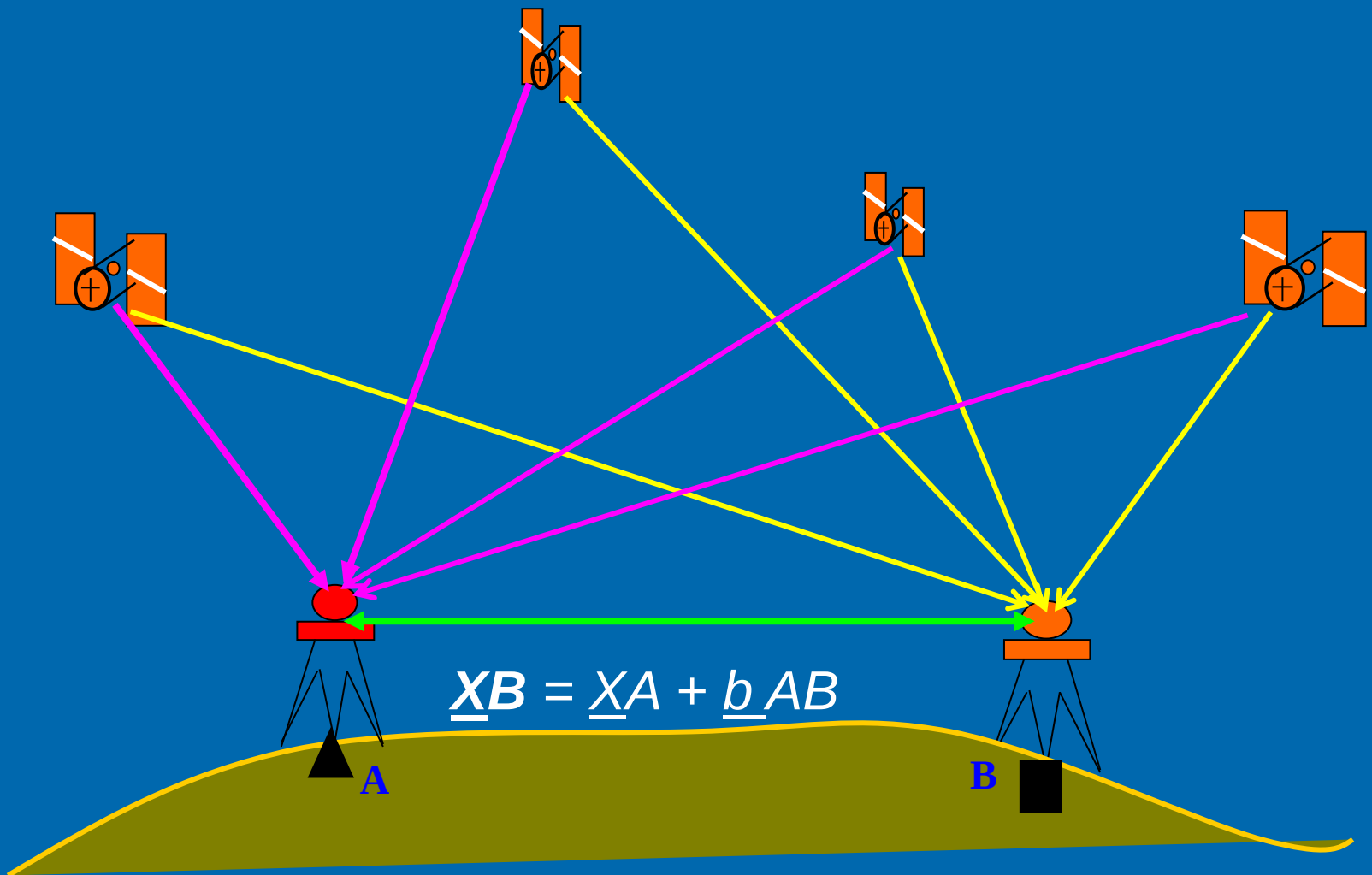
Satellite Positioning





Bağıl (Rölatif) Konum Belirleme

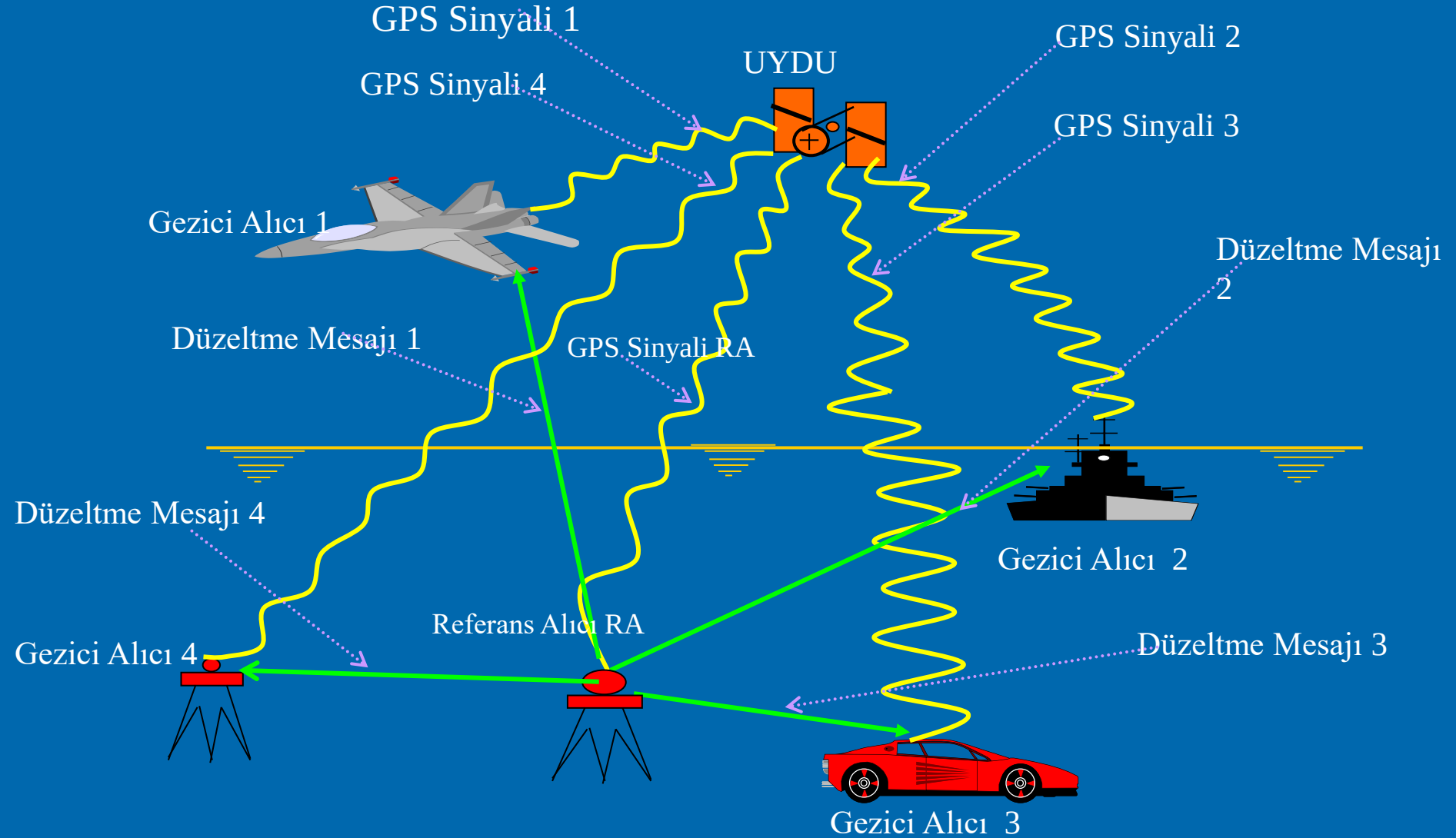
- Bağıl konum belirleme, koordinatları bilinen bir noktaya göre diğer nokta veya noktaların koordinatlarının belirlenmesidir. Başka bir deyişle bağıl konum belirleme ile iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir.
- Bağıl konum belirlemede iki ayrı noktada kurulmuş iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod veya faz gözlemi söz konusudur. Bağıl konum belirleme ile elde edilen doğruluk mutlak konum belirlemeden çok daha iyidir. Doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir



Diferansiyel Konum Belirleme

- DGPS 'te öncelikle referans noktasında bulunan alıcılardan elde edilen uzunlukların düzeltmeleri hesaplanır.
- Referans noktasının ve uyduların konum koordinatları bilindiği düşünülürse, bu düzeltmeler hesaplanan uzunluğun ölçülen uzunluktan olan farklarıdır.
- Bu düzeltmeler ölçme anında alıcının görüş alanına giren her GPS uydusu için farklı değerlerdedir.
- Elde edilen bu düzeltmeler her bir referans noktasından radyo sinyalleri ile yayımlanır.
- DGPS alıcısı taşıyan gemiler, otomobiller, uçaklar, vb. de bu sinyalleri toplayarak referans noktasına ait DGPS düzeltmelerini alırlar.
- Daha sonra taşıtlar üzerinde bulunan DGPS alıcısının görüş alanına giren uydulara olan uzunluklara bu düzeltmeler getirilerek, DGPS düzeltmesi getirilmiş uzunluklar belirlenir.
- Elde edilen bu uzunluklar ve uydulara ait yörünge verileri kullanılarak bu taşıtların ölçme anındaki konumu hesaplanır.

Diferansiyel GPS (DGPS)

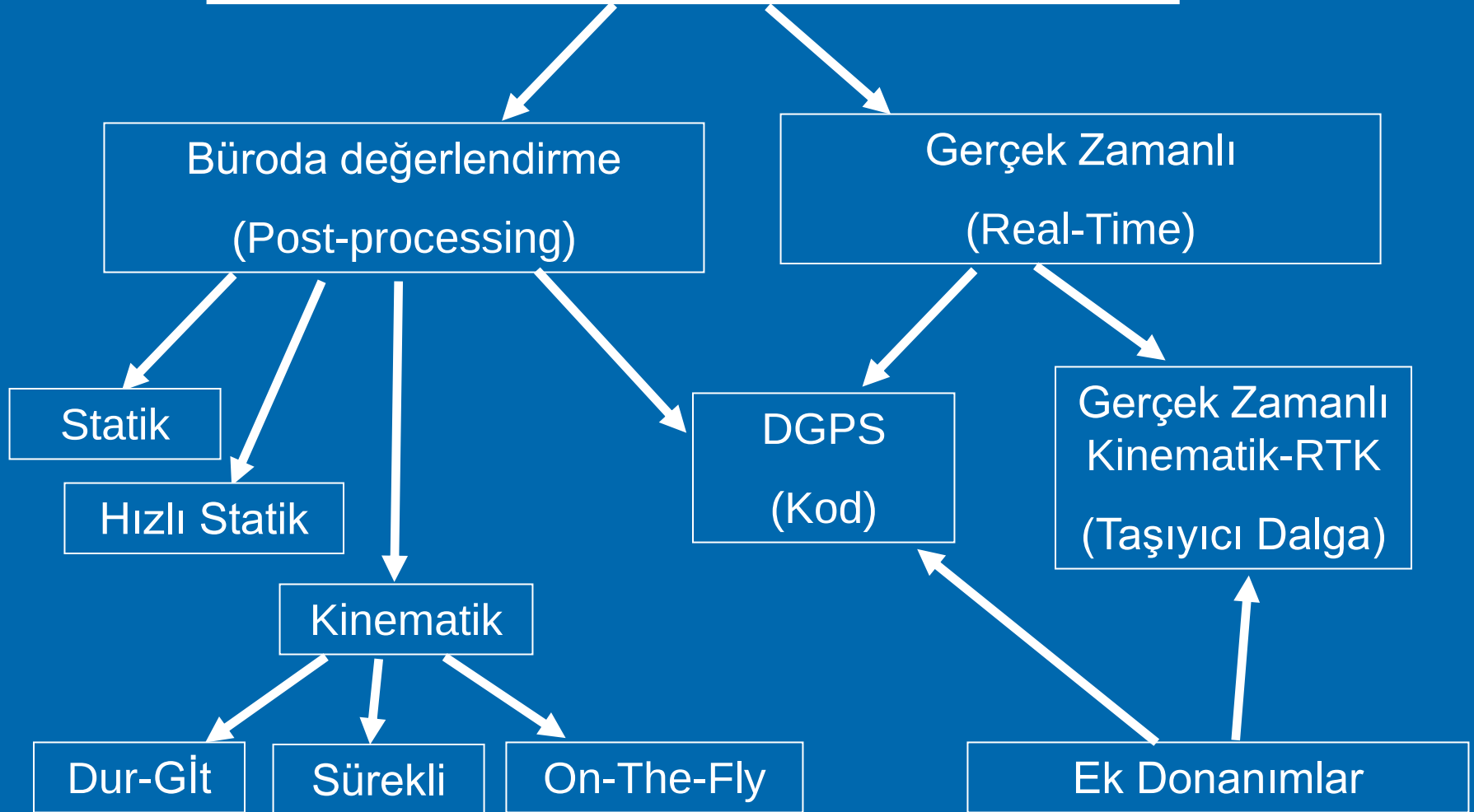


GPS ile Ölçme Yöntemleri

Mühendislik çalışmalarında daha duyarlı sonuçlara gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle faz gözlemleri kullanılmaktadır. Faz gözlemleri kullanılarak bağıl konum belirleme için beş farklı yöntem vardır.

- Statik Ölçü Yöntemi
- Hızlı Statik Ölçü Yöntemi
- Tekrarlı Ölçü Yöntemi
- Dur-Git Ölçü Yöntemi
- Kinematik Ölçü Yöntemi

GPS İLE KONUM BELİRLEME



Statik Ölçü Yöntemi

- Statik ölçü yöntemi klasik bir GPS ölçü tekniği olup, 20km'den uzun bazların çözümünde kullanılır.
- Bu yöntem birden çok alıcı ile eşzamanlı olarak yapılan ve ölçü süresi noktalar arası uzaklığa bağlı olarak değişen oldukça duyarlı sonuçlar veren bir yöntemdir.
- Ölçü süresi uzundur ve baz uzunluğu ile orantılıdır.
- Çok yüksek doğruluk istendiğinde,
- Yerkabuğu hareketlerinin araştırılmasında,
- Ülke nirengi ağlarının güncelleştirilmesinde,
- Mühendislik yapılarındaki deformasyonların belirlenmemesinde,
- Mevcut uydu geometrisi başka bir ölçüm tekniğine olanak sağlamadığında,
- Düzenli etkilerin göz önüne alınması durumunda (örneğin iyonosfer ve troposfer), en iyi yöntemdir.
- Sadece L_1 taşıyıcı sinyali ile yapılan rölatif statik ölçmelerde yatayda 0.02 m düşeyde 0.03 m, L_1 ve L_2 sinyalleriyle yapılan rölatif statik ölçmelerde yatayda 0.005 m düşeyde 0.02 m doğruluk elde edilebilmektedir.

Hızlı Statik Yöntem

- Statik bir ölçü yöntemi olup, çok daha kısa süreli ölçülerle duyarlı sonuçların alınması nedeniyle ekonomik önem taşımaktadır.
- Genel olarak alıcılardan birisi referans noktasında sabit bırakılarak sürekli gözlem yaparken, diğer bir alıcı öteki noktalara çok kısa süreler için kurularak eş zamanlı gözlemler yapılır.
- Ülke nirengi ağlarının sıklaştırılmasında ve dizi nirengi çalışmalarında yeterli doğruluğu veren bir yöntemdir.
- Bu yöntemde ölçü süresi noktalar arası uzaklığa ve uydu geometrisine bağlıdır.
- Uydu sayısı arttıkça aynı uzunluktaki bazda ölçü süresi azaltılabilir.
- Bu yöntem kısa sürede çok sayıda noktanın doğru ve ekonomik olarak ölçülmesi durumlarda iyi bir yöntemdir.

- 20km'ye kadar olan bazlar için uygundur.
- Gözlem süresi daha kısadır.
- Bu yöntemde bir alıcı, konumu bilinen nokta üzerindedir, diğeri (rover) koordinatı bilinmeyen noktalar üzerinde 5-15 dk bekletilerek gezdirilir.
- Güvenilirliği arttırmak için 2 sabit alıcıdan iki vektör ile ya da 1 alıcıdan iki farklı zamanda 2 vektör ile noktaya ulaşılmalıdır.

Kinematik Yöntem

- Kinematik rölatif konumlamada, bir referans noktasındaki alıcı sürekli sabit kalır.
- İkinci alıcı ise hareketlidir.
- Burada en önemli unsur tamsayı bilinmeyeninin belirlenmesidir.
- Bu bakımdan başlangıçta bir müddet statik ölçü yapılmalıdır.
- Hareketli alıcıda uydu sayısı 4'ün altına düştüğü takdirde tamsayı bilinmeyeni yeniden belirlenmelidir.
- Bu yöntem genellikle kısa baz uzunluklarına sahip poligon kenarları ve halihazır alımındaki detay noktaların ölçümünde kullanılmaktadır.

- C/A koduyla yapılan tam kinematik ölçmelerde yatayda 2-5 m düşeyde 3-8 m,
- Sadece L_1 sinyali ile tam kinematik ölçmelerde yatayda 0.03 m düşeyde 0.05 m ,
- L_1 ve L_2 taşıyıcı sinyalleri ile tam kinematik ölçmelerde yatayda 0.01 m düşeyde 0.02 m,
- C/A kodu ile gerçek zamanlı (real-time) diferansiyel konumlamada yatayda 3-5 m düşeyde 4-8 m,
- C/A kodu ile gerçek zamanlı tam kinematik ölçmelerde yatayda 2-5 m düşeyde 3-8 m,
- Sadece L_1 sinyali ile gerçek zamanlı tam kinematik ölçmelerde yatayda 0.1 m düşeyde 0.2 m,
- L_1 ve L_2 taşıyıcı sinyalleri ile gerçek zamanlı tam kinematik ölçmelerde (RTK) yatayda 0.05 m düşeyde 0.1 m doğruluk elde etmek mümkündür.

Real-Time Kinematik GPS (RTK GPS)

- RTK metodu ölçüm prensibi olarak DGPS' e benzer.
- Fakat bu yöntem kod ölçüsünden farklı olarak taşıyıcı dalga faz gözlemlerini kullanır.
- RTK ile $\pm 2-3$ cm ile konum belirlemek mümkündür.
- Yine RTK metodu ile koordinatları ister lokal bir sistemde isterse ülke sisteminde verilmiş olsun bir noktanın araziye uygulaması yine $\pm 2-3$ cm' lik bir hassasiyetle yapılabilir.
- Bu ölçü yönteminde Statik ve Kinematik GPS ölçü yöntemlerinde kullanılan donanımdan farklı olarak sabit istasyonda, hesaplanan düzeltmeleri yayımlayan bir radyo vericisi ve gezici birimde de gönderilen radyo sinyallerini alan bir radyo alıcısı kullanılır.

- Bu ölçü yöntemi haritacılık alanında yeni bir dönem olarak kabul edilebilir.
- Çok uzun zaman ve ön çalışma gerektiren aplikasyon işleri çok kısa bir sürede yapılabilmektedir.
- Hassas sonuç alınabilmesi için en az 5 uydudan veri toplanması gerekmektedir.
- 4 uyduya bağlanıldığında da yöntem sonuç verir fakat bu durumda tamsayı belirsizliğinin (N) belirlenme süresi uzayacaktır.
- En az 5 uyduya bağlanma şartı ağaçlık alanlarda ve yüksek binaların bulunduğu kent merkezlerinde sağlanmayabilir. Bu durum sistemin buralarda kullanılabilme olasılığını azaltacaktır.
- RTK GPS tekniği ile cm mertebesinde elde edilen doğruluk, pek çok haritacılık uygulamaları için yeterli olmaktadır.

Ölçü Yöntemi	Baz Ölçüm Doğruluğu	Oransal doğruluk sınırları
Statik	5 mm + 1 ppm	1/100000 – 1/5000000
Hızlı-Statik	5-10 mm + 1 ppm	1/100000 – 1/1000000
Dur-Git	1-2 cm + 1 ppm	1/100000 – 1/1000000
Tekrarlı Ölçü	5-10 mm + 1 ppm	1/ 50000 – 1/ 500000
Kinematik	1-2 cm + 1 ppm	1/100000 – 1/1000000