

GNSS TEKNIĞİ



GPS
GLONASS
GALILEO

GPS'de Kullanılan Zaman Sistemleri

Uydu jeodezisinde 3 farklı zaman sistemi kullanılmaktadır. Bunlar; dinamik zaman, atomik zaman ve yıldız zamanı sistemleridir.

Dinamik Zaman Sistemi

- Yerçekimi etkisindeki cisimlerin belli bir yerçekimi teorisine göre belli bir referans sistemindeki hareketlerini tanımlamak için kullanılmaktadır.
- GPS uydu yörüngelerinin hesaplanmasında kullanılan dinamik zaman sistemine Yersel Dinamik Zaman Sistemi denilmektedir.

Atomik Zaman

- Bilimsel çalışmalarda temel zaman ölçeği olarak Uluslararası Atomik Zaman kullanılmaktadır.
- Atomik zaman sürekli bir zaman ölçeğidir.
- Atomik zaman ile GPS zamanı arasında 19 saniyelik bir kayıklık vardır.

➤ Yıldız Zamanı

- Yıldız zamanı yerin dönmesi ile ilişkilidir.
- Atomik saatler yokken eski dönemlerde zaman ölçüsü için yerin dönüşü temel alınıyordu.
- O zamanlar yıldız ve universal zaman sistemleri arasında dönüşüm yapabilen iki zaman sistemi kullanılıyordu.
- Yıldız ve UT zaman sistemleri atomik zaman ölçeği ile karşılaştırıldığında çok düzensiz

➤ Jülyen Gün ve Hesabı

Jülyen günü JD, 1 Ocak 4713 (MÖ) 12.00 UT epokundan itibaren geçen ortalama güneş günü sayısıdır.

GPS' de Kullanılan Uydu Yörüngeleri

GPS uyduları dünyanın etrafında belli bir elips yörüngesi üzerinde dönmektedir. Uydular yörüngede hareket ederken yerin gravite alanının çekim etkisinde kalırlar. Bu yörünge hareketi yerin çekim etkisi ve diğer birçok kuvvetin (ayın ve güneşin çekim etkisi) etkisinin bir sonucudur.

➤ Keppler Yörünge Elemanları

Johannes Keppler' in 1609 ve 1619 yıllarında güneş ve gezegenlere ait varsayımları günümüzde "Keppler Yasaları" olarak bilinmektedir.

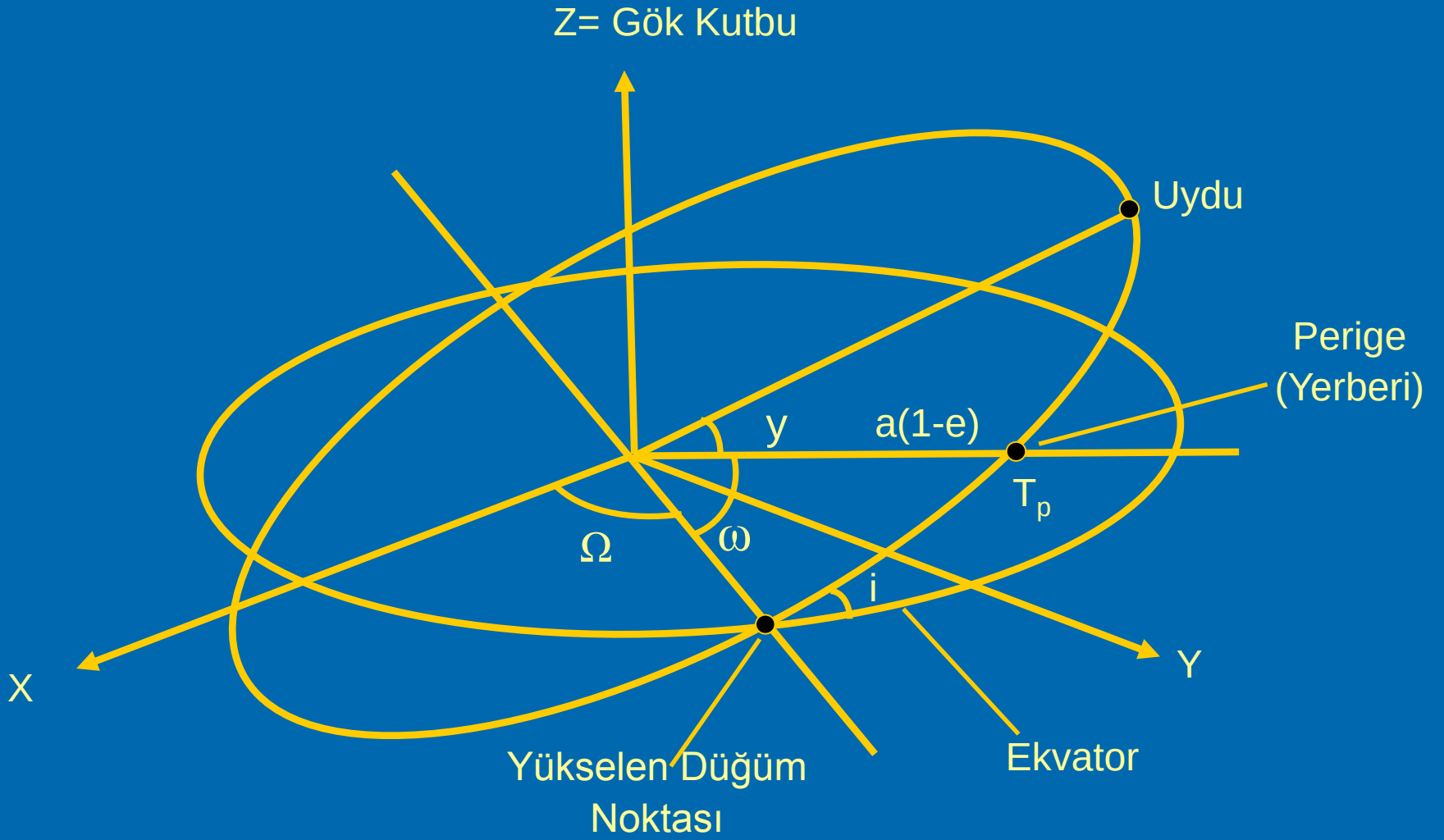
Kepler yasalarına göre:

- Gezegenler, güneş etrafında dolanırken bir elips çizerler (yörünge elipsi). Güneş yörünge elipsinin odak noktalarının birindedir.
- Güneşle gezegenin ağırlık merkezini birleştiren doğru eşit zamanlarda eşit alanlar süpürür.
- Bir gezegenin tam dolanım süresi (periyot) P , yörünge elipsinin büyük yarı eksen yarıçapı a ise

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{P_1^2}{P_2^2}$$

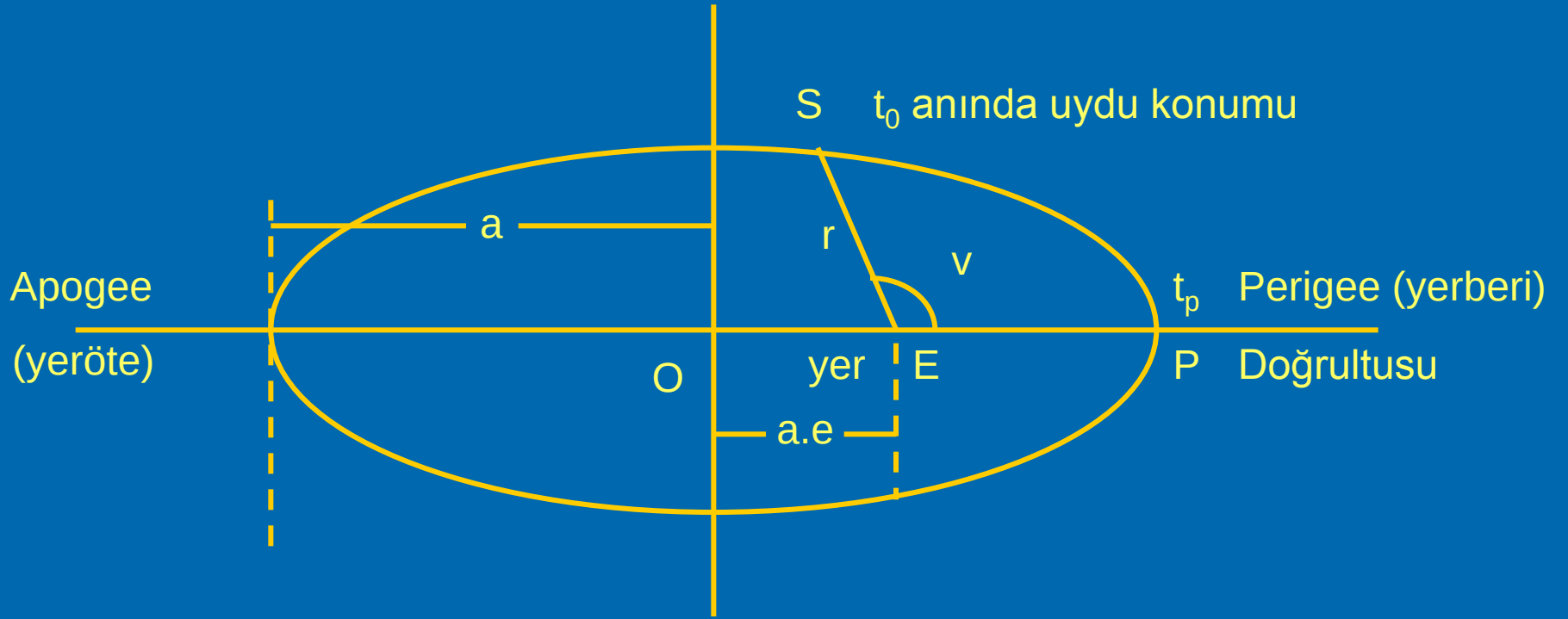
- Kepler yasaları büyük oranda yer etrafında hareket eden uydular için de geçerlidir.
- Bu nedenle güneş yerine “yer”, gezegen yerine “uydu” kullanılabilir.
- Kepler elemanları olan (a, e, Tp) yörüngenin **şekl**ini belirtmektedir.
- Diğer üç eleman (i, Ω, w) ise yörüngenin ECEF **koordinat sisteminde** yönlendirilmesini sağlamaktadır.
- Aşağıdaki tablo yapay uydular için yörünge elemanlarını,
- Aşağıdaki şekil gök koordinat sistemine göre yörünge düzlemindeki Kepler elemanlarını göstermektedir.

Parametre	Açıklaması
Ω	Yükselen düğüm noktasının rektesasyonu olup ekvator düzleminde ölçülür (radyan).
i	Uydu yörüngesinin ortalama ekvator düzlemine göre eğimi (radyan).
w	Perigee konumu (perigee ile yükselen düğüm noktası arasındaki açı olup, uydu hareketi yönünde ve yörünge düzleminde ölçülür (radyan)).
a	Yörünge elipsinin büyük yarı eksenini (m)
e	Elipsin dışmerkezliği
T_p	Perigee geçiş anı



Uydu Yörünge Hareketi

- Newton kanunları :
- Bir cisme mevcut durumunu değiştirecek bir kuvvet etki etmezse cisim ya hareketsizdir ya da düzgün doğrusal hareketine devam eder (eylemsizlik özelliği).
- Bir cismin ivmesi cisme uygulanan kuvvetle doğru orantılıdır ve uygulanan kuvvet ivme ile aynı yöndedir.
- İki cismin karşılıklı olarak birbirlerine etki ettikleri kuvvetler her zaman eşit fakat zıt yöndedir.

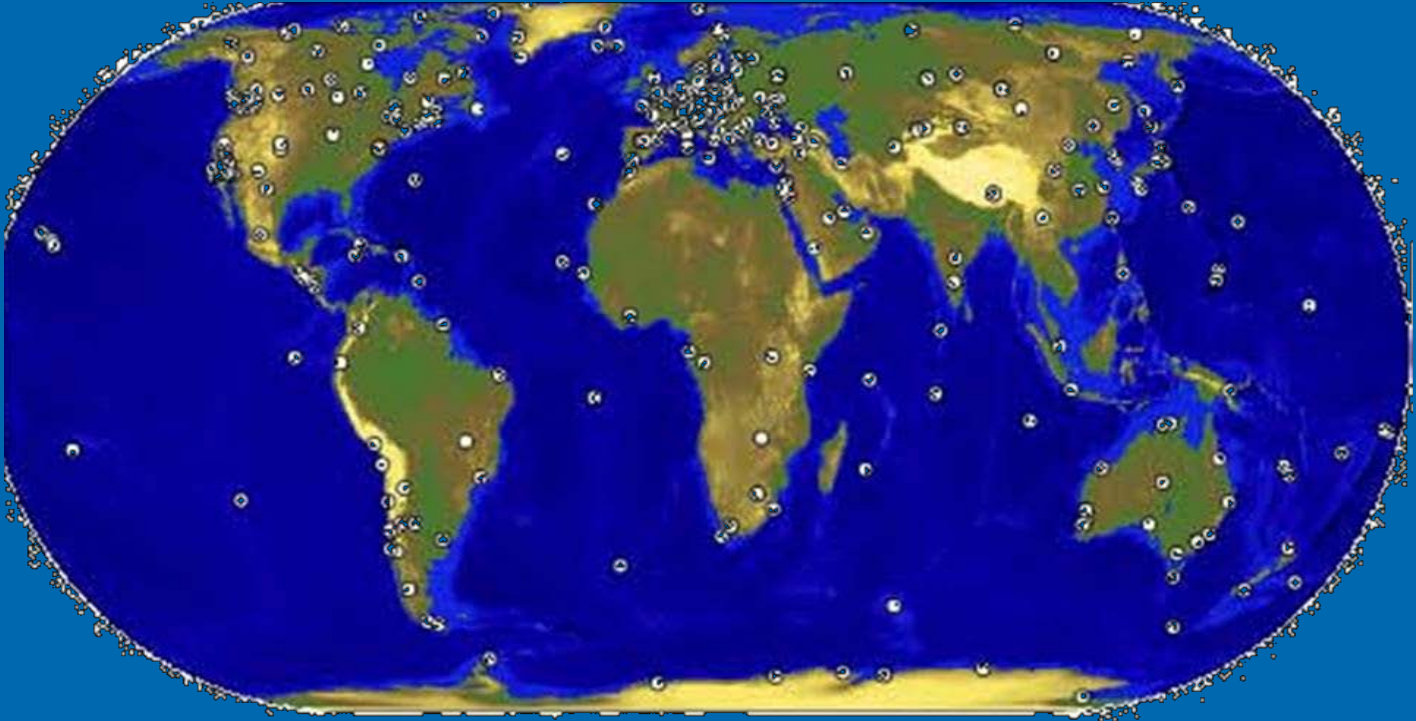


GPS Uydu Yörüngeleri

- Anlık konum belirlemede yayın (broadcast) efemerisi ve saat bilgileri kullanılmaktadır.
- Ölçü sonrası değerlendirmede duyarlı GPS yörünge ve saat bilgilerinin kullanılması tercih edilir.
- Hesaplanan duyarlı yörünge ve saat bilgileri internet aracılığı ile tüm kullanıcılara ücretsiz sunulmaktadır.

ULUSLARARASI GPS SERVİSİ – IGS

- Dünya çapında 200'den fazla sivil kurum ve kuruluş tarafından oluşturulmuş “sabit GPS (ABD) & GLONASS (Rusya) istasyonları ağı”nı işleterek elde ettiği verileri analiz eden ve internet yoluyla kullanıcılara dağıtan bir organizasyondur.
- Standartları belirlemek amacıyla kurulmuştur.
- Verileri arşivler,
- GPS uydularının yörüngelerini hesaplar,
- GPS ile yer dönme parametreleri ve nutasyon serilerini hesaplar.



30 Kasım 2006 itibariyle, dünya üzerinde 333'ü aktif olmak üzere toplam 379 istasyon bulunmaktadır.
Ülkemizde bu ağına bağlı 4 istasyon bulunmaktadır:

- Ankara (ANKR)
- Trabzon (TRAB)
- Gebze (TUBI)
- İstanbul (ISTA)



Uluslararası GNSS Servisi (IGS)

<http://www.igs.org/>

&

<https://www.igscb.org/> (New)



Temel Misyon;

- ✓ Çok disiplinli uygulamalar için konumlama, navigasyon ve zamanlama hizmeti sağlamak
- ✓ Standartlaşmış yüksek kalitedeki GNSS veri ve ürünleri oluşturmak, arşivlemek
- ✓ Gerçek zamanlı uygulamalar ile ölçü sonrası analizler için sunmak

Veri ve Analiz
Merkezleri

Çalışma
Grupları

Pilot
Projeler

500'den fazla sabit GNSS referans istasyonu

Mart 2020 itibariyle 509 sabit GNSS referans istasyonu IGS ağında yer almaktadır.

- Verileri, Global Data Centers olarak adlandırılan merkezler barındırmaktadır. Bunlar:
 - Crustal Dynamics Data Information System, ABD (CDDIS)
 - Institut Géographique National, FR (IGN)
 - Scripps Institution of Oceanography, ABD (SIO)
 - Korean Astronomy and Space Science Institute, KR (KASI)
- Bölgesel ve diğer veri merkezleri (GA, SOPAC gibi) ile ilgili detaylı bilgiye
- **<http://igscb.jpl.nasa.gov/organization/centers.html>** adresinden ulaşılabilir.
- IGS verileri RINEX formatında yayınlanır. Her GPS yazılımı farklı formatta veri değerlendirmektedir. Rinex ile bunlar arasında dönüşüm mümkündür.



IGS Ürün Profili

- ☐ GPS/GNSS uydu efemerisleri
- ☐ Uydu ve istasyonlara ait saat bilgileri
- ☐ Yeryuvarı dönme parametreleri
- ☐ İzleme ağına ait istasyonların koordinat ve hız bilgileri
- ☐ Troposferik zenit yolu gecikme kestirimleri
- ☐ Global iyonosfer haritaları

Farklı kategorilerde, doğruluk seviyelerinde, farklı gecikmeler ve örneklem aralıkları kullanıcılara sunmaktadır.

- final ürünler (IGS)
- rapid ürünler (IGR)
- ultra-rapid ürünler (IGU)

IGS GPS uydu efemerisleri, uydu ve istasyon saat düzeltmeleri

Ürünler&Düzeltilme Bilgileri Türü	Parametre	Doğruluk	Gecikme	Örnekleme Aralığı
Yayın (Broadcast)	Yörüngeler	~ 100 cm	Gerçek zamanlı	Günlük
	Uydu Saatleri	~ 5 cm RMS ~ 2.5 ns Std.Sp.		
Ultra Rapid (kestirilen)	Yörüngeler	~ 5 cm	Gerçek zamanlı	15 Dakika
	Uydu Saatleri	~ 3 ns RMS ~ 1.5 ns Std.Sp.		
Ultra Rapid (hesaplanan)	Yörüngeler	~ 3 cm	3 - 9 saat	15 dakika
	Uydu Saatleri	~ 150 ps RMS ~ 50 ps Std.Sp.		
Rapid	Yörüngeler	~ 2.5 cm	17 - 41 saat	15 dakika
	Uydu&İstasyon Saatleri	~ 75 ps RMS ~ 25 ps Std.Sp.		5 dakika
Final	Yörüngeler	~ 2.5 cm	12 - 18 gün	15 dakika
	Uydu&İstasyon Saatleri	~ 75 ps RMS ~ 20 ps Std.Sp.		Uydu: 30 saniye İstasyon: 15 dak.

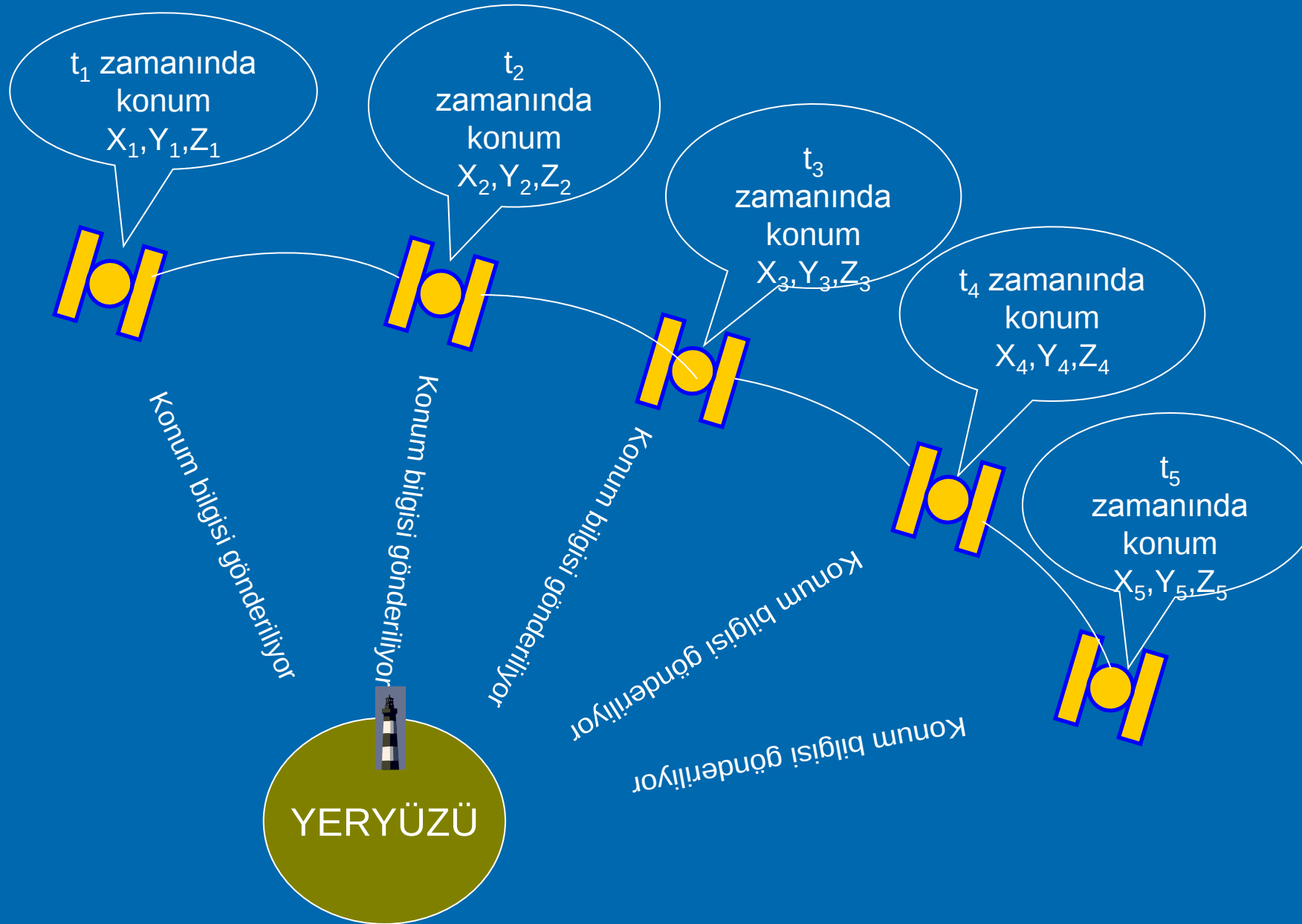
IGS GLONASS uydu efemerisleri

Ürünler&Düzeltilme Bilgileri Türü	Parametre	Doğruluk	Gecikme	Örnekleme Aralığı
Final	Yörüngeler	~ 3 cm	12 - 18 gün	15 dakika

Yayın Efemerisi (Broadcast Efemeris)

- Yer izleme istasyonları tarafından önceden tahmin edilerek uydulara gönderilen ve uydu sinyalleri ile yayınlanan uydu konum bilgileridir.
- Yayın efemeris bilgileri GPS kontrol bölümü izleme istasyonlarından toplanan kod (pseudorange) gözlemlerine dayalı olarak üretilirler.
- Anlık olarak yayınlanır ve yaklaşık 12-36 saatlik süre için geçerlidir.
- 6 izleme istasyonundan toplanan verilerle 5-10 m lik bir yörünge doğruluğu elde edilmektedir.
- WGS84 sistemindedir.

YAYIN EFEMERİSİ (BROADCAST EPHEMERİS)



HASSAS EFEMERİS (PRECISE EPHEMERIS)

- Pratik amaçlı jeodezik konum belirleme için yayın efemerisi yeterlidir.
- Daha hassas sonuç gerektiren işlerde hassas efemeris kullanılması ile doğruluk arttırılabilir.
- Hassas efemeris, dünya yüzeyine dağılmış çok sayıda istasyondan elde edilen uydu verilerinin değerlendirilmesi ile (post processing) elde edilmiş sonuçlar olup, internetten ulaşılabilir.

➤ IGS Duyarlı Efemerisi

Yayın ve NGS duyarlı efemerislerinin tersine IGS yörüngeleri, duyarlı P kod alıcılarının kurulu olduğu yoğun bir global ağda yapılan faz gözlemlerinden yararlanarak oluşturulmuştur. Türkiye'nin de içinde olduğu Avrupa bölgelerinde IGS izleme ağı oluşturulmuştur.

GNSS - Global Navigation Satellite System

- Amerika'nın GPS sistemine ve Rusya'nın GLONASS sistemine alternatif olarak Avrupa Birliği tarafından GALILEO geliştirilmiştir.
- Yakında GNSS'e dahil olacaktır.
- İlki 2005 yılında gönderilen uyduların sayısının 30, yörünge sayısının 3 olması düşünülmektedir.
- Dünyanın kuzey bölgelerinde de kullanımı mümkün olacak ve uyduların hiçbir koşulda kullanım dışı bırakılmaması sağlanacaktır.

GPS, GLONASS VE GALILEO SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

	GPS	GLONASS	GALILEO	COMPASS
Uydu Sayıları	21 + 3	21 + 3	27 + 3	30 + 5 GEO
Yörünge düzlemi sayısı	6	3	3	?
Yörünge dönme süresi	11:58 H	11:15 H	14:07 H	? 12:35 H
Yörünge düzlemi eğimi	55 derece	64 derece	56 derece	? 55 derece
Yörünge yarıçapı	26600 KM	25440 KM	29600 KM	? 21500 KM
Uydu ağırlığı	1100 kg (IIR)	1400 kg	700 kg	? 2200 kg

GNSS ve RNSS

System	GPS	GLONASS	BeiDou	Galileo	QZSS	IRNSS/NavIC
						
Orbit	MEO	MEO	MEO, IGSO, GEO	MEO	IGSO, GEO	IGSO, GEO
Nominal number of satellites	24	24	27, 3, 5	30	3, 1	4, 3
Constellation	6 planes 56° inclination	Walker (24/3/1) 64.8° inclination	Walker (24/3/1) 55° inclination	Walker (24/3/1) 56° inclination	IGSOs with 43° inclination	IGSOs with 29° inclination
Services	SPS, PPS	SPS, PPS	OS, AS, WADS, SMS	OS, CS, PRS	GCS, GAS, PRS, EWS, MCS	SPS, RS
Initial service	Dec 1993	Sep 1993	Dec 2012	2016/2017 (planned)	2018 (planned)	2016 (planned)
Origin	USA	Russia	China	Europe	Japan	India
Coverage	Global	Global	Global	Global	East Asia Oceania region	$-30^{\circ} < \phi < 50^{\circ}$ $30^{\circ} < \lambda < 130^{\circ}$
Frequency (MHz)	L1 1575.42 L2 1227.60 L5 1176.45	L1 1602.00 L2 1246.00 L3 1202.025	B1 1561.098 B2 1207.14 B3 1268.52	E1 1575.42 E5a 1176.45 E5b 1207.14 E6 1278.75	L1 1575.42 L2 1227.60 L5 1176.45 E6 1278.75	L5 1176.45 S 2492.028

SPS: Standard Positioning Service; PPS: Precise Positioning Service; OS: Open Service; AS: Authorized Service; WADS: Wide Area Differential Service; SMS: Short Message Service; CS: Commercial Service; PRS: Public Regulated Service; GCS: GPS Complementary Service; GAS: GPS Augmentation Service; EWS: Early Warning Service; MCS: Message Communications Service; PS: Precision Service; RS: Restricted Service

System	Period (rev/d _{sid})	Period (h)	<i>a</i> (km)	<i>h</i> (km)	<i>e</i>	<i>i</i> (°)
GLONASS	17/8	11 h 16 min	25 510	19 130	0.0	64.8
GPS	2/1	11 h 58 min	26 560	20 180	0.0	55
BeiDou (MEO)	13/7	12 h 53 min	27 910	21 530	0.0	55
Galileo	17/10	14 h 05 min	29 600	23 220	0.0	56
QZSS	1/1	23 h 56 min	42 160	35 790	0.1	43
BeiDou IGSO	1/1	23 h 56 min	42 160	35 790	0.0	55
NavIC (IGSO)	1/1	23 h 56 min	42 160	35 790	0.0	27
BeiDou/NavIC/QZSS GEO; SBAS	1/1	23 h 56 min	42 160	35 790	0.0	≤ 2

GLONASS: Globalnaja Navigazionnaja Sputnikowaja Sistema (Russian Global Navigation Satellite System); GPS: Global Positioning System; MEO: medium altitude Earth orbit; QZSS: Quasi-Zenith Satellite System; IGSO: inclined geo-synchronous orbit; NavIC: Navigation with Indian Constellation; GEO: geostationary Earth orbit; SBAS: satellite-based augmentation system

- ABD, AB ve Rusya'dan sonra Çin de kendi küresel konumlama sistemini dünyaya açmak için çalışmalara başladı (2009).
- 2018 yılında tamamlanması planlanan projeyle, 30'dan fazla uydu birbirine bağlanacak.
- Askeri ve sivil amaçlı kullanılacak **Beidou Navigation System (BNS)** isimli projenin tamamlanması için iki yıl içinde 10 uydu fırlatılacak. Yeni uydular şu an yörüngede bulunan ve sadece Çin üzerinde navigasyon sağlayan 5 uyduya entegre edilecek
- Çin BNS' in ilk uydusunu 2000 yılının Ekim ayında fırlattı, bugüne kadar 5 uydu fırlatan ülke, son uydusunu 2007 yılının Nisan ayında fırlattı.
- BNS sistemi; GPS, GLONASS ve GALILEO sistemi gibi dünyadan 2000 ile 35786 kilometre uzaklıkta bulunan MEO (Medium Earth Orbit) yerine 36 bin kilometre yükseklikte, Ekvator düzleminde olan ve dönme periyotları Dünya'nın dönüş periyoduna eşit olan GEO (Geostationary Earth Orbit - Yerdurağan Yörünge Uyduları) kullanılarak oluşturuluyor.
- Bir GEO uydusunun ortalama kapsama alanı Dünya'nın %40'ına eşit.

GPS ile yapılan Gözlemler ve Kullanılan Matematiksel Modeller

- GPS gözlemleri, alıcı tarafından alınan ile alıcı tarafından üretilen sinyallerin zaman ya da faz farklarından oluşmaktadır.
- Elektronik Uzaklık Ölçme Sistemlerinin (EDM) aksine, GPS' de tek taraflı uzaklık ölçme söz konusudur.

GPS ile iki temel büyüklük gözlenmektedir.

- Kod Gözlemleri
- Faz Gözlemleri (L_1 , L_2)
- Yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda ve bilimsel çalışmalarda faz gözlemleri, navigasyon amaçlı uygulamalarda ise kod gözlemleri kullanılmaktadır.
- Jeodezik amaçlı GPS ölçülerinde doğrudan faz gözlemleri kullanmak yerine bunlardan yararlanarak elde edilen lineer kombinasyonlar ve fark gözlemleri kullanılmaktadır.

Kod Gözlemleri

- Uydu ile alıcı arasındaki uzaklık, uydudan yayınlanan sinyalin uydudan çıkış anı ile alıcıya ulaştığı ana kadar geçen zamanın (ΔT) ışık hızı ile çarpılmasıyla elde edilen ham uzunluktur.
- Sinyalin uydudan alıcıya ulaşana kadar geçen zaman, alıcı ve uydu tarafından üretilen PRN kodlarının karşılaştırılması ile elde edilmektedir.
- Uydu ile alıcı saatlerindeki hatalardan dolayı elde edilen uzunluk gerçek geometrik uzunluktan farklıdır.
- Saat hatalarının neden olduğu sapmalar nedeniyle elde edilen uzaklığa ham uzunluk (pseudorange) denir.

Saat hatasının olmadığı ve uydudan alıcıya ulaşan sinyalin atmosferik etkilerin olmadığı bir ortamda yayıldığı kabul edilirse pseudorange,

$$\rho_R^S = c(t_r - t^s) = c \cdot \Delta t \quad 1$$

Ancak bu varsayımlar gerçekte sağlanamadığından eşitlik ;

$$c[(t_r + \Delta t_R) - (t^s + \Delta t^s)] = \rho_R^S + I_R^S + T_R^S \quad 2$$

şeklinde yazılabilir. İlk eşitlik yeniden düzenlenirse

$$c(t_R - t^S) = \rho_R^S + c(\Delta t^S - \Delta t_R) + I_R^S + T_R^S \quad 3$$

- t_s : Sinyalin uyduyu terk ettiği andaki GPS zamanı
- t_R : Sinyalin alıcıya ulaştığı andaki GPS zamanı
- Δt_s : Uydu saati ile GPS zamanı arasındaki fark
- Δt_R : Alıcı saati ile GPS zamanı arasındaki fark
- I_R^S : İyonosferik etki
- T_R^S : Troposferik etki
- c : Işık hızı ($c=299792458$ m/s)
- ρ_R^S : Uydu ile alıcı arasında, sinyalin uydudan ayrıldığı ve alıcı tarafından alındığı epoklardaki toposentrik uzunluktur. Toposentrik uzunluk

$$\rho_R^S = |S - R| = \sqrt{(X^S - X^R)^2 + (Y^S - Y^R)^2 + (Z^S - Z^R)^2} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada

$R=(X^R, Y^R, Z^R)$ anten kurulan noktanın koordinatları
 $S=(X^S, Y^S, Z^S)$ uydu koordinatlarıdır.

(3) eşitliği

$$c(t_r - t^s) = |S - R| + c(\Delta t^S - \Delta t_R) + I_R^S + T_R^S \quad (5)$$

şeklini alır. Uydunun konumu efemeris bilgilerinden bilindiği varsayılırsa bu) eşitlikte 7 bilinmeyen kalır.

Bu bilinmeyenler

- Uydu ve alıcı saat hataları (2)
 - Alıcı anteninin koordinatları (X^R, Y^R, Z^R) (3)
 - İyonosferik etki (1)
 - Troposferik etkidir. + (1)
-
- 7

- Uydu saatleri kontrol altında tutulabilir ve atomik saatlerin kullanılması ile uydu saat hataları yok edilebilmektedir.
- Alıcı saatlerinin anlık hataları belirsizdir. Bu nedenle ölçülen uzunluk alıcı saat hatasını bilinmeyen olarak içermektedir.
- İyonosferik ve troposferik etkiler sonraki bölümlerde açıklanacak modellerle yok edilebileceklerinden bu bilinmeyenlerde yok edilmiş olmaktadır.

Böylece 3 eşitliğinden geriye 4 bilinmeyen kalmaktadır. Bu 4 bilinmeyen için 4 uyduya eş zamanlı yapılmış 4 pseudorange ölçüsüne gereksinim vardır. Buna göre

$$\rho_R^{SV1} = \sqrt{\left(X_R^{SV1} - X_R\right)^2 + \left(Y_R^{SV1} - Y_R\right)^2 + \left(Z_R^{SV1} - Z_R\right)^2} + c\Delta t_R$$

$$\rho_R^{SV2} = \sqrt{\left(X_R^{SV2} - X_R\right)^2 + \left(Y_R^{SV2} - Y_R\right)^2 + \left(Z_R^{SV2} - Z_R\right)^2} + c\Delta t_R$$

$$\rho_R^{SV3} = \sqrt{\left(X_R^{SV3} - X_R\right)^2 + \left(Y_R^{SV3} - Y_R\right)^2 + \left(Z_R^{SV3} - Z_R\right)^2} + c\Delta t_R$$

$$\rho_R^{SV4} = \sqrt{\left(X_R^{SV4} - X_R\right)^2 + \left(Y_R^{SV4} - Y_R\right)^2 + \left(Z_R^{SV4} - Z_R\right)^2} + c\Delta t_R$$

6

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlikler Taylor serisine açılıp iki ve daha yüksek dereceden terimler göz ardı edilebilir. Lineerleştirme için noktaların yaklaşık koordinatları ve alıcı saat hatası bilinmeyeninin yaklaşık değeri bilinmesi gerekir.

Yaklaşık (X_0, Y_0, Z_0) değerler ile kesin değerler arasında;

$$\overline{X}_R = X_0 + \delta X$$

$$\overline{Y}_R = Y_0 + \delta Y$$

$$\overline{Z}_R = Z_0 + \delta Z$$

7

olup bilinmeyenlerin dengeli değerleri arasında

$$L_i + V_i = f(X_0 + \delta X, Y_0 + \delta Y, Z_0 + \delta Z, t_0 + \delta t)$$

8

bağıntısı vardır. 8 eşitliği Taylor serisine açılıp yüksek dereceden terimler ihmal edilirse 9 eşitliği elde edilir.

9

$$\rho_R^{SV} = \rho_0^{SV} - \frac{X^{SV} - X_0}{r_0} \delta X - \frac{Y^{SV} - Y_0}{r_0} \delta Y - \frac{Z^{SV} - Z_0}{r_0} \delta Z + c \delta t \quad 9$$

➤ ρ_0^{SV} yaklaşık uydu-alıcı uzunluğu (pseudorange) olup

$$\rho_0^{SV} = \sqrt{(X^{SV} - X_0)^2 + (Y^{SV} - Y_0)^2 + (Z^{SV} - Z_0)^2} + c.t_0 \quad 10$$

eşitliği ile ifade edilir. Eş zamanlı 4 uyduya gözlem yapılırsa yukarıdaki eşitlik matris formunda aşağıdaki şekilde yazılabilir

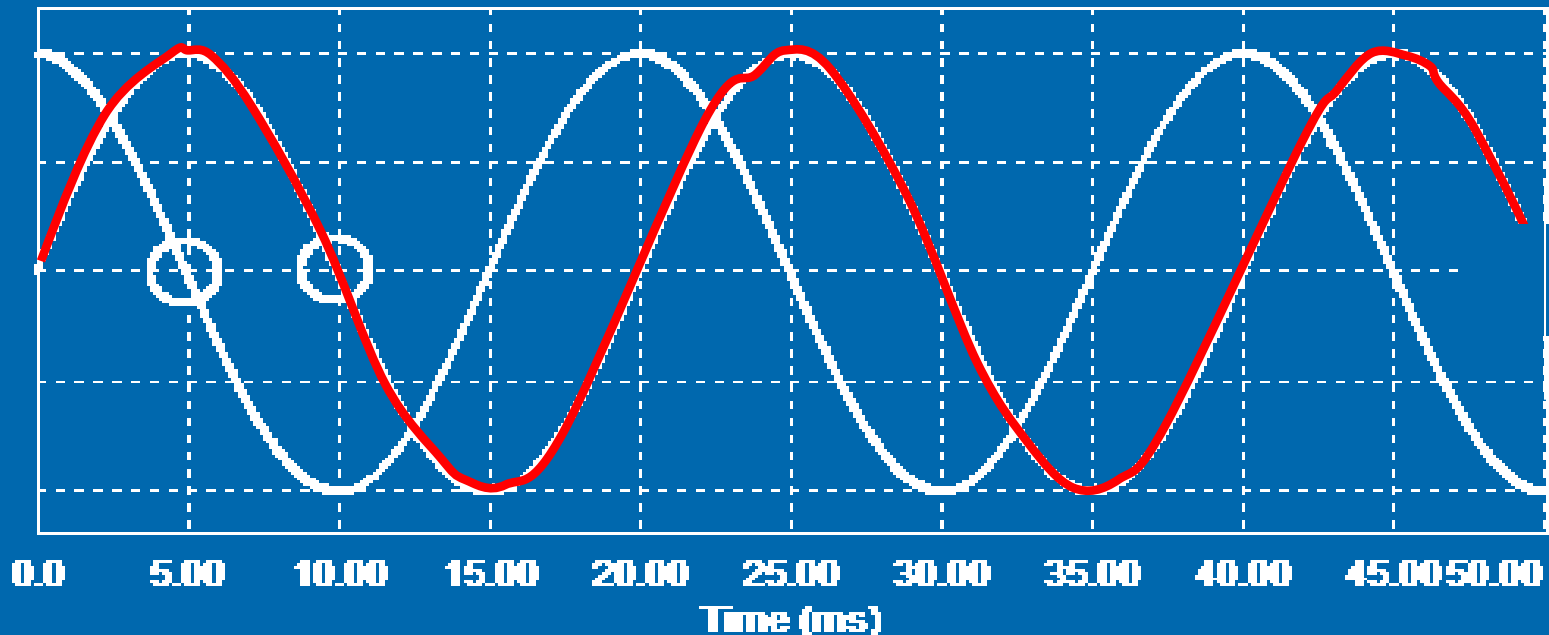
$$A\delta X - \Delta\rho_R^{SV} = \begin{bmatrix} -\frac{X^{SV1} - X_0}{r_0} - \frac{Y^{SV1} - Y_0}{r_0} - \frac{Z^{SV1} - Z_0}{r_0} + 1 \\ -\frac{X^{SV2} - X_0}{r_0} - \frac{Y^{SV2} - Y_0}{r_0} - \frac{Z^{SV2} - Z_0}{r_9} + 1 \\ -\frac{X^{SV3} - X_0}{r_0} - \frac{Y^{SV3} - Y_0}{r_0} - \frac{Z^{SV3} - Z_0}{r_9} + 1 \\ -\frac{X^{SV4} - X_0}{r_0} - \frac{Y^{SV4} - Y_0}{r_0} - \frac{Z^{SV4} - Z_0}{r_9} + 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \\ c.\delta t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \rho_R^{SV1} - \rho_0^{SV1} \\ \rho_R^{SV2} - \rho_0^{SV2} \\ \rho_R^{SV3} - \rho_0^{SV3} \\ \rho_R^{SV4} - \rho_0^{SV4} \end{bmatrix} \quad (11)$$

A, düzeltme denklemleri katsayılar matrisini,
 δX , bilinmeyenlere getirilecek düzeltmeleri,
 $\Delta\rho_R^{SV}$ ise düzeltmeler (gözlenen, hesaplanan) vektörünü göstermektedir.
 (11) eşitliğinin çözümü ile

$$\delta X = A^{-1} \cdot \Delta\rho_R^{SV} \quad (12)$$

Faz Gözlemleri

- Faz, herhangi bir dalganın herhangi bir referansa göre durumuna verilen addır. Referans değiştirildikçe faz değeri de değişmektedir.



Faz Gözlemleri

- İki dalga arasındaki faz farkı şöyle belirlenir,
- Yukarıdaki grafikte iki sinüs dalgası çizilmiştir. Kırmızı grafik tam sinüs formunu takip ettiğinden fazı 0° 'dir.
- Kırmızı sinüsün genliği, maksimum noktasına ulaştıktan sonra grafikte de görüleceği gibi 10 ms' de sıfıra düşmektedir.
- Beyaz sinüs ise maksimum genliğe $t=0$ ms' de ulaşmaktadır,
- Maksimumdan sonraki ilk sıfırını ise $t=5$ ms' de bulmaktadır.
- Bu iki nokta grafikte çember içine alınmıştır. Çünkü bu noktalar iki sinüsün de benzer özelliğe sahip olduğu noktalardır (maksimumdan sonraki ilk sıfırlar).
- Aradaki farkın 5 ms olduğu görülmektedir
- Açı olarak fark ise şöyle bulunmaktadır.

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow [f = 50Hz] \quad T = \frac{1}{50} = 20ms \rightarrow [360^\circ \text{TaramaZamani}]$$

$$\phi = \frac{t \cdot 360^\circ}{T} \rightarrow [t = 5] \quad \phi = \frac{5 \cdot 360^\circ}{20} = 90^\circ$$

Bir dalga saniyede frekansının değerince kendini tekrar eder. Buna göre de periyodu belli bir değer alır. Periyot, dalganın kendini tekrar etme süresidir. Örneğin bunu bir çember üzerinde düşünersek, çember üzerindeki bir nokta tam 360° sonra yine kendi üzerine gelir. Dolayısıyla periyodun açı olarak değeri 360° olarak tanımlanabilir. Üstteki grafiklerde yapılan örnekte $f = 50 \text{ Hz}$ olarak alındığından periyot $T = 20 \text{ ms}$ olmaktadır. Sinüs dalgası $20 \text{ ms} = 360^\circ$ 'de kendini tekrar etmektedir. Bunlardan hareketle de $5\text{ms} = 90^\circ$ olduğunu söyleyebiliriz

Faz Gözlemleri

- Faz gözlemleri GPS ölçmelerinde en çok kullanılan gözlemlerdir.
- Taşıyıcı dalganın C/A ve P kodları yerine modüle edilmemiş L_1 ve L_2 sinyalleri ile yapılmaktadır.
- Uydudan yayınlanan fazın benzeri alıcı içerisinde de üretilmekte ve bunlar arasında korelasyon sağlanmaktadır.
- Başka bir deyişle t_s zamanında uydudan yayınlanan sinyalin L_1 ve L_2 taşıyıcı fazı ile t_R zamanında alıcı tarafından üretilen sinyalinin fazı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır.

- Atmosferik etkiler, relativistik etkiler, alıcı saat hatası ve diğer bozucu etkiler dikkate alınmazsa anlık faz farkı

$$\phi_R^{SV}(t_R) = \phi^{SV}(t^{SV}) - \phi_R(t_R)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Burada $\phi^{SV}(t^{SV})$, t_{SV} uydu saati zamanında yayınlanan sinyalin fazını,

$\phi_R(t_R)$ ise alıcının uydu sinyalini aldığı t_R zamanında alıcıda üretilen fazı göstermektedir.

$$\phi_R^{SV}(t) = \phi^{SV}(t) - \phi_R(t) + N_R^{SV}(1) + \text{Sinyal.gürültüsü(noise)}$$

$\phi_R^{SV}(t)$ SV uydusu ve R alıcısı için dalga boyu biriminde faz gözlemi

$\phi^{SV}(t)$ alıcı tarafından t zamanında (GPS zamanı) kaydedilen sinyalin fazı

$\phi_R(t)$ t zamanında alıcıda üretilen sinyalin fazı

$N_R^{SV}(1)$ başlangıç epoğundaki faz başlangıç bilinmeyenidir

İyonosferik ve troposferik etkiler dahil faz farkı

$$\phi_R^{SV}(t_R) = \phi^{SV} \left(t_R - \frac{\rho_R^{SV}}{c} - \frac{I_R^{SV} + T_R^{SV}}{c} \right) - \phi_R(t_R) + N_R^{SV}(1)$$

Kod gözlemi ile faz gözlemi arasındaki farklar şunlardır:

- Kod gözlemlerinde kod tam olarak ölçülürken, faz gözlemlerinde faz başlangıç belirsizliği söz konusudur (ambiguity).
- Taşıyıcı dalga fazı iyonosferden geçerken hızlandığından iyonosferden dolayı faz gözlemlerine getirilecek düzeltme (-) işaretlidir. Kod gözlemleri ise yavaşladığından iyonosfer düzeltmesi kod gözlemleri için (+) işaretlidir.
- Faz gözlemlerinin doğruluğu kod gözlemlerinin doğruluğundan daha yüksektir.

Faz Farkı Modelleri

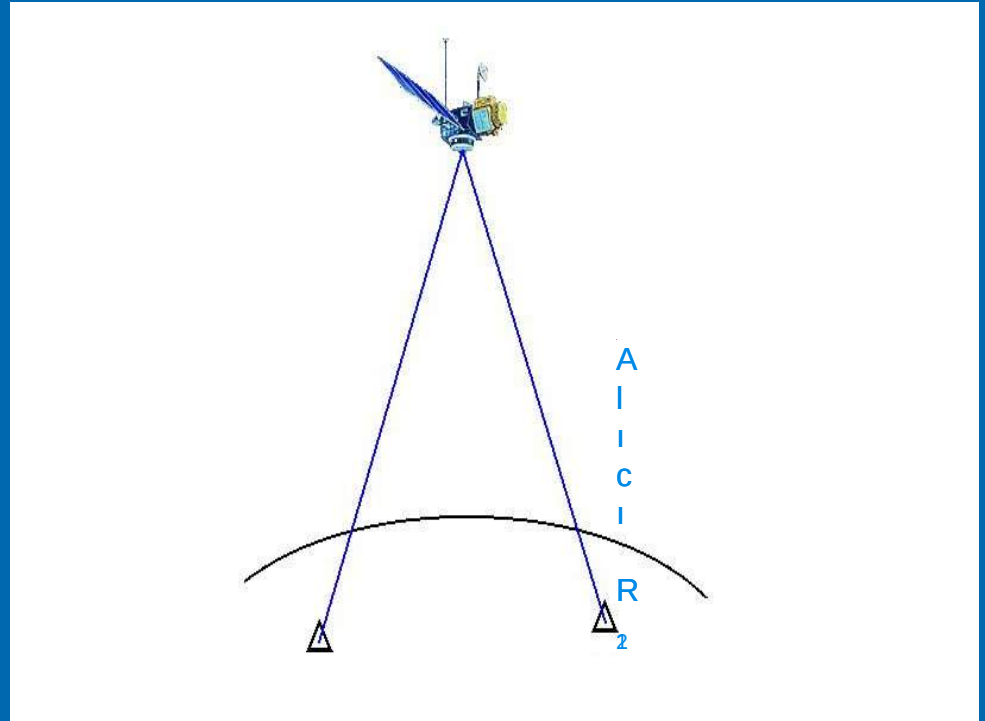
Kod ve faz gözlemlerinden yararlanarak oluşturulan farklarla alıcı saat hataları, uydu saat hataları ve faz başlangıç belirsizliği gibi birçok ortak hata giderilebilmektedir. GPS gözlemlerinde fark kombinasyonları farklı şekilde yapılmaktadır. Fark gözlemleri genellikle

- Alıcılar arasında
- Uydular arasında
- Ölçü epokları arasında veya
- L_1 ve L_2 frekansları arasında yapılmaktadır

Tekli Farklar

$$\Delta\phi_{R2R1}^{SV1}(t) = \phi_{R2}^{SV1}(t) - \phi_{R1}^{SV1}(t)$$

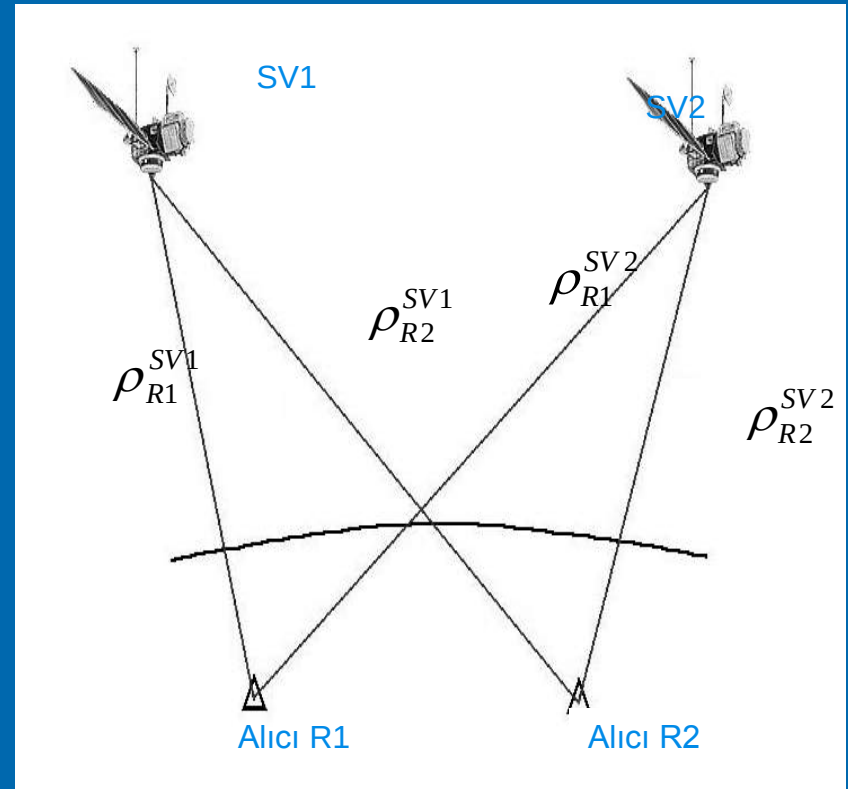
- İki farklı alıcı noktasında aynı uyduya eş zamanlı olarak yapılan faz gözlemleri arasındaki farklar anlaşılır. Bu yöntemle temel olarak uydu saat hataları giderilmektedir. Tekli fark, uydular arasında aynı bir alıcı için oluşturulursa bu durumda alıcı saati hataları giderilmiş olur.



İkili Farklar

$$\Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t) = \Delta_{R1R2}^{SV1}(t) - \Delta_{R1R2}^{SV2}(t)$$

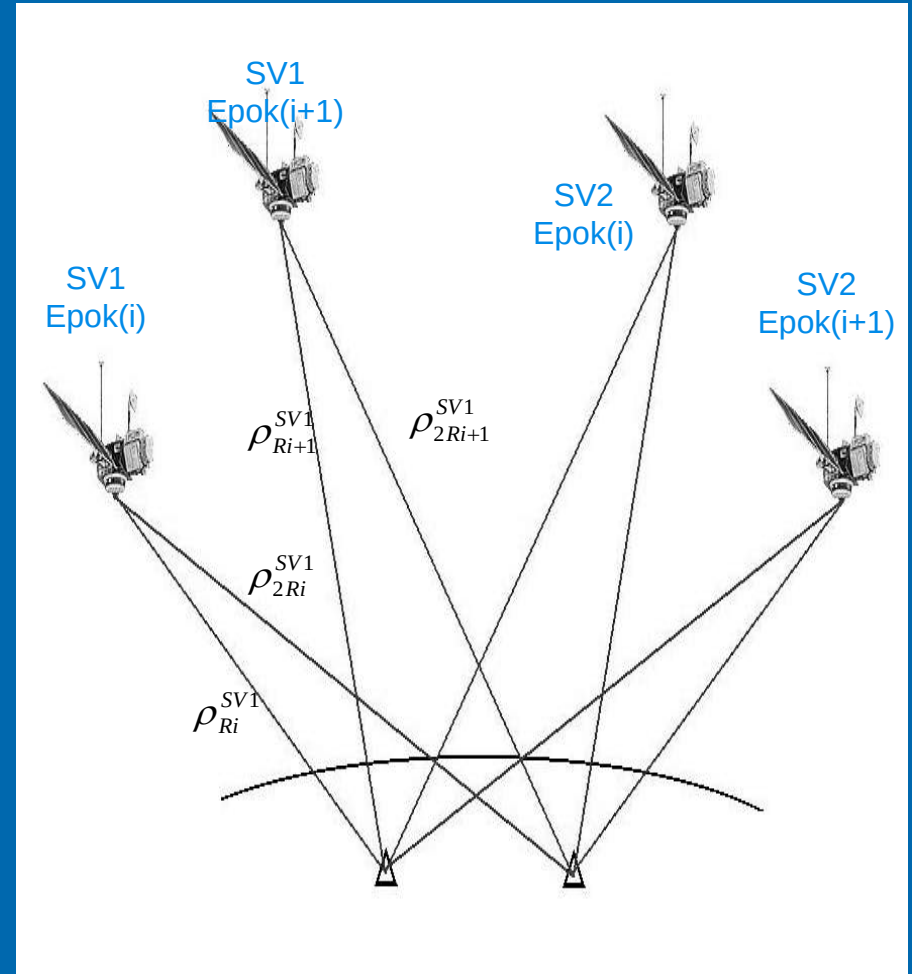
- İki tekli farkın farkı olarak tanımlanabilir. Başka bir anlamda, aynı epokta iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasındaki farktır. Bu yöntemle uydu ve alıcı saat hatalarının her ikisi birden giderilmektedir. Genel olarak bu eşitlik GPS ölçülerini değerlendirme yazılımlarında temel gözlem eşitliği olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntemle kısa baz uzunluklarında troposferik ve iyonosferik etkiler de giderilmektedir.



Üçlü Farklar

$$\Delta\Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t_i, t_{i+1}) = \Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t_{i+1}) - \Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t_i)$$

- Üçlü fark, iki farklı epokta oluşturulan iki ikili fark arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Üçlü fark gözlemleri için genel eşitlik aşağıdaki şekilde verilmektedir. Üçlü fark gözlemlerinin oluşturulmasının temel amacı taşıyıcı faz belirsizliğinin (ambiguity) giderilmesidir.



Hata Kaynakları

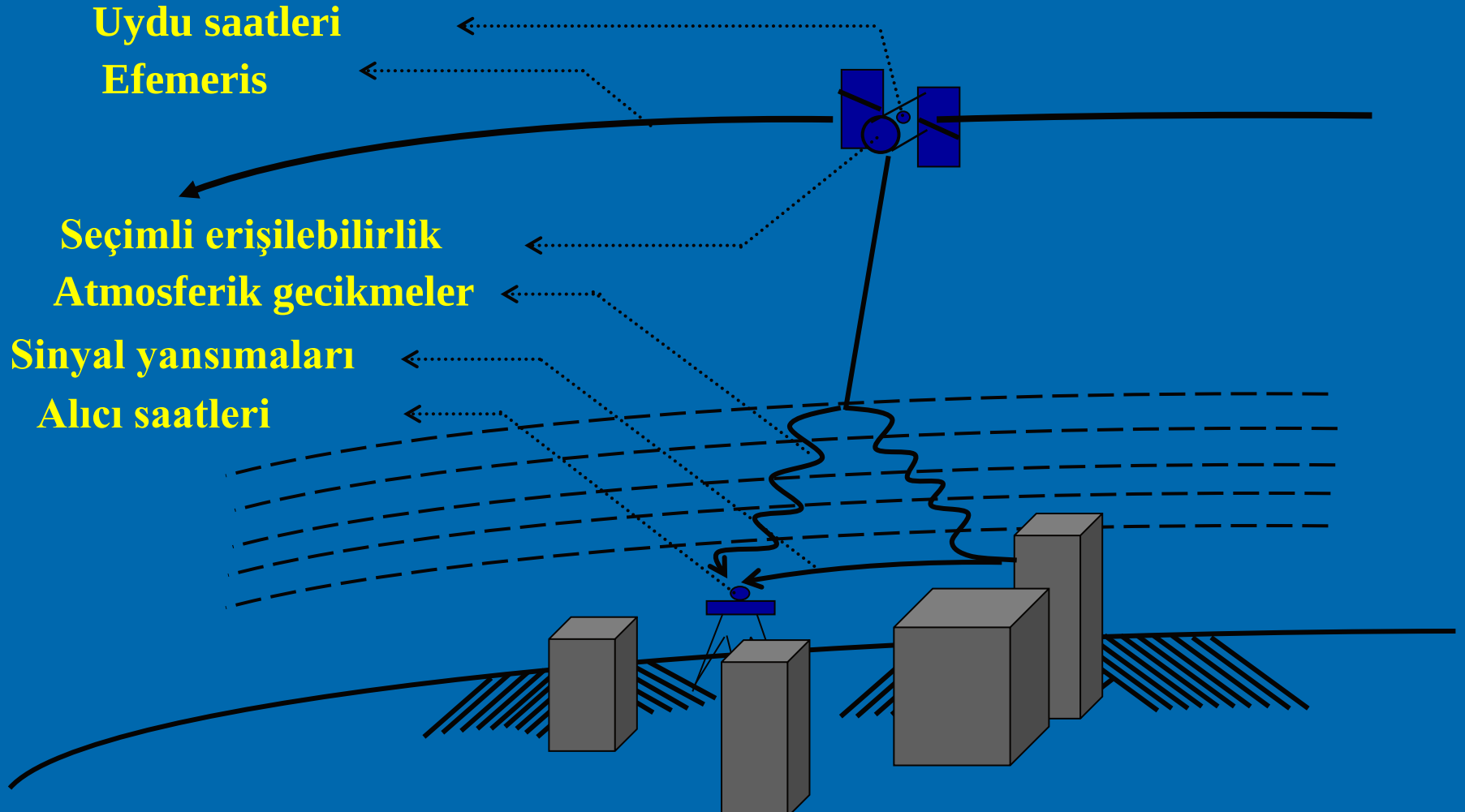
Uzunluk ölçmedeki hatalar

- Uydu efemeris hataları
- Uydu saat hataları
- Atmosferik hatalar
 - İyonosferik etki
 - Troposferik etki
 - Uydu eğim açısı
- Sinyal yansıma (Multipath) etkisi
- Anten faz merkezi hataları
- Taşıyıcı dalga faz belirsizliği (Ambiguity) ve faz kesiklikleri (cycle-slips)
- Seçimli doğruluk erişimi
- Uydu geometrisi

Alıcı hataları:

- Tek veya çift frekanslı alıcılar
- Datum seçimi
- Alıcının kurulumu

GPS Hata Kaynakları



GPS Hata Kaynakları

<u>Hata kaynağı</u>	<u>Hata miktarı</u>	<u>Korelasyon</u>	<u>Etkileme</u>
İyonosferik gecikme	3 – 4 m (gece) 20 – 30 m (gündüz)	Uzay ve zamanda yüksek korelasyon	★ ★ ★
Troposferik gecikme	3 m	Uzay ve zamanda yüksek korelasyon	★
Efemeris hatası	3 m		★
Uydu saati			

*Bu hatalar çeşitli teknikler ve modellemelerle
düzeltilebilir*

Uydu Efemeris Hataları

- GPS navigasyon mesajı içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşük olduğu veya kasıtlı olarak yanlış yayınlanması durumunda karşılaşılan hataya efemeris hatası denilmektedir.
- Uydu efemeris hatası uydu yörüngelerinin daha duyarlı hesabını gerektirir. Bu da uydulara etki eden hataların çok iyi ölçülmesi ve modellenmesine bağlıdır.
- Birkaç kilometrelik bazlarda efemeris hatasının etkisi çok küçüktür. Baz büyüdükçe bu hatanın büyüklüğü de artmaktadır.

Uydular uzayda nerede? (efemeris)

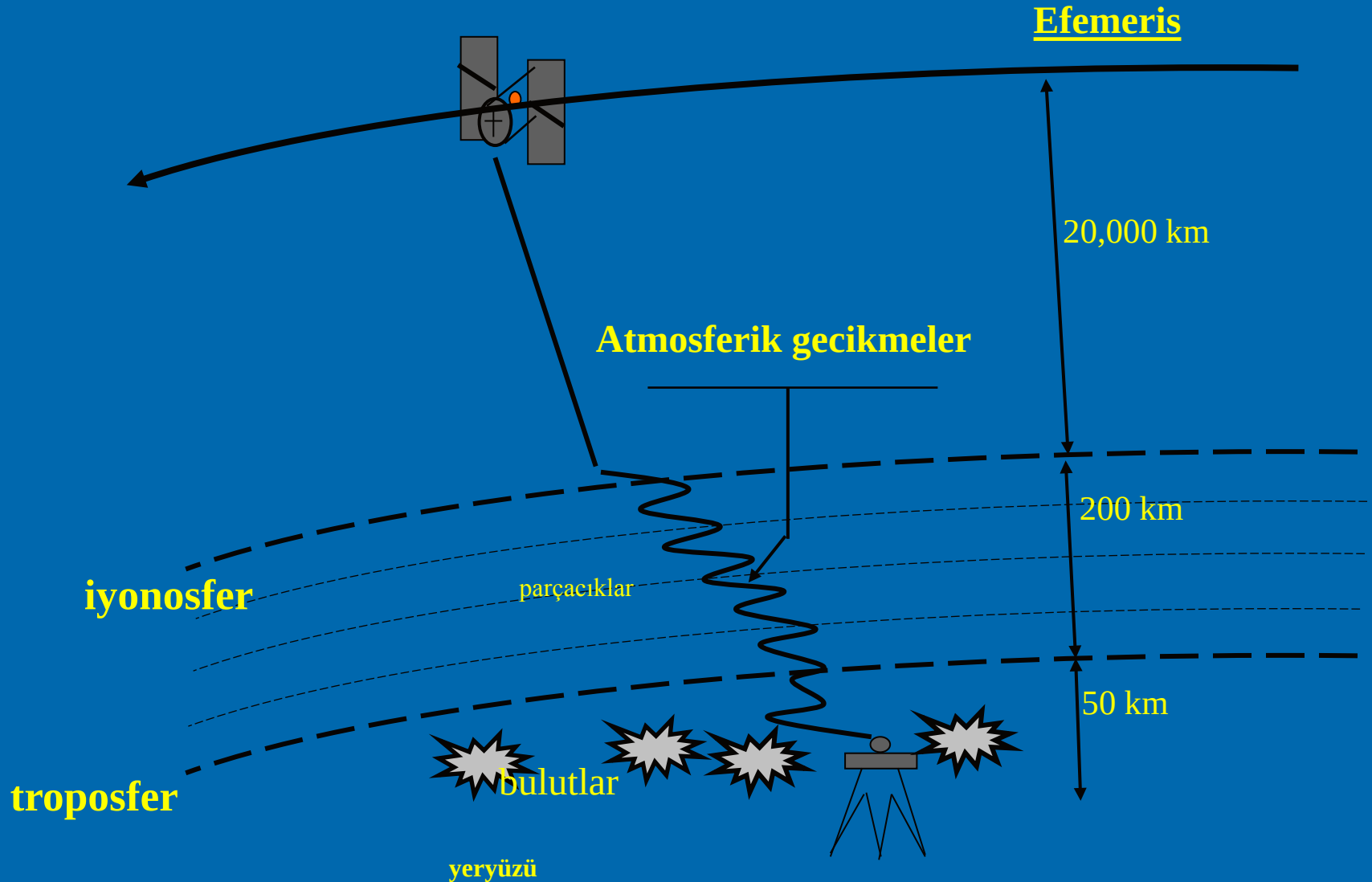
- Uydular hassas yörüngelerde hareket ederler
- GPS alıcıları doğru konumlama için uydulardan alınan almanak bilgilerini kullanırlar (ephemeris).
- Almanak uydulardan yayınlanır
- Düzeltilmiş efemeris bilgileri uydulara gönderilir.

Uydu Saat Hataları

- GPS ile konum belirlemenin temelini zaman ölçüsü oluşturmaktadır. Bu nedenle GPS uydularında atomik saatler kullanılmaktadır. Uydu ve alıcı saatlerinin GPS zamanına göre yeterli doğrulukta senkronize edilmemesi saat hatalarının temelini oluşturur.
- Uydu saat hataları kontrol bölümü tarafından sürekli izlenmekte ve yayın efemerisi saat düzeltmelerini günlük olarak navigasyon mesajının bir bölümü olarak yüklemektedir. Önemli olan uydu-alıcı uzaklığının hesaplanmasındaki toplam hatayı azaltmak, bunun için uydu saati ile GPS zamanı arasında yaklaşık 30 nanosaniyelik senkronizasyonu sağlamaktır.

- Saniyede yaklaşık 3.108m hızla giden GPS bilgi sinyalleri 1 ns de yaklaşık 30 cm yol alır.
- 1 nano saniyelik hata dijital bir saatte yaklaşık olarak 30 yılda 1 saniyelik hata olarak karşımıza çıkar bu iyi bir hata oranıdır.
- Fakat GPS sisteminde 30 cm 'lik hataya neden olmaktadır bu da koordinatın 30 cm hata ile belirlenmesin neden olur.
- Bu nedenle GPS uydularında ve kontrol merkezlerinde atomik saatler kullanılır.
- Her ne kadar uydularda hassas saatler kullanılsa da yine de zamana bağlı olarak bu hatanın büyümesi söz konusudur.
- Bu nedenle yükleme istasyonlarından, hesaplanan uydu saati hataları uydulara yüklenir ve yayınlanan navigasyon mesajı ile kullanıcılara ulaştırılır.

Atmosferik Etkiler



Atmosferik Etkiler

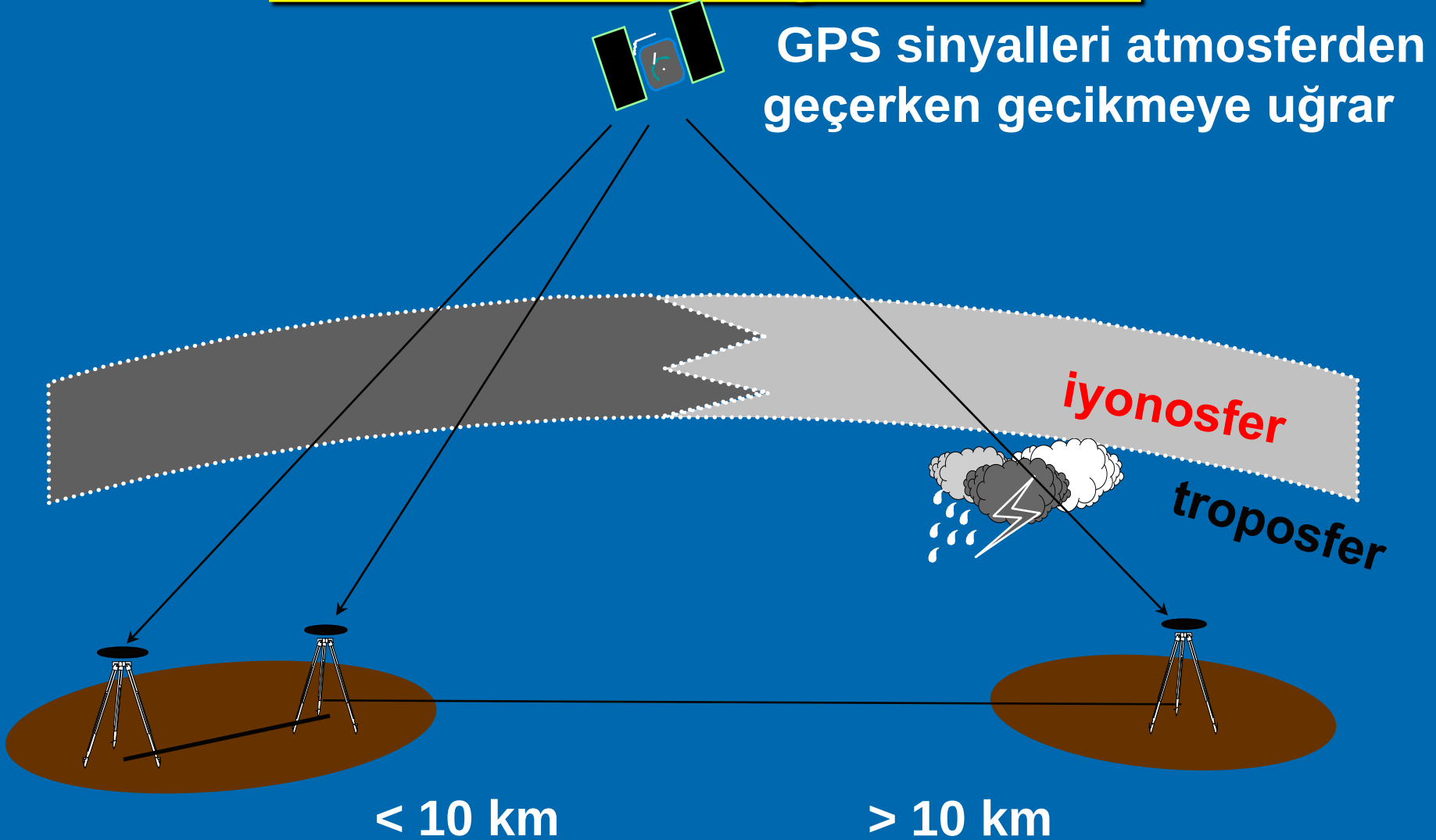
İyonosfer Etkisi

- Yer yüzeyinden itibaren yaklaşık 50 km kalınlığındaki tabaka Troposfer, buradan itibaren yaklaşık 200 km kalınlığındaki tabaka ise iyonosfer olarak adlandırılır.
- İyonosfer, hava moleküllerinin ileri derecede yoğunlaştığı ve elektrik iletkenliği kazandığı yüksek atmosfer bölgeleridir.
- Burası elektromagnetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahiptir.
- İyonlaşma ve serbest elektron yoğunluğu doğrudan güneş ışımaya bağlıdır.
- İyonosferin gündüz elektromagnetik dalgalar üzerindeki etkisi geceden daha çoktur.
- Uydu sinyalleri alıcıya ulaşınca kadar bu tabakalardan geçer ve karşılaştığı dirençten dolayı bir gecikmeye uğrar.
- İyonosferik gecikmenin giderilmesi için, farklı frekanstaki dalgaların farklı dirençle karşılaşacağı gerçeğinden hareket ederek çift frekanslı GPS alıcıları kullanılmalıdır.
- Bu nedenle ölçülecek mesafeler büyüdükçe çift frekansta ölçü alma daha büyük önem taşır.

Troposfer Etkisi

- Troposfer, havanın yeryüzü ile temas ettiği en alt tabakasıdır. Kalınlığı kutuplarda 8 km, ekvatorunda 18 km'dir.
- Hava olayları genel olarak troposferin 3-4 km'lik alt kısımlarında görülmektedir.
- Troposferik gecikme sinyalin frekansına bağlı olmayıp, her iki taşıyıcı dalgaya da aynı derecede etki etmektedir.
- Farklı frekans kullanımı ile giderilemez.
- Troposferik Kırılma iki bileşenden oluşmaktadır.
- Bunlardan kuru hava bileşeni toplam kırılmanın 90%'ına sebep olmaktadır.
- Troposferin kuru bileşeninin modellenmesinde gözlem noktasındaki hava basıncı kullanılmaktadır.
- Diğer bileşen olan ıslak havanın ise etkisi az olmakla beraber modellenmesi daha zordur.

Atmosferik gecikme



Uydu Eğim Açısı

- Düşük eğim açılı ölçüler, atmosferik refraksiyon nedeniyle sorun olmaktadır.
- Ancak konum doğruluğunu arttırmak için daha fazla ölçü kullanmak isteginden ve daha çok uydu görebilmek için bu açı değerini küçük tutmak isteriz.