



Ashtech GPSLink

GPS



Reliance.exe

GPS'İN GENEL ESASLARI

1. Tarihçe

- Ölçme Bilgisi insanoğlunun varolduğu tarihten günümüze dek herkesin dikkatini çekmiştir. İnsan ilk önce yeryüzünde bulunduğu yeri bilmek ister. Ayrıca şahıslar sahip oldukları taşınmazların şeklini ve büyüklüğünü bilmek isterler. İlk çağlarda ilkel yöntemlerle konum ve yer belirleme işleri yapılırken zamanla teknolojik gelişmelere paralel olarak konum belirleme ve navigasyon sistemlerinde önemli gelişmeler olmuştur.
- Uzunluk ölçüsünün elektromagnetik dalgalarla gerçekleştirilmesiyle başlayan gelişmeler hızlı bir şekilde devam etmiş, açıların elektronik olarak ölçülmesi ve sonrasında bu iki sistemin bütünleşerek elde edilen dataların kaydedilmesi ve bilgisayar aracılığı ile değerlendirilmesine olanak tanıyan Total Station aletlerinin üretilmesine kadar uzanmıştır. Yersel ölçülerde bu gelişmeler yaşanırken, yapay uydularla konum belirleme sistemleri de gelişmelerden etkilenmiştir.
- İlk yapay uydu Sputnik-1, 4 Ekim 1957 tarihinde uzaya fırlatılmış ve jeodezi tarihinde önemli bir gelişme sağlanmıştır.
- Transit uydusu 60 lı yıllarda geliştirilmiş ve 1967 yılından itibaren jeodezik konum belirleme çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. GPS, Transit sisteminin zayıf yönlerini ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir.



Global Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System, GPS), Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından, dünya üzerinde, tüm hava koşullarında, 24 saat esasına göre herhangi bir noktaya ilişkin konum, hız ve zaman bilgileri sağlayan uzay tabanlı bir radyo navigasyon sistemidir

Global Konumlama Sistemi, temel olarak jeodezideki en eski tekniklerden biri olan 'geriden kestirme' esasına dayanır. Bu modelde kullanılan mesafeler radyo dalgalarıyla elde edilen uzaysal mesafe ölçüleri, kullanılan nirengi noktaları ise yörünge (efemeris) bilgileri vasıtasıyla belirli bir andaki koordinatları bulunabilen GPS uydularıdır. Bilinmeyenler, bulunulan noktanın yer merkezli (earth-fixed) kartezyen (X,Y,Z) koordinatlarıdır. Temel matematik kuralı olarak bu üç bilinmeyen için minimum üç ölçü (bulunulan noktadan bir uyduya radyo mesafesi) gerekiyor gibi gözükse de, daha sonra inceleneceği üzere alıcı saat hatalarının ~200 km.'ye kadar ulaşması nedeniyle, kaba bir dengeleme modeli (atmosferik, yörünge, uydu saat vb. hataları kapsamayan) için dahi dördüncü bir bilinmeyi, alıcı saat hatasını dikkate almak zorunludur.



• GPS' in Tanımı ve Kullanım Alanları

ABD Savunma Dairesi tarafından geliştirilmiştir. GPS alıcısı ile uydu sinyalleri yardımıyla herhangi bir yer ve zamanda, her türlü hava koşullarında, global bir koordinat sisteminde, yüksek duyarlılıkta, en ekonomik şekilde, anında ve sürekli şekilde konum, hız ve zaman belirlemesi yapılabilir. GPS' in kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Askeri Kullanım Alanları : Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, arama-kurtarma, uçakların iniş ve kalkışları, hedef bulma ve diğer amaçlar.
- Sivil Kullanım Alanları : Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, jeodezik ölçmeler, kadastral ölçmeler, deformasyon ölçmeleri, araç takip sistemleri.
- Turizm, tarım , ormancılık, spor, güvenlik, hidrografik çalışmalar, CBS' nin veri tabanının geliştirilmesi ve diğer alanlar.

• GPS' in klasik sisteme göre üstün ve zayıf yönleri :

- Noktalar arasında görüş zorunluluğu ortadan kalkmıştır.
- Ölçü noktalarının yükseklerde seçilmesi zorunluluğu yoktur.
- GPS ölçüleri büyük oranda hava koşullarından etkilenmez.
- Gece-gündüz 24 saat ölçü yapılabilir.
- Noktaların konum doğruluğu oldukça yüksektir.

GPS' in zayıf tarafı ise alıcı anteni gökyüzünü mutlaka görmelidir. GPS' in sinyalleri mikrodalga sinyaller gibi güçlü değildir. Kapalı yerlerde, çok sık ağaçlıklı alanlarda, tünellerde ve maden galerilerinde ölçü yapılamaz.



GPS' in Bölümleri

- Uzay Bölümü
- Kontrol Bölümü
- Kullanıcı Bölümü



GPS Üç Bölümden Oluşur

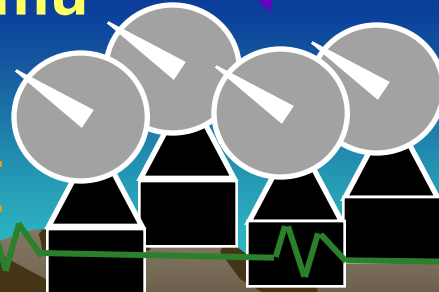
Uzay Bölümü



Kullanıcı Bölümü



Kontrol Bölümü



Yer
Antenleri

İzleme İstasyonları

Ana İstasyon

Uzay Bölümü

- Uzay bölümü ekvator düzlemi ile 55° lik açı yapan 6 yörünge düzlemine yerleştirilmiş 24 uydudan oluşmaktadır. Yedek uydular esas uydulardan birinde sorun olması durumunda devreye girerler.

Her bir GPS uydusu ,

- Senkronize (eşzamanlı) zaman sinyallerini
- Tüm diğer uydularla ilgili konum bilgilerini
- Yörünge parametrelerine ilişkin bilgileri iki taşıyıcı frekanstan (L1, L2) yayınlar
- Kontrol bölümü tarafından yayınlanan bilgileri alır.

Uzay bölümünün özellikleri

- Uydular yeryüzünden yaklaşık 20200 km, yer merkezinden 26500 km uzakta olup, 11h 58' da bir tam devir yaparlar.
- Yeryüzünün herhangi bir yerinde gözlenebilecek en az uydu sayısı 4 olup en az yaklaşık olarak 5 saat ufuk üzerinde kalır. Türkiye'de gözlenebilen en çok uydu sayısı 10 dur.
- Uydu yörünge zamanı (ortalama yıldız zamanı) ile yer dönmesi (ortalama güneş zamanı) arasında yaklaşık 4 dak./gün fark vardır. Bu nedenle yeryüzündeki bir gözlemci aynı uyduyu her gün 4 dakika erken gözlemektedir.

Uydulara ilişkin özellikler

- Altı farklı tip GPS uydusu vardır. Bunlar Blok I, Blok II, Blok IIA, Blok IIR, Blok IIF ve Blok III uydularıdır.
- Blok I uyduları 1978-1985 yılları arasında yörüngeye oturtulmuş olup ağırlıkları 845 kg ve ömürleri yaklaşık 7,5 yıldır. Bu uydular ekvator düzlemi ile 63° lik açı yaparlar. Şu anda kullanılamamaktadırlar.
- Blok II uyduları ekvatorla 55° lik açı yaparlar. Ağırlıkları yaklaşık 1500 kg ve ömürleri 7 yıldır. Blok II uyduları 1989 yılında yörüngeye oturtulmuştur.
- Blok IIA uyduları haberleşme olanaklarına sahip olup, bazılarında laser ölçülerine olanak sağlayan yansıtıcılar vardır. İlk Blok IIA uydusu 1990 yılında yörüngeye oturtulmuştur.
- Blok IIR uydularının ömürleri yaklaşık 10 yıldır. Atomik saatler taşırlar, ağırlıkları 2000 kg olup 1997' de yörüngeye oturtulmuşlardır. Bu uydular kontrol bölümünün desteği olmadan kullanıcılara 180 günlük navigasyon olanağı sağlarlar.
- Blok IIF uydularını 2005-2010 tarihlerinde yörüngeye oturtulmaları planlanmıştır. 1176,45 Mz lik frekanstaki L5 sinyali bu uydularda kullanılacaktır.
- Blok III uyduları tasarım aşamasındadır. Bunların 2010 yılından itibaren yörüngeye oturtulmaları planlanmış olup bu uydular askeri amaçlar için kullanılacaklardır.



GPS uydularının tanımlamada değişik yöntemler mevcuttur. Bunlar, yörüngeye yerleşme sıra numarasına, uydu
PRN (Pseudo Random Noise)

kod numarasına, yörünge konumundaki numaralama ve Nasa katalog numarasına göre yapılmaktadır. Uygulamada en çok PRN kod numaraları kullanılmaktadır. PRN kod, alıcının uyduları izlerken birbirinden ayırt edilmesine yaramaktadır. PRN sayıları haftalık (GPS haftası) olup, örneğin PRN13' ün anlamı 13 numaralı uydu PRN kodunun 13. haftasına ait bilgileri yayınlamaktadır.



Kontrol Bölümü

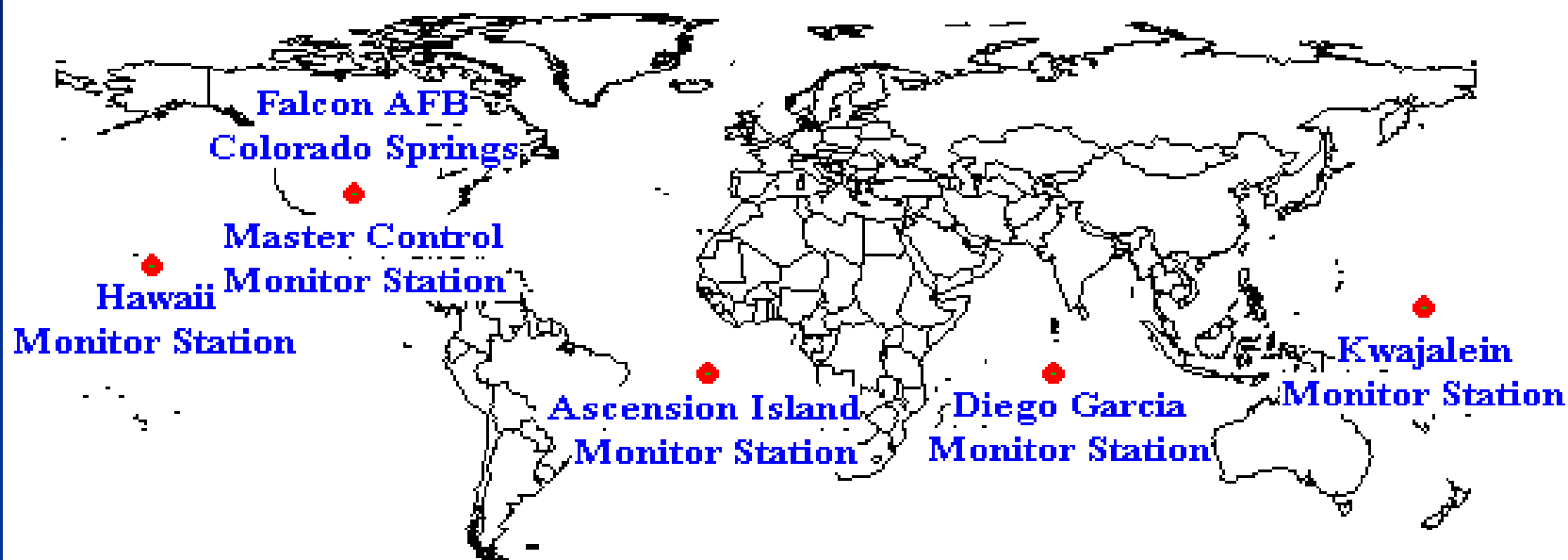
Bu bölüm yeryüzünün çeşitli yerlerine dağılmış 1 ana ve 5 izleme istasyonundan oluşmaktadır. Ana istasyon Colorado'da (USA) dır. Bunun dışındakiler izleme istasyonlarıdır. Yörüngeye yerleştirilmiş tüm GPS uyduları dünya üzerine uygun dağılmış, çok hassas saatlerle donatılmış, konumu iyi bilinen 6 sabit izleme istasyonu tarafından izlenmektedir.



Kontrol Bölümü



✦ Ana Kontrol İstasyonu ◆ İzleme İstasyonu ▲ Yer Anteni



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

Bu istasyonların görevi, günlük olarak uyduların sağlıklı Şekilde çalışmalarını sağlamak, toplanan verileri irdeleyerek uydu yörüngelerini belirlemek, uydu saat düzeltmelerini hesaplamak ve SA etkileri gibi bilgileri uydulara yüklemektir. Ana kontrol istasyonu, tüm sistemin kontrolünden, her bir uydu için uydu efemeris bilgilerinin saat düzeltmelerinin hesabından sorumludur. Diğer 5 istasyon, gözleme istasyonu görevi yapar ve uydu efemerislerinin belirlenmesi için gerekli verileri toplarlar.



Kullanıcı Bölümü

Kullanıcı bölümü, alıcı ve antenden oluşmaktadır.

Kullanım amacına göre :

- Bilimsel amaçlı alıcılar. Hassas çalışmalarda kullanılırlar.
- Pratik amaçlı alıcılar. Anında kabaca 3 boyutu belirlerler.

Kullanım alanlarına göre :

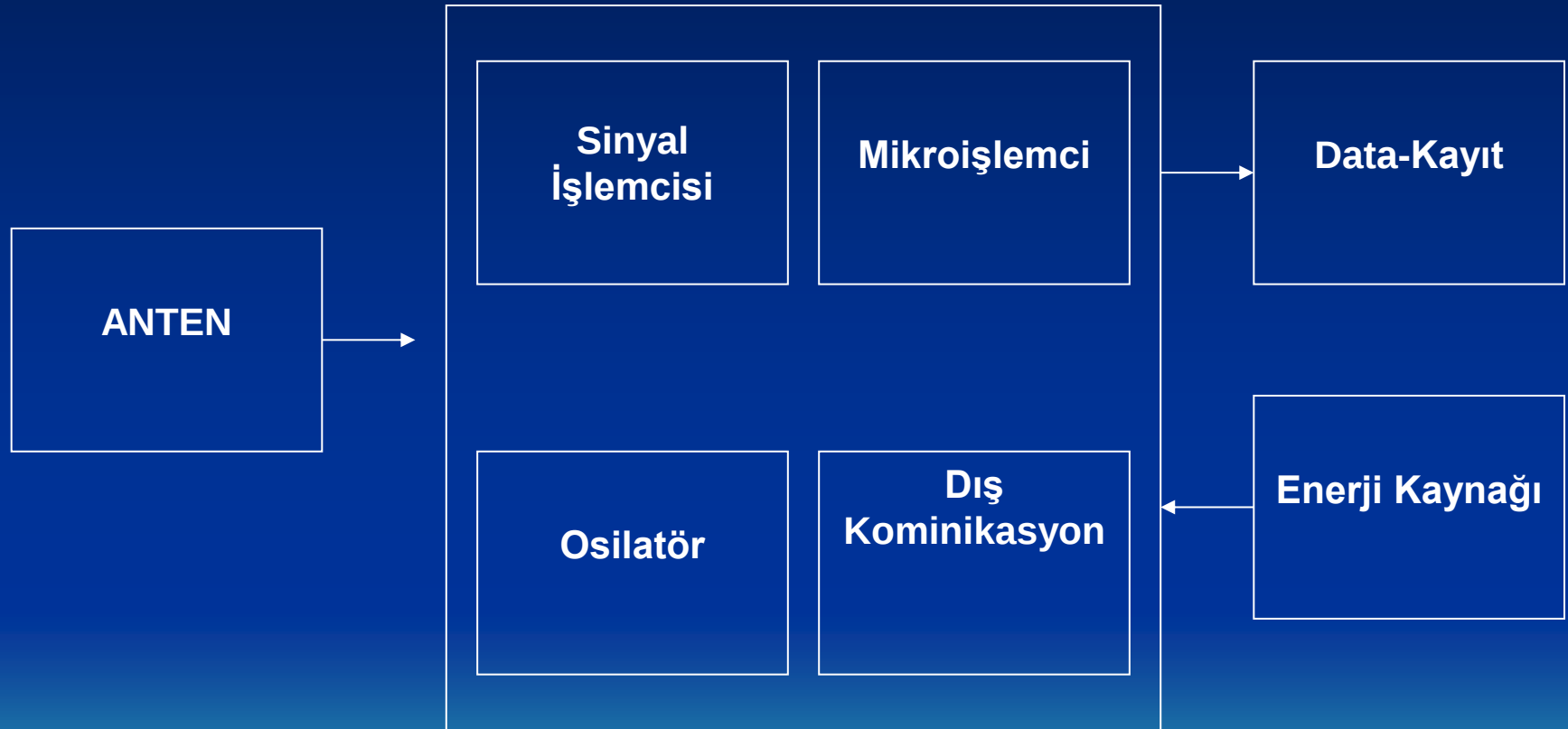
- Askeri amaçlı alıcılar
- Sivil tip alıcılar

Yapılarına göre

- Kanal sayısına göre. Tek ve çift kanallı alıcılar
- Frekanslarına göre. Tek ve çift frekanslı alıcılar



GPS sinyallerini kaydeden aletler 7 alt bölümden oluşur.



- **Anten ve güçlendirici**

Anten, uydudan gelen sinyalleri alır, bu sinyalleri güçlendirdikten sonra sinyal işlemcisi bölümüne gönderir.

- **Sinyal değerlendirme bölümü**

Anten tarafından alınan ve güçlendirildikten sonra kablolarla radyo-frekans kısmına iletilen sinyal, sinyal işlemcisi tarafından değerlendirilir. Bu değerlendirme, sinyal işlemcisindeki kanallarla yapılır. Kod ölçüleriyle pseudorange belirlenir. Sonra veri toplulukları demodüle edilerek eski şekline dönüştürülür.

- **Mikroişlemci**

Mikroişlemci, hesaplamaların yapıldığı bölümdür.

- **Data Kayıt**

Yapılan ölçülerin kayıtları edildiği bölümdür. Kayıt işlemi; alete, bilgisayara, disketlere veya kasetlere yapılabilmektedir.

- **Dış kominikasyon**

Bu kominikasyon bölümünde elle kullanım için klavye ve ekran birimleri vardır.

- **Enerji kaynağı**

Aletin çalışması için gerekli enerjiyi temin eder. Aletler genellikle 12 voltluk enerjiyle çalışmaktadır. İç batarya ve dış batarya kullanılmaktadır.

- **Osilatör**

Işık akımını elektrik akımına dönüştüren bölümdür.



GPS' de Kullanılan Sinyaller

- GPS ölçmelerinde elektromagnetik dalgalar kullanılarak uydulardan kullanıcı bölümüne veri akışı sağlanmaktadır. Her GPS alıcısında iki temel frekans kullanılmaktadır. Bunlar L1 ve L2 dir.
- $f_0 = 10,23 \text{ Mhz}$ lik temel frekansın 154 ve 120 katları alınarak
- L1 $154 \cdot 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz}$
- L2 $120 \cdot 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz}$
- lik frekanslar kullanılarak L1 ve L2 sinyalleri elde edilmektedir. Kontrol bölümü ile uydular arasında S-band, iyonosferik etkilerin etkisinin az olmasından dolayı uydu ile kullanıcı bölümü arasında L-band kullanılmaktadır.
- GPS sisteminde çift frekans kullanılmasının nedeni ;
- L1 frekansı herhangi bir nedenle kesildiğinde L2 frekansı görev yapar.
- Çift frekans özelliğinden yararlanarak iyonosferik düzeltme olanağı sağlamaktadır.

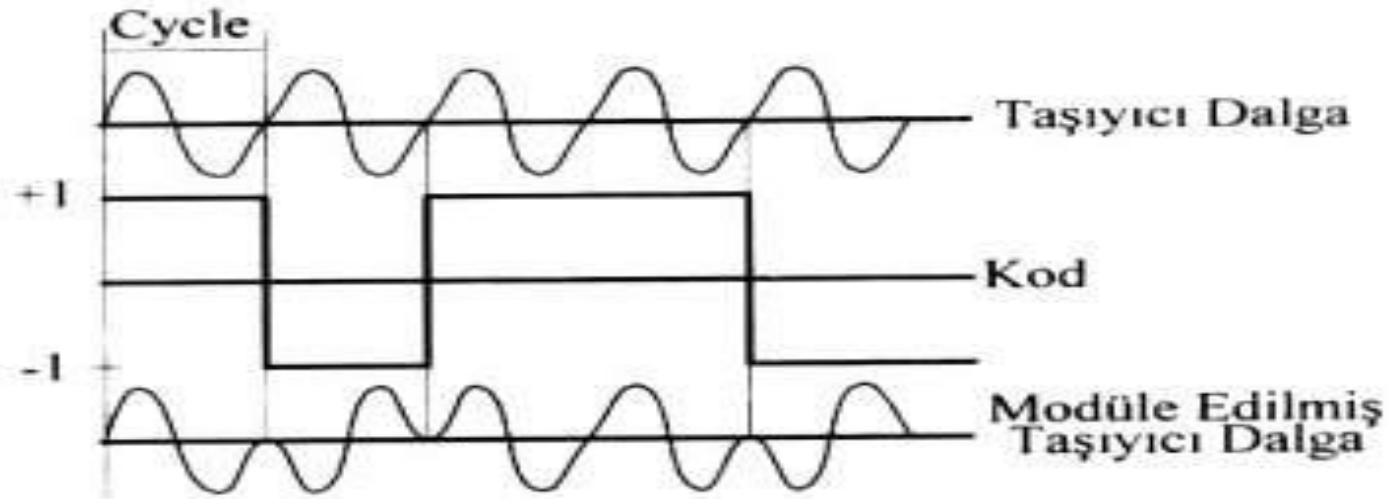


- L1 ve L2 taşıyıcı frekansları, uydu saat düzeltmeleri, yörünge parametreleri gibi bilgilerin yeryüzündeki alıcıya (receiver) ulaştırılabilmesi amacıyla kodlarla ve navigasyon mesajı verileri ile modüle edilmişlerdir. Modülasyon işleminde her bir uyduya tek anlamlı PRN kod numarası verilmiştir. Tüm uydular aynı taşıyıcı frekansla veri yayını yapmasına karşın, uydu sinyalleri kod modülasyonu tekniği nedeniyle birbiri ile karışmamaktadır.
- L1 ve L2 taşıyıcı frekansları üzerinde C/A ve P kodları ile navigasyon mesajı verileri modüle edilmiştir. P kod Mayıs 2000' e kadar L1 taşıyıcı frekansına kapalı idi. Bu tarihten itibaren serbest bırakılmıştır.
- C/A ve P kod durumları +1 ve -1 ifadelerinin karşılığı olan 0 ve 1 li (binary) değerlerle gösterilmiştir. Her bir 0 ve 1 e chip adı verilmektedir. Normal durumdaki taşıyıcı 0 olup, bunun 180° kaydırılması ile 1 elde edilmektedir. Başka bir ifade ile, kod durumunda her değişiklik oluşunda taşıyıcı dalgada 180° lik kayıklık oluşturularak ikili faz modülasyonu (biphase modulation) gerçekleştirilmektedir.



- Uydudan yayınlanan sinyal ile alıcının kaydettiği sinyal dopler etkisi nedeniyle kayık olacaktır. Uydudan yayınlanan sinyal f_s , alıcıda kaydedilen sinyal f_r ise aradaki Df farkı aşağıdaki eşitlerdeki gibi olacaktır.

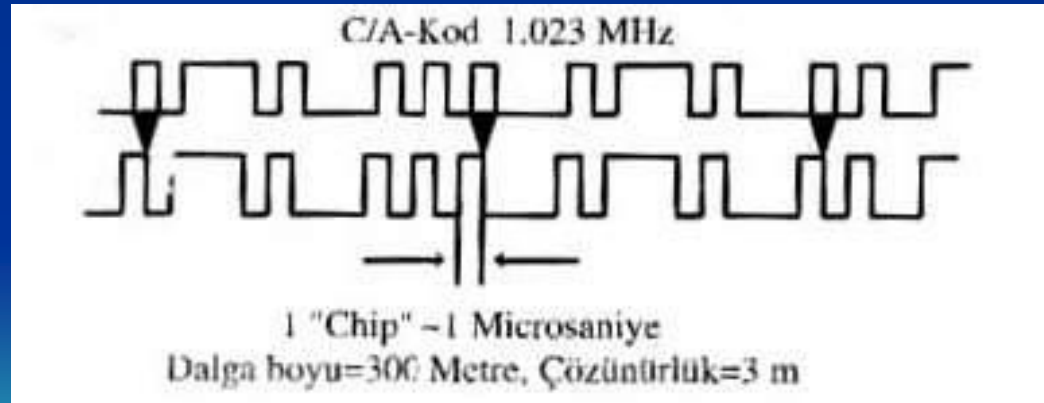
$$Df = f_r - f_s = -\frac{1}{C} \cdot V_s f_s \quad V_s = \frac{d\rho_R^{SV}}{dt}$$



Bileşenin Adı	Frekansı (MHz)	Dalga Boyu (λ)
Temel Frekans	$f_0 = 10,23$	---
L1 taşıyıcı	$154f_0 = 1575,42$	$\sim 19,0$ cm
L2 taşıyıcı	$120f_0 = 1227,60$	$\sim 24,4$ cm
P Kod	$f_0 = 10,23$	30 m
C/A Kod	$f_0/10 = 1,023$	300 m
N Kod	$f_0/20 = 0,5115$	---
Navigasyon Mesajı	$f_0/204600 = 50.10^{-6}$	---

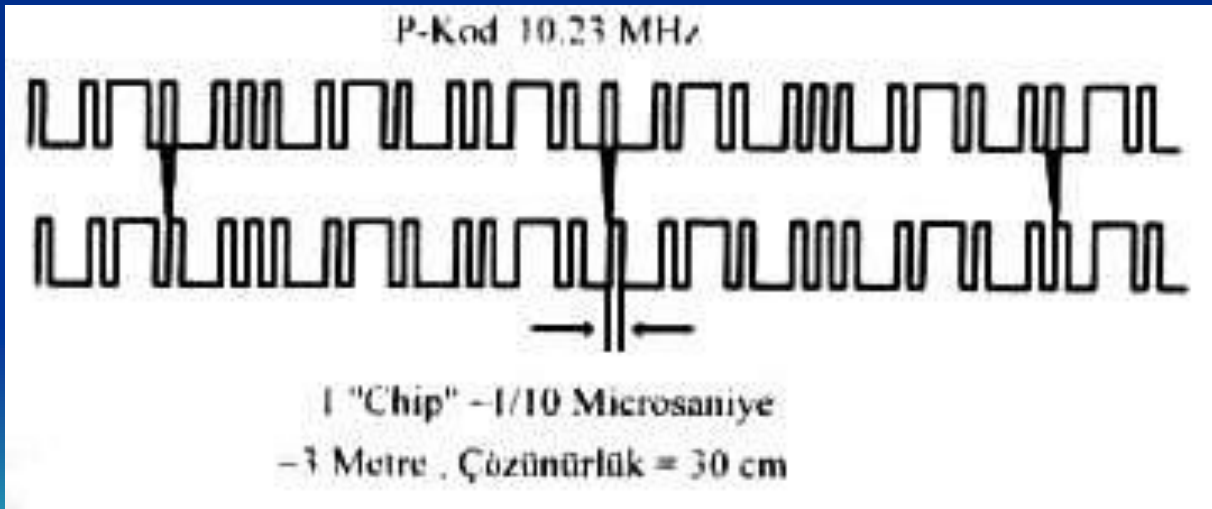
C/A Kod Özellikleri

C/A kod L1 taşıyıcısı üzerine modüle edilmiştir. Bu kod 1 Mhz lik PRN kodu olup, her 1023 bitlik kod sonunda (milisaniyede bir) tekrar etmektedir. C/A kod periyodunun kısa seçilmesinin amacı, GPS alıcılarının uydulara en kısa sürede kilitlenmesini sağlamaktır. PRN kodları bilgi taşımadığı için bunlara chip adı da verilmektedir. C/A kod uzunluğu 1023 chip olup her milisaniyede bir tekrar etmektedir. İki chip arasındaki zaman farkı yaklaşık 1 mikrosaniye olup bu da 300 m lik bir chip uzunluğuna karşılık gelmektedir. Günümüzde sinyal işleme teknikleri ile sinyal çözünürlükleri gözlenen sinyalin dalga boyunun %1 i kadardır. Böylece C/A kodun dalga boyu 300 m, çözünürlüğü 3 m dir.



P Kod Özellikleri

- P kod L1 ve L2 taşıyıcı frekansları üzerine modüle edilmiş olup yaklaşık 266,4 günlük kod uzunluğundadır. Kod uzunluğunun tamamı 37 haftaya bölünmüştür. Herbir uyduya bu 37 haftalık kodun 1 er haftası tahsis edilmiştir. Böylece 37 ayrı PRN P-kodu tahsis edilmiş bulunmaktadır.
- P kodun chip uzunluğu 30 m, çözünürlüğü 30 cm dir.



GPS Navigasyon Mesajı

- Navigasyon mesajı 50 bit/s lik veri hızında C/A ve P kod üzerine modüle edilmiştir.
- Mesajın tamamı 1500 bit uzunluğundadır, her biri 300 bitlik 5 alt bölümden oluşmaktadır.

Alt Bölüm No	İçeriği
1	a. GPS hafta sayısı b. URA (user range accuracy) değeri c. Uydu sağlık durumu d. Uydu saat düzeltmeleri
2-3	a. Efemeris verileri
4	a. Almanak verileri b. UTC-GPS saat düzeltmeleri iyonosferik modellendirme katsayıları bulunmaktadır.
5	Bu bölüm büyük oranda tüm uydular için almanak verilerine ayrılmıştır.

Almanak Bilgisi

Almanak verileri efemeris ve saat parametrelerinin belli bir kısmını kapsamaktadır. Amacı GPS alıcısı ilk açıldığında ölçüye başlamak için uydunun düşük bir şekilde koordinatlarını sağlamak ve ayrıca alıcının uyduya kilitlenmesini sağlamaktır.

Almanak verileri navigasyon mesajının bir bölümü olarak yayınlanmaktadır.

Parametre	Açıklaması
ID	Uydu PRN numarası
Health	Uydu sağlık durumu
Week	Ölçü anındaki GPS haftası
t_a	Epok
a	Elipsoit büyük yarı eksen
e	Dış merkezlik
M_0	Referans epoktaki ortalama anomali
w	Perigee argümanı
δ_c	Ofset değeri ($\approx 54^\circ$) (Eğim düzeltmesi)
I_0	t_a anındaki rektesansın ile t_0 zamanındaki Greenwich Yıldız zamanı arasındaki fark
W	Yükselen düğüm noktasının rektesans değişimi
a_0	Uydu saati faz sapması (bias)
a_1	Uydu saati frekans sapması (bias)

GPS' de Kullanılan Koordinat Sistemleri

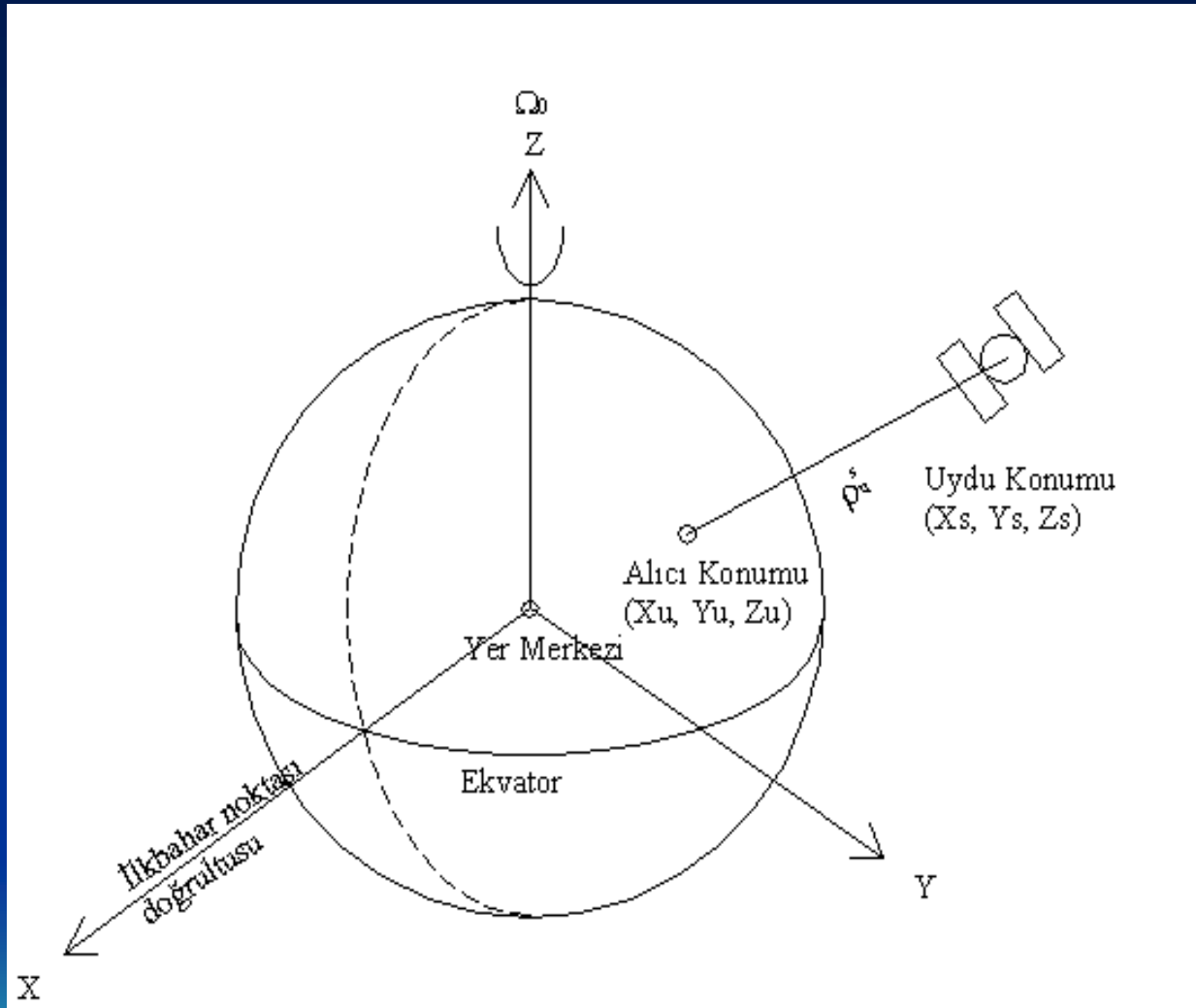
- Jeodezinin temel amacı yeryüzündeki noktaların üç boyutlu konumlarını belirlemektir. Uydulara dayalı koordinat belirlerken iki temel koordinat sistemi kullanılmaktadır.
 - Uzay sabit koordinat sistemi (inertial)
 - Yer sabit koordinat sistemi
- Referans sistemleri, Uluslararası Jeodezi Birliği (IAG) ile Uluslararası Astronomi Birliği (IAU)'nin organizasyonunda IERS tarafından yürütülmektedir. Her bir uydu jeodezisi tekniği için (VLBI, SLR, LLR, GPS) IERS analiz merkezleri kurulmuştur. Bu merkez bürosu sonuçları birleştirip yayınlar. ICRF ve ITRF sistemlerini tanımlar.



Yer Merkezli İnertial Koordinat Sistemi (ECI)

- GPS tekniğinde kullanılan uydu yörüngelerinin ölçülmesi ve belirlenmesinde ECI koordinat sistemi kullanılmaktadır. Bu koordinat sisteminin başlangıç noktası yer merkezidir. Bu sistemde GPS uyduları yeryüzü etrafında Newton Yasalarına göre hareket ederler. ECI koordinat sisteminde XY düzlemi yer ekvator düzlemi ile çakışık, Y eksenini kuzey kutbu doğrultusundadır.





- ECI koordinat sistemini tanımlarken yeryüzünün düzensiz hareketlerinden dolayı birtakım sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ay ve Güneş ekvator üzerindeki çekim etkisi nedeniyle ekvator düzlemi gök küreye göre hareket halindedir. X eksenini gök küreye, Z eksenini ekvator düzlemine göre tanımlandığından yerin güneş etrafındaki hareketindeki düzensizlikler ECI sisteminin yukarıda tanımlandığı gibi gerçekte tam anlamıyla inersiyal olmamasına neden olmaktadır. Bu sorunun çözümü için koordinat sistemi eksenlerinin yönlendirilmesi belirli bir an veya epoka göre tanımlanmaktadır. GPS ECI koordinat sistemi 01 Ocak 2000 tarih 12:00 UTC zamanındaki J.2000.00 olarak da ifade edilmekte, ortalama ekvator ve ekinoks ile çakışık kabul edilmektedir.
- Bu şekilde tanımlanan koordinat sistemine Ortalama Gök Referans Sistemi (MCRS) ya da Geleneksel Gök Referans Sistemi (CCRS) denilmektedir. Bu sistemde;
 - +X eksenini yeryüzü kitle merkezinden ilkbahar noktası doğrultusunda,
 - +Y ve +Z eksenleri yukarıda açıklandığı şekildedir.



Yer Merkezli Yer Sabit Koordinat Sistemi (ECEF)

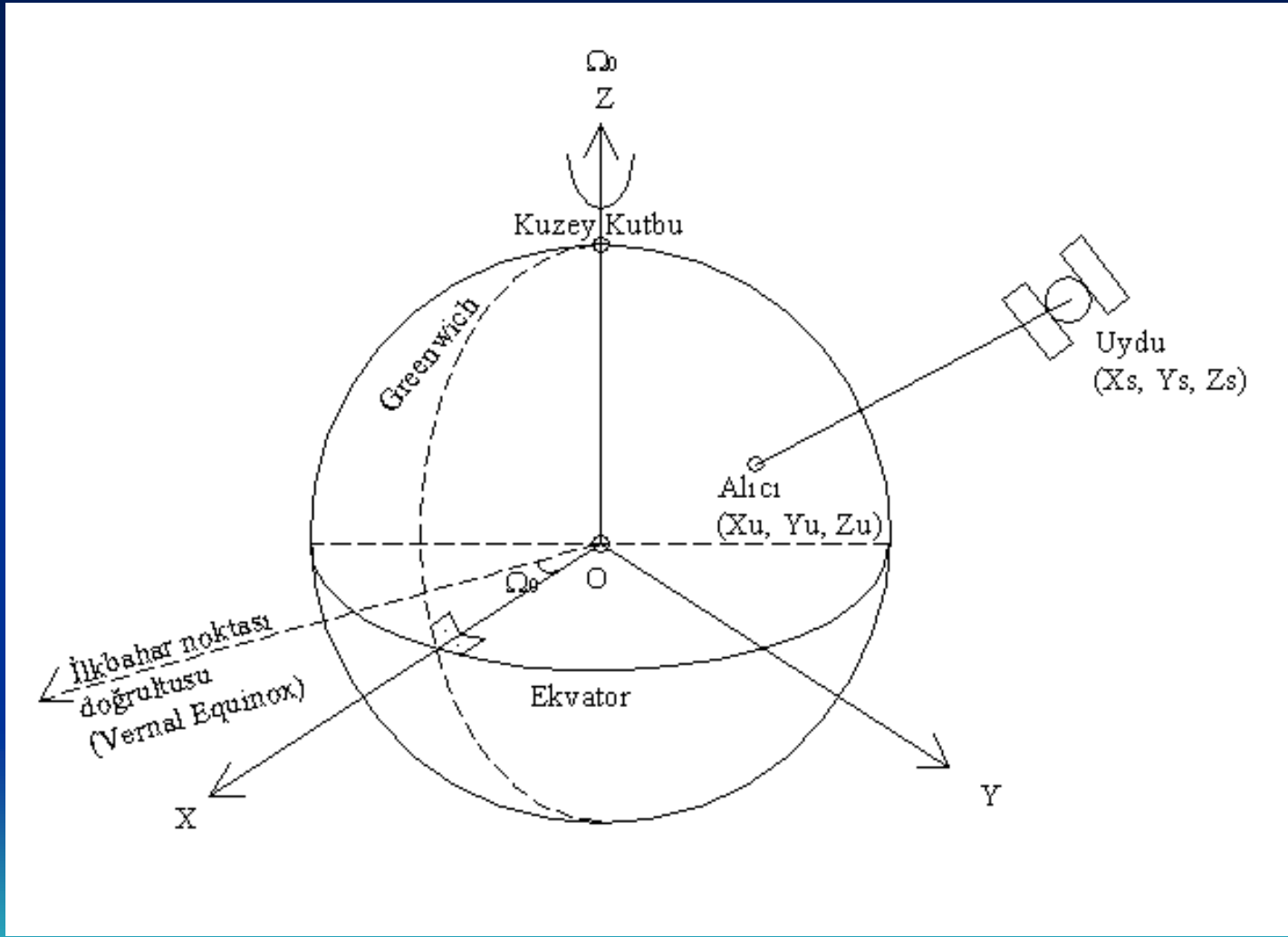
- Yeryüzünde ölçü yapılan bir noktanın koordinatları yeryüzü ile birlikte dönen bir koordinat sisteminde tanımlanmaktadır. Bu koordinat sistemine Yer Merkezli Yer Sabit (ECEF) Koordinat Sistemi denilmektedir. ECEF koordinat sistemi şöyle tanımlanmaktadır.
- ECEF koordinat sisteminin merkezi yer kütle merkezi ile çakışıktır.
- Z eksenini coğrafi kuzey doğrultusunda ekvator düzlemine diktir.
- X eksenini ortalama Greenwich meridyeni ile çakışık olup, doğrultusu sıfır derece boylamdır.
- Y eksenini 90° doğu boylam doğrultusunda olup sağ el koordinat sistemini oluşturur.



- Bu tanımlara göre X, Y eksenleri yer ile birlikte dönmektedir. ECEF, yeryüzünde tesis edilmiş ve referans (sabit) fiziksel nokta olarak bilinen çok sayıdaki yer kontrol noktasında yapılan ölçümler sonucu belirlenmiş Jeosentrik (Yer merkezli) koordinatlar (X, Y, Z) ile tanımlanmıştır. Bu sabit noktaların çoğuna SLR ve VLBI aletleri tesis edilmiştir. Bu referans sistemine örnek olarak IERS verilebilir. IERS tarafından bu şekilde kurulmuş olan referans sistemine ITRF adı verilmektedir.



IERS her yıl dönme parametrelerini belirlerken ve ITRF sistemini oluştururken bir çok uydu tekniğinden yararlanmaktadır.



ITRF SİSTEMİ

- 1988 yılında IERS tarafından gerçekleştirilmiştir.
- VLBI, SLR, LLR istasyonlarındaki ölçülerin birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanmıştır.
- İlk olarak ITRF-88 adını almış ve güncelleştirildikçe ITRF-89, ITRF-90.....ITRF-2000 koordinat sistemi ve istasyonların kartezyen koordinatları ve hız vektörleri hesaplanmıştır.
- ITRF' in güncelleştirmeleri arasındaki dönüşümler dönüşüm parametreleri ve hız vektörleri kullanılarak gerçekleştirilir.
- Eksenleri WGS-84 sistemi gibi yönlendirilir.



WGS 84 Sistemi

- Bu sistem Dünya Jeodezik Sistemi 1984 olarak da tanımlanmaktadır. Sistemin kurucusu ABD savunma dairesi (DoD)'dur.
- GPS uydularından yayınlanan Navigasyon mesajı içersindeki uydu yörünge bilgileri WGS-84 sistemindedir.
- Orijini yerin ağırlık merkezidir
- Z eksenini, 1984 yılının başlangıcındaki kutba yönelik.
- X eksenini 1984 yılının başlangıcı için Greenwich ortalama astronomik meridyeni ile Z eksenine yerin ağırlık merkezinde dik ekvator düzleminin arakesiti
- Y eksenini iki eksene dik ve sağ sistem oluşturacak doğrultuda belirlenmiştir.



WGS-84 ile ITRF arasındaki bağıntı

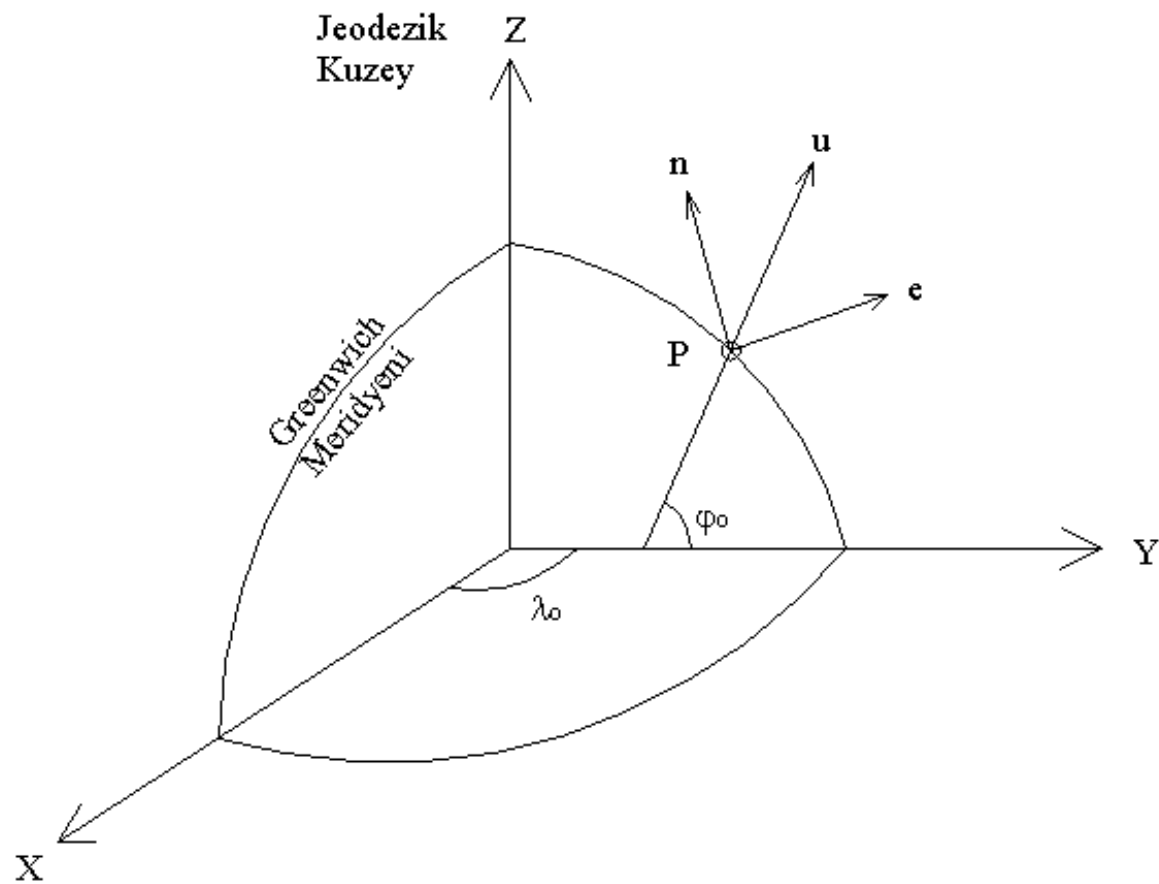
- WGS-84 sistemi ile ITRF sistemi arasındaki ilişkiyi belirlemek ve WGS-84 sisteminin doğruluğunu arttırmak için 24 IGS ve 10 DoD noktasında eşzamanlı GPS ölçüsü yapılmış, 8 IGS noktalarının ITRF-91 koordinatları sabit alınarak DoD noktalarının koordinatları yeniden hesaplanmıştır. Nokta koordinatlarını ortak bir epoka getirmek için NUVEL NNR-1 plaka hareketi modeli kullanılmıştır.
- 1996-1997 yıllarında 11 adet IGS noktasının ITRF-94 koordinatları esas alınarak bu noktalarda gerçekleştirilen GPS ölçüleri değerlendirilmiş ve WGS-84 ITRF' e yaklaştırılmıştır. Bunun sonucu olarak elde edilen referans sistemi WGS-84(G873) olarak adlandırılmıştır.



Yerel Koordinat Sistemi (LGS)

- Bu sistemde de başlangıç noktası GPS alıcı anteninin üzerine kurulduğu noktadır. Bu sistem toposentrik koordinat sistemi olarak da adlandırılmaktadır. Koordinat eksenleri n, e, u harfleri ile gösterilirse;
- n-ekseni jeodezik kuzeyi göstermekte,
- e-ekseni jeodezi doğuyu göstermekte,
- u-ekseni alıcı anteninin kurulduğu noktanın elipsoit normalini göstermektedir.
- Böylece n ve e eksenleri yerel jeodezik ufuk düzlemini göstermektedir. LGS sisteminin uzaydaki yönlendirilmesi jeodezik enlem ve boylama göre yapılmaktadır.



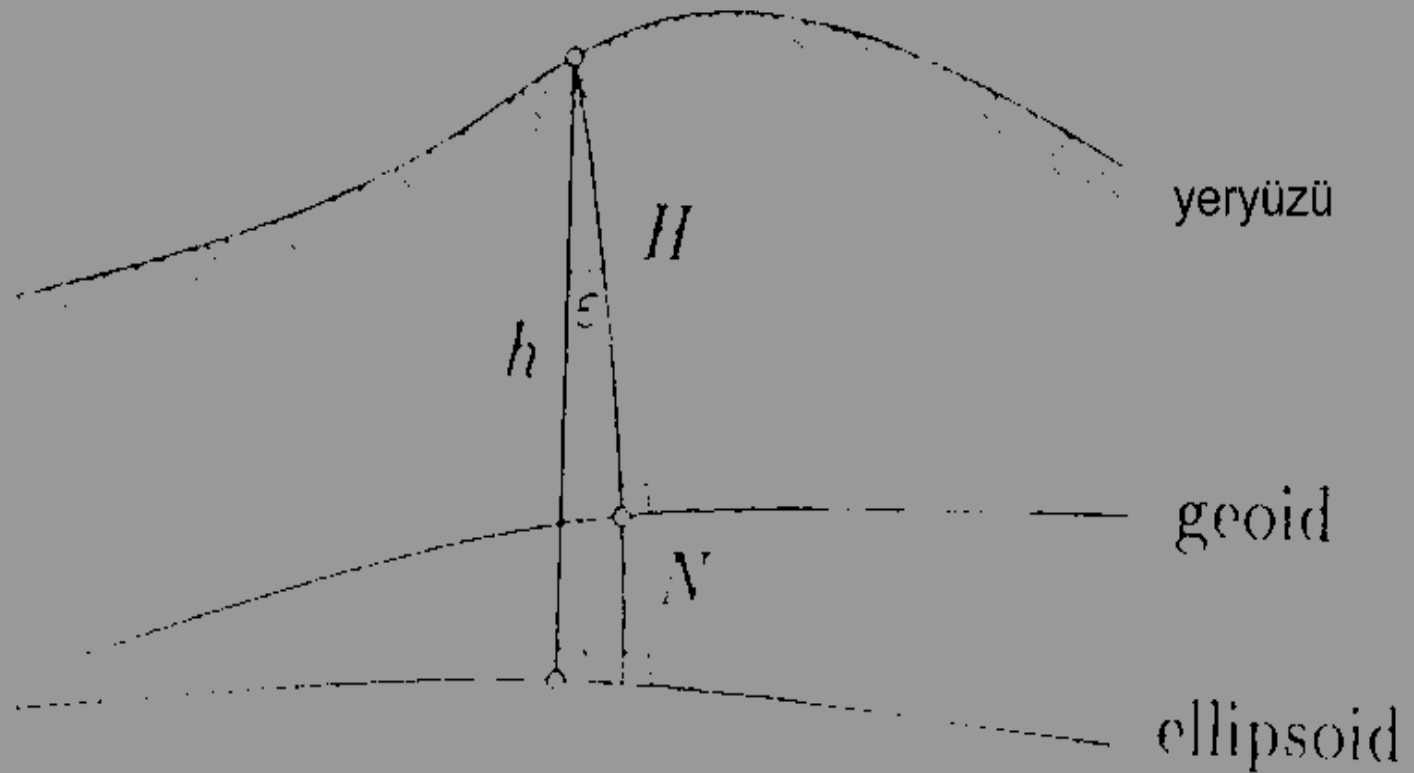


Koordinat Sistemi Arasındaki Dönüşümler

ECEF Koordinatlarından (X, Y, Z) Jeodezik Koordinatlara (φ , λ , h) Dönüşüm

- ECEF koordinat sistemi WGS-84 referans elipsoidi ile birlikte kullanılmaktadır. Her iki sistemde de yerin ağırlık merkezi orijindir. Jeodezik dik koordinatlardan jeodezik koordinatlara dönüşüm yapılarak φ ve λ hesaplanır. Yükseklik için;
- $h = H + N$
- eşitliği kullanılır. Bu eşitlikte,
- h : P noktasının elipsoit yüksekliği
- H : P noktasının ortometrik yüksekliği
- N : P noktasının jeoit yüksekliği





Jeodezik Koordinatlardan (φ, λ, h) ECEF Koordinatlarına (X, Y, Z) Dönüşüm

Jeodezik koordinatlardan ECEF koordinatları aşağıdaki eşitliğinden bulunur. h noktanın elipsoit yüksekliği, N meridyen yarıçapıdır.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda \\ (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ (1 - e^2) \cdot (N + h) \cdot \sin \varphi \end{bmatrix}$$

$$N = \frac{a_0}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$



GPS'de Kullanılan Zaman Sistemleri

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

- **Dinamik Zaman Sistemi**

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 (TDT) Sistemi denilmektedir. TDT yer gravite alanı içerisindeki hareket için düzenli bir zaman ölçeği oluşturmaktadır.



Atomik Zaman

- Bilimsel çalışmalarda temel zaman ölçeği olarak Uluslararası Atomik Zaman (TAI) kullanılmaktadır. TAI' nin hesaplanmasından BIPM ve IERS sorumludur. TAI sürekli bir zaman ölçeğidir. TDT 'nin uygulamaya uygun şekli gibi de düşünülebilir. Bu nedenle aralarındaki ilişki,
- $TDT = TAI - 32s.184$
- olarak verilmektedir. TAI ile GPS zamanı arasında 19 saniyelik bir kayıklık vardır.
- $TAI = GPS + 19s.00$



- **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 olup, günümüzde TTRS ve TCRS sistemleri arasındaki dönüşümde açısal büyüklük olarak kullanılmaktadır.

- **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 1609 yılında “Astronomi Nova” adlı eserinde gezegen hareketleri ile ilgili iki kanun yer almıştır. 1619 yılında da “Harmonica Mundi Libri V” adlı eserinde üçüncü kanuna yer vermiştir. Bu üç kanun “Keppler Yasaları” olarak bilinmektedir. Bu yasalara göre:



Bu yasalara 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

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

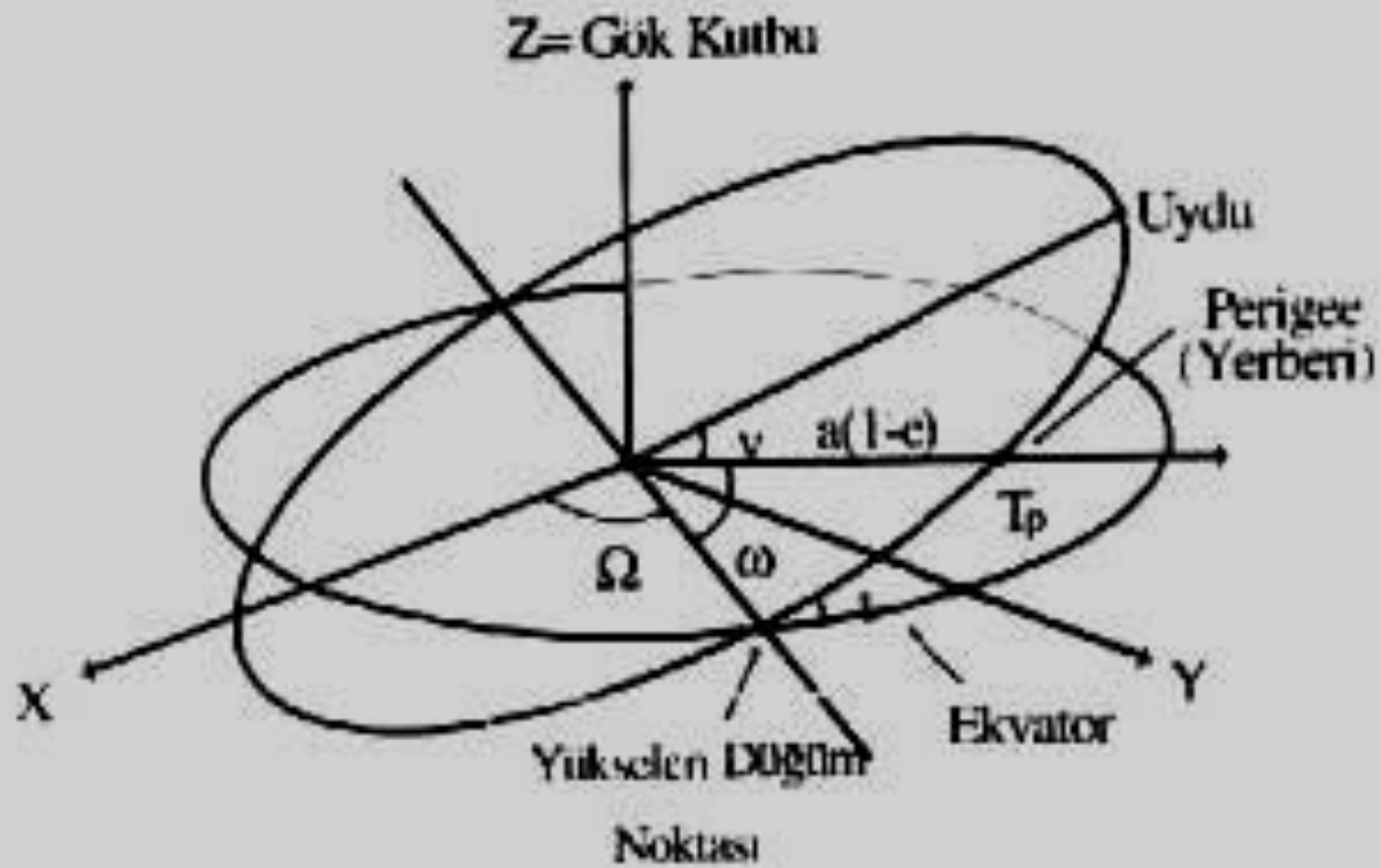


- Kepler yasaları büyük oranda yer etrafında hareket eden uydular için de geçerlidir. Bu nedenle güneş yerine “yer”, gezegen yerine “uydu” kullanılabilir. Tablo da yapay uydular için yörünge elemanları verilmiş ve gök koordinat sistemine göre yörünge düzlemindeki Kepler elemanları Şekil de gösterilmiştir. Kepler elemanları olan (a , e , T_p) yörüngenin şeklini belirtmektedir. Diğer üç eleman (i , Ω , w) ise yörüngenin ECEF koordinat sisteminde yönlendirilmesini sağlamaktadır.



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 ($e \leq 0,01$)
T_p	Prigee geçiş anı

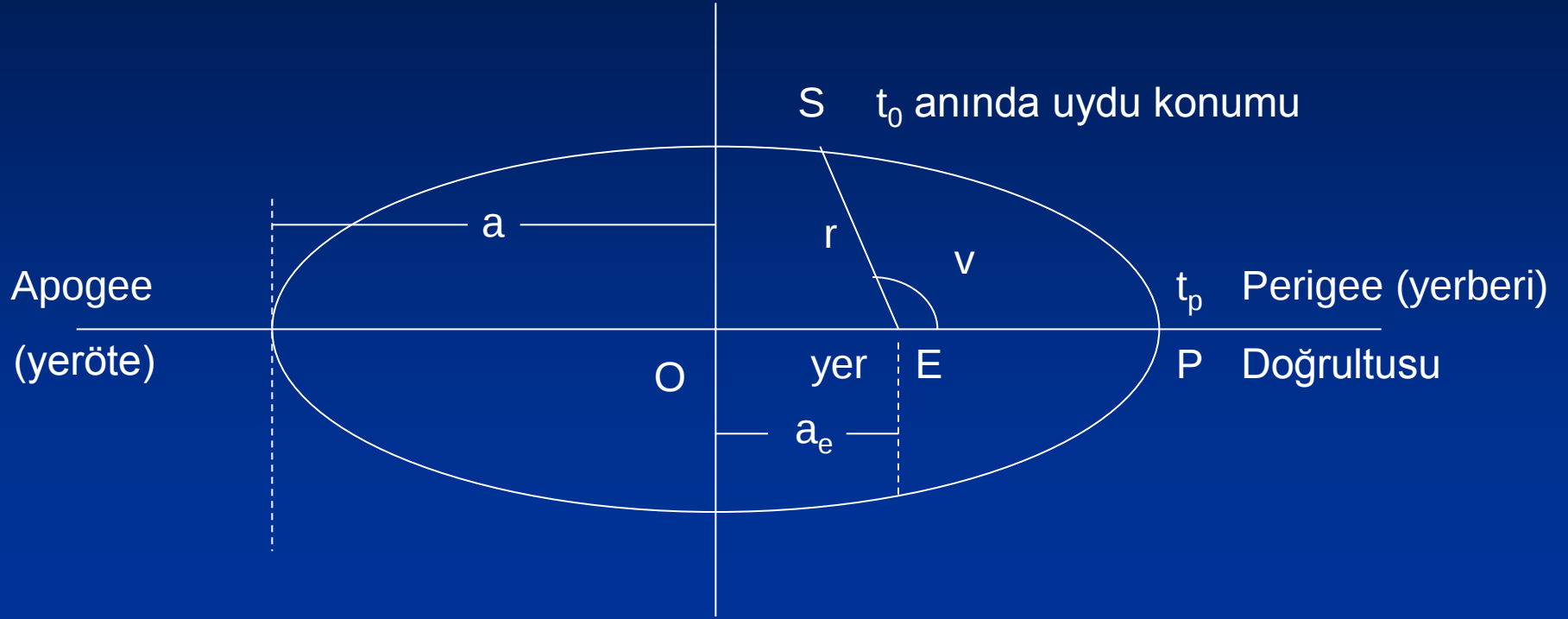




Uydu Yörünge Hareketi

- 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.





- Burada; a , uydu yörüngesinin büyük yarı eksen, e yörünge dışmerkezliği ve T_p perigee geçiş anını göstermektedir. Şekildeki yörünge odak noktası E olan bir elipstir ve bu da yerin ağırlık merkezine karşılık gelmektedir. Kısaca E noktası ECI veya ECEF koordinat sisteminin başlangıç noktasıdır. t_0 anı uydunun yörüngedeki belli bir anda bulunduğu noktayı belirlemekte ve “epok” olarak tanımlanmaktadır. Epok, GPS efemeris mesajının bir parçası olarak yayınlanmakta ve efemeris zamanı TOE adını almaktadır. P noktası uydunun yer merkezine en yakın noktası olup yerberi (perigee) adını alır, uydunun bu noktadan geçişine “perigee geçiş anı” denir ve T_p ile gösterilir. V gerçek anomali olarak tanımlanır. Gerçek anomali zamanla orantılı lineer bir değişim göstermediği için zamana bağlı lineer değişim gösteren “ortalama anomali” kullanılır.



GPS Uydu Yörüngeleri (Efemerisler)

- Anlık konum belirlemede GPS navigasyon mesajının bir parçası olarak yayınlanan yayın (broadcast) efemerisi ve saat bilgileri kullanılmaktadır. Öte yandan 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.



- **Yayın Efemerisi (Broadcast Efemeris)**

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. Yayın efemerisi WGS84 sistemindedir.

- **NGS Duyarlı Efemerisi**

Bu efemeris gözlem anından itibaren 2-6 gün arasında kullanıcıların hizmetine internet aracılığı ile sunulmaktadır. NGS efemerisi ITRF sisteminde IERS noktalarına ait duyarlı koordinatlar kullanılarak hesaplanır ve SP3 formatında ASCII olarak üretilmektedir.

- **IGS Duyarlı Efemerisi**

IGS efemeris bilgilerinin üretimi 21 Haziran 1992 de gerçekleştirilen deneme amaçlı bir GPS ölçü kampanyası ile başlatılmıştır. Açıklanan 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.



GPS ile yapılan Gözlemler ve Kullanılan Matematiksel Modeller

GPS ile iki temel büyüklük gözlenmektedir.

- Kod (Pseudorange)
- Taşıyıcı dalga fazı.

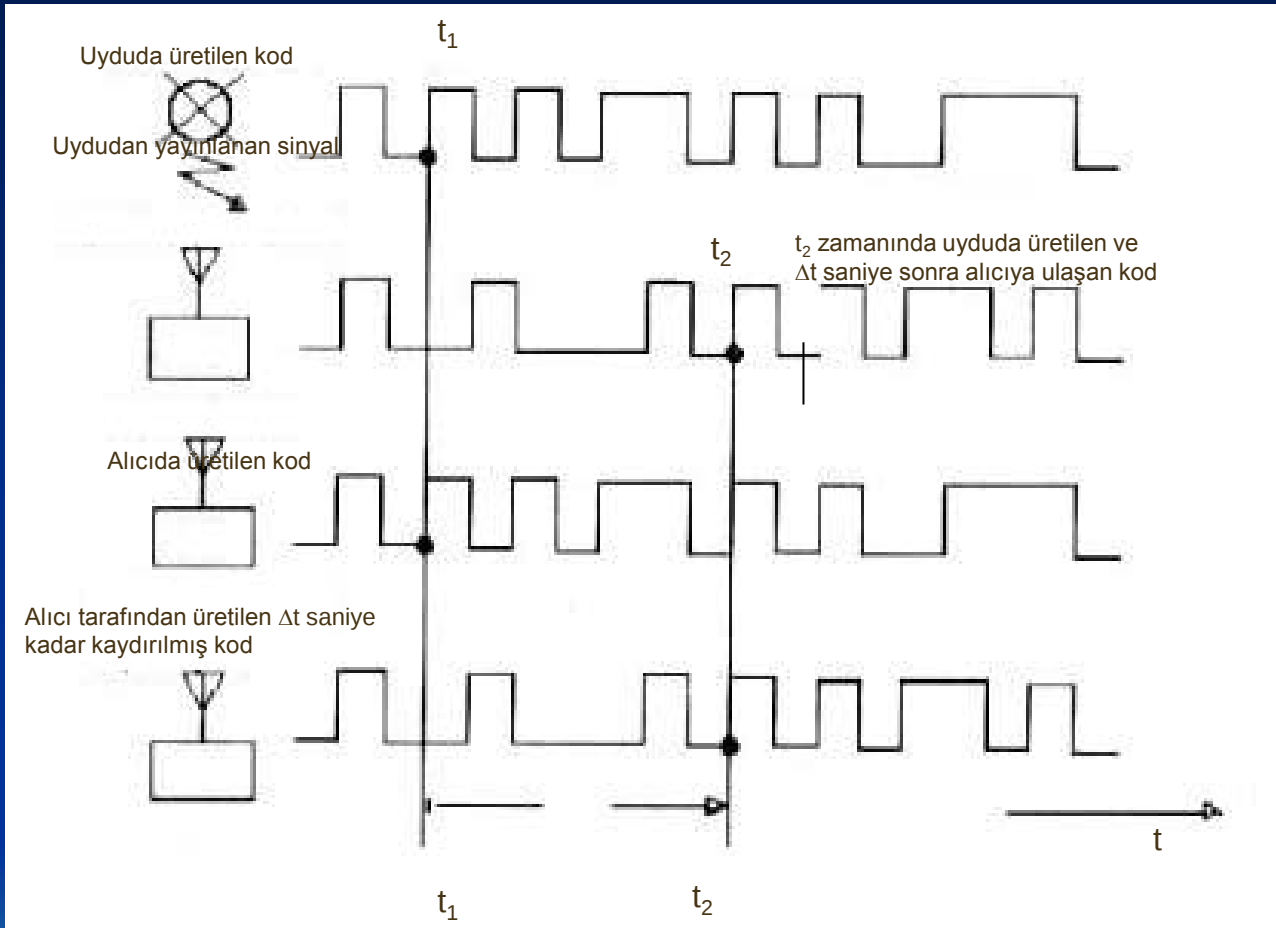
Yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda ve bilimsel çalışmalarda faz gözlemleri, navigasyon amaçlı (real time) uygulamalarda ise pseudorange ölçüleri kullanılmaktadır. Jeodezik amaçlı GPS ölçülerinde doğrudan faz ölçüleri kullanmak yerine bunlardan yararlanarak elde edilen lineer kombinasyonlar ve fark gözlemleri kullanılmaktadır.



Kod (Pseudorange) Gözlemleri ve Uydu-Alıcı Uzaklığının Hesabında Matematiksel Modeller

- Pseudorange, uydudan yayınlanan sinyalin uydudan çıkış anı ile alıcıya ulaştığı ana kadar geçen zamanın ışık hızı ile ölçeklendirilmesiyle elde edilen uydu-alıcı arasındaki ham uzunluktur. Sinyalin uyduyu terk ettiği andan 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 farklı olacaktır. Bu nedenle modellendirilemeyen saat hatalarının neden olduğu sapmalar (bias) nedeniyle elde edilen uydu-alıcı uzaklığına pseudorange (ham uzunluk) adı verilmektedir.





Uydu ve alıcı saatlerinin GPS zamanı ile çakışık olduğu, yani saat hatasının olmadığı ve uydudan alıcıya ulaşan sinyalin atmosferik etkilerin olmadığı bir ortamda yayıldığı kabul edilirse, sinyal uydudan alıcıya ulaşana kadar geçen zamanın ışık hızıyla çarpılmasıyla pseudorange elde edilmektedir.

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

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 ρ_R^S



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

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
- Alıcı anteninin koordinatları (X_R, Y_R, Z_R)
- İyonosferik etki
- Troposferik etkidir.

Uydu saatleri kontrol altında tutulabilir ve atomik saatlerin kullanılması ile uydu saat hataları yok edilebilmektedir. Alıcı saatlerinde durum farklıdır. Bunların 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

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

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

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

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

6

şeklinde yazılabilir. Bu eşitliklerin çözümü için farklı teknikler mevcuttur. 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;

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

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

7

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

olup bilinmeyenlerin dengeli değerleri arasında

$$Li + Vi = f(X_0 + \delta X, Y_0 + \delta Y, Z_0 + \delta Z)$$

8

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

9



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

- elde edilir. 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



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

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 Gözlemi ve Uydu-Alıcı Uzaklığının Hesabında Matematiksel Modeller

- Faz gözlemleri GPS ölçmelerinde en çok kullanılan gözlemlerdir. Faz gözlemleri taşıyıcı dalganın C/A ve P kodları yerine modüle edilmemiş L_1 ve L_2 sinyalleri ile yapılmaktadır. Taşıyıcı dalga fazı pseudorange gözlemlerindeki gibi elde edilmektedir. Yani, 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 referans sinyalinin fazı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Örneğin L_1 taşıyıcının dalga boyu



- 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 $\phi^{SV}(t^{SV})$, tSV uydu saati zamanında yayınlanan sinyalin fazını, $\phi_R(t_R)$ ise alıcının uydu sinyalini aldığı tR zamanında alıcıda üretilen fazı göstermektedir.



Pseudorange gözlemi ile faz gözlemi arasındaki farklar şunlardır:

- Pseudorange 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 ölçüleri ise yavaşladığından iyonosfer düzeltmesi kod gözlemleri için (+) işaretlidir.
- Faz ölçülerinin doğruluğu kod ölçüleri doğruluğundan daha yüksektir.



- eşitliği yukarıdaki bilgiler çerçevesinde yazarsak:

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

$\phi_R^{SV}(t)$ 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

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



Faz Farkı Modelleri

GPS ile kod ve faz gözlemleri yapılmaktadır. 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

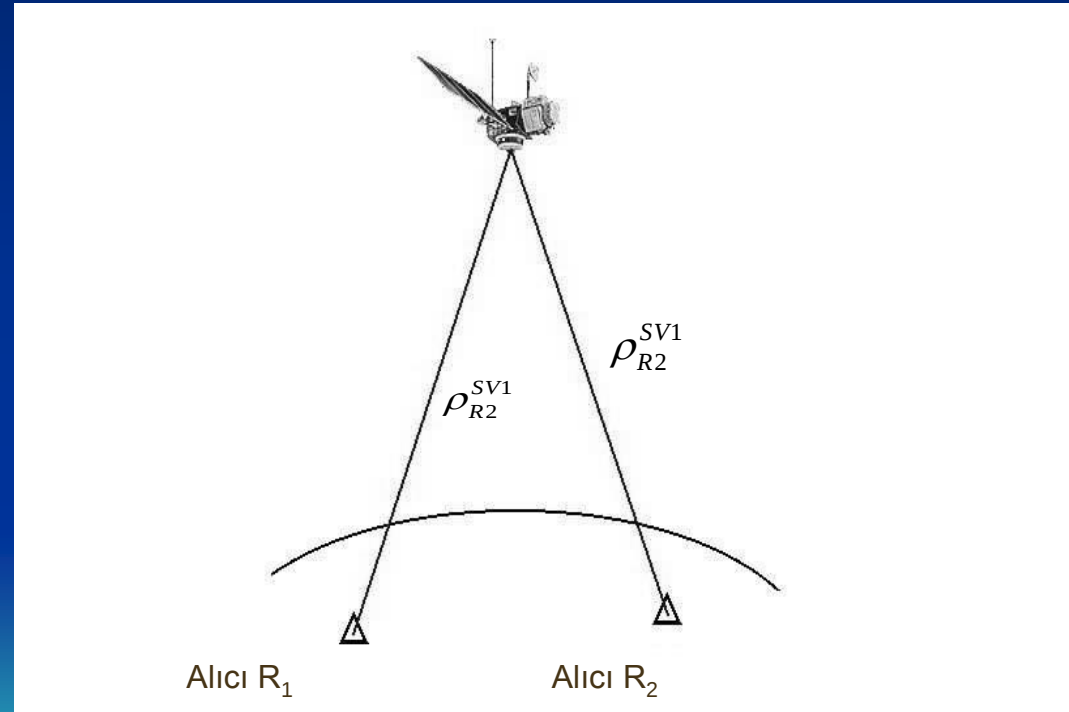
- Alıcılar arasında
- Uydular arasında
- Ölçü epokları arasında veya
- L1 ve L2 frekansları arasında yapılmaktadır



Tekli Farklar

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

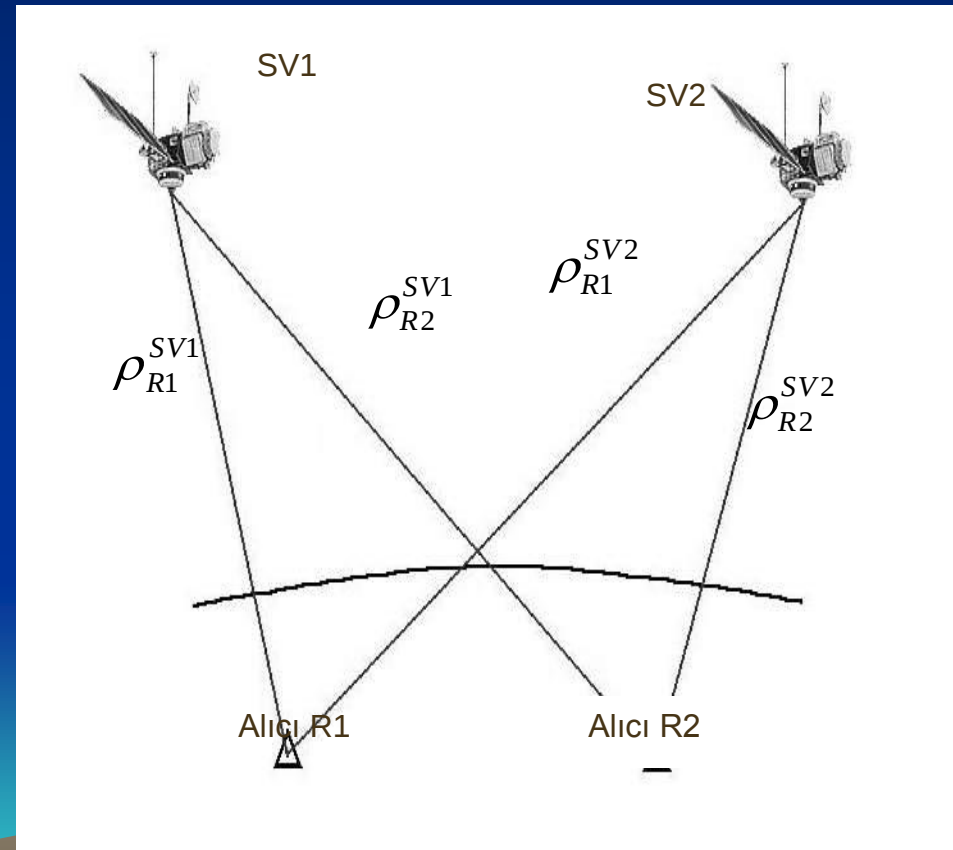
- İki farklı alıcı noktasında aynı uyduya eş zamanlı olarak yapılan faz gözlemleri arasındaki farklar anlaşılır. Bu yöntemle temel olarak uydu saat hataları giderilmektedir. Tekli fark, uydular arasında aynı bir alıcı için oluşturulursa bu durumda alıcı saati hataları giderilmiş olur.



İkili Farklar

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

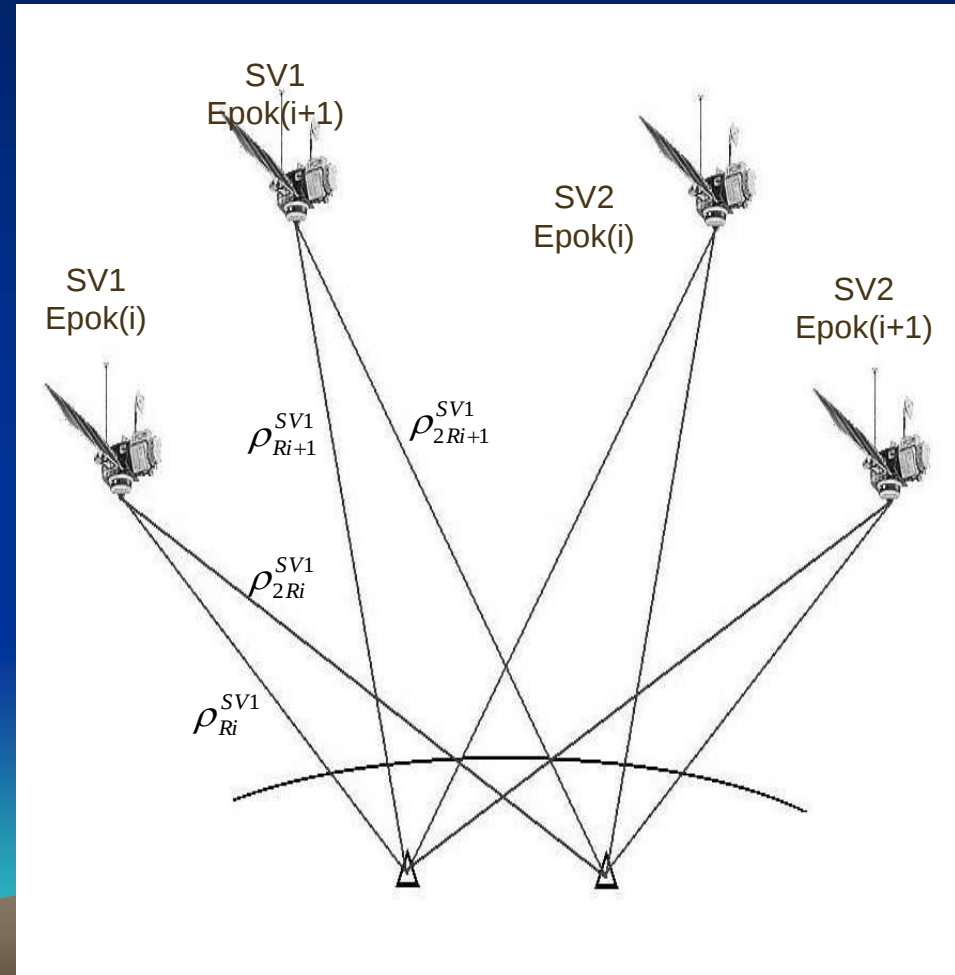
- İki tekli farkın farkı olarak tanımlanabilir. Başka bir anlamda, aynı epokta iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasındaki farktır. Bu yöntemle uydu ve alıcı saat hatalarının her ikisi birden giderilmektedir. Genel olarak bu eşitlik GPS ölçülerini değerlendirme yazılımlarında temel gözlem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

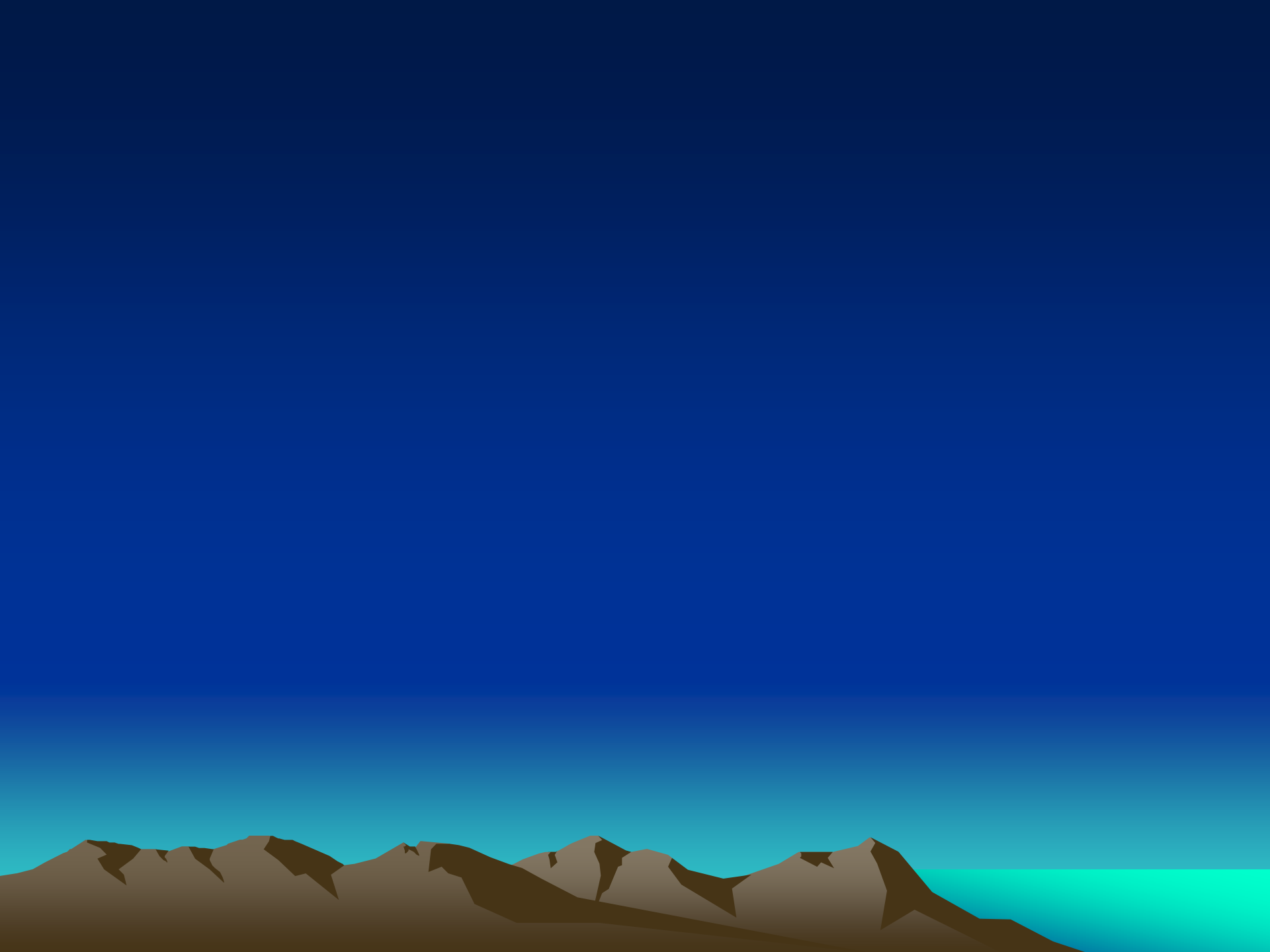


Üçlü Farklar

$$\Delta\Delta\Delta_{R1R1}^{SV1SV2}(t_i, t_{i+1}) = \Delta\Delta_{R1R1}^{SV1SV2}(t_{i+1}) - \Delta\Delta_{R1R1}^{SV1SV2}(t_i)$$

- 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

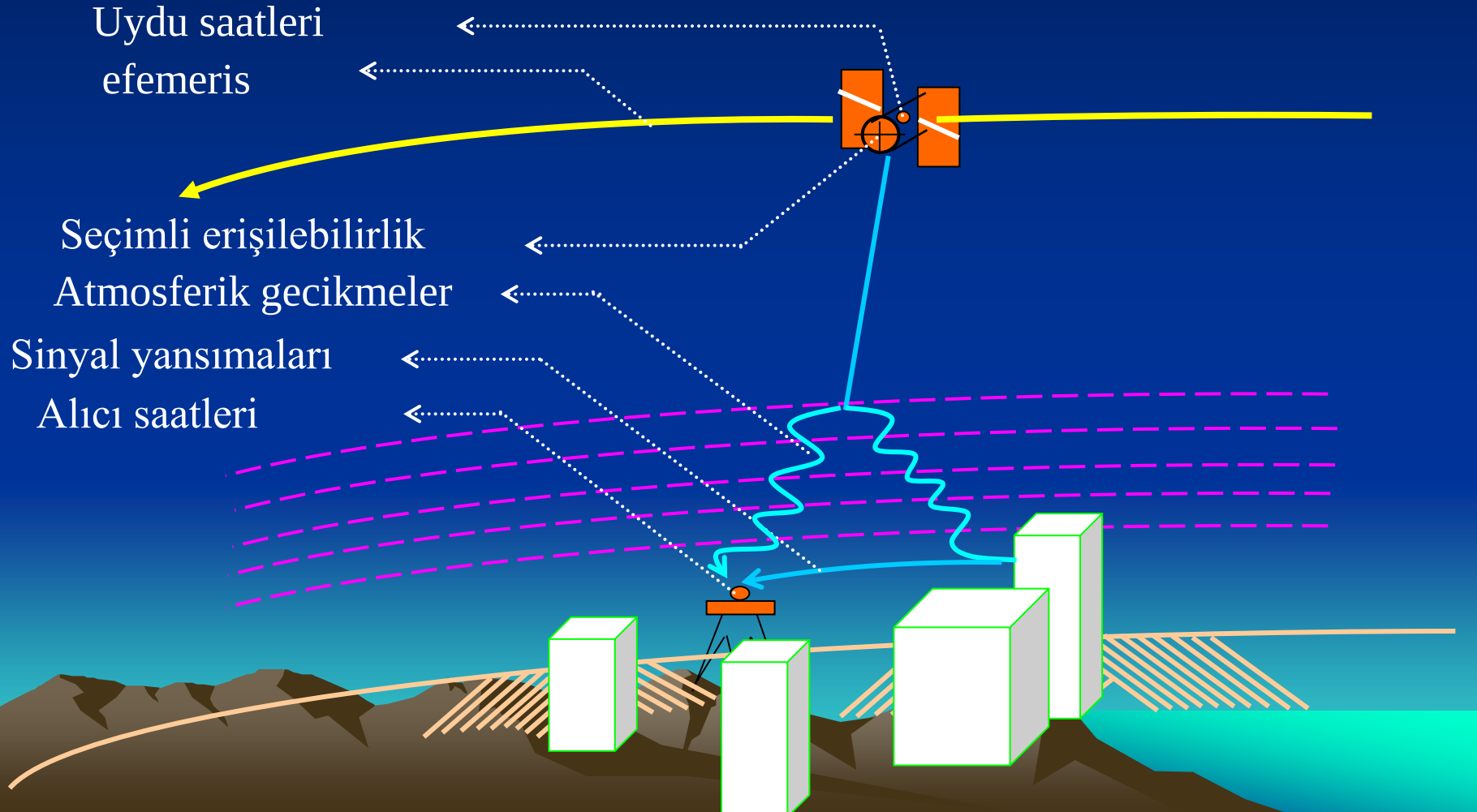
- Uydu efemeris hataları
- Uydu saat hataları
- Atmosferik hatalar
 - İyonosferik etki
 - Troposferik etki
 - Uydu görünüm açısı
- Sinyal yansıma (Multipath) etkisi
- Anten faz merkezi hataları
- Taşıyıcı dalga faz belirsizliği (Ambiguity) ve faz kesiklikleri (cycle-slips)
- Seçimli doğruluk erişimi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

- Uyduların yayınlanan yörüngelerindeki hatalar
- 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.

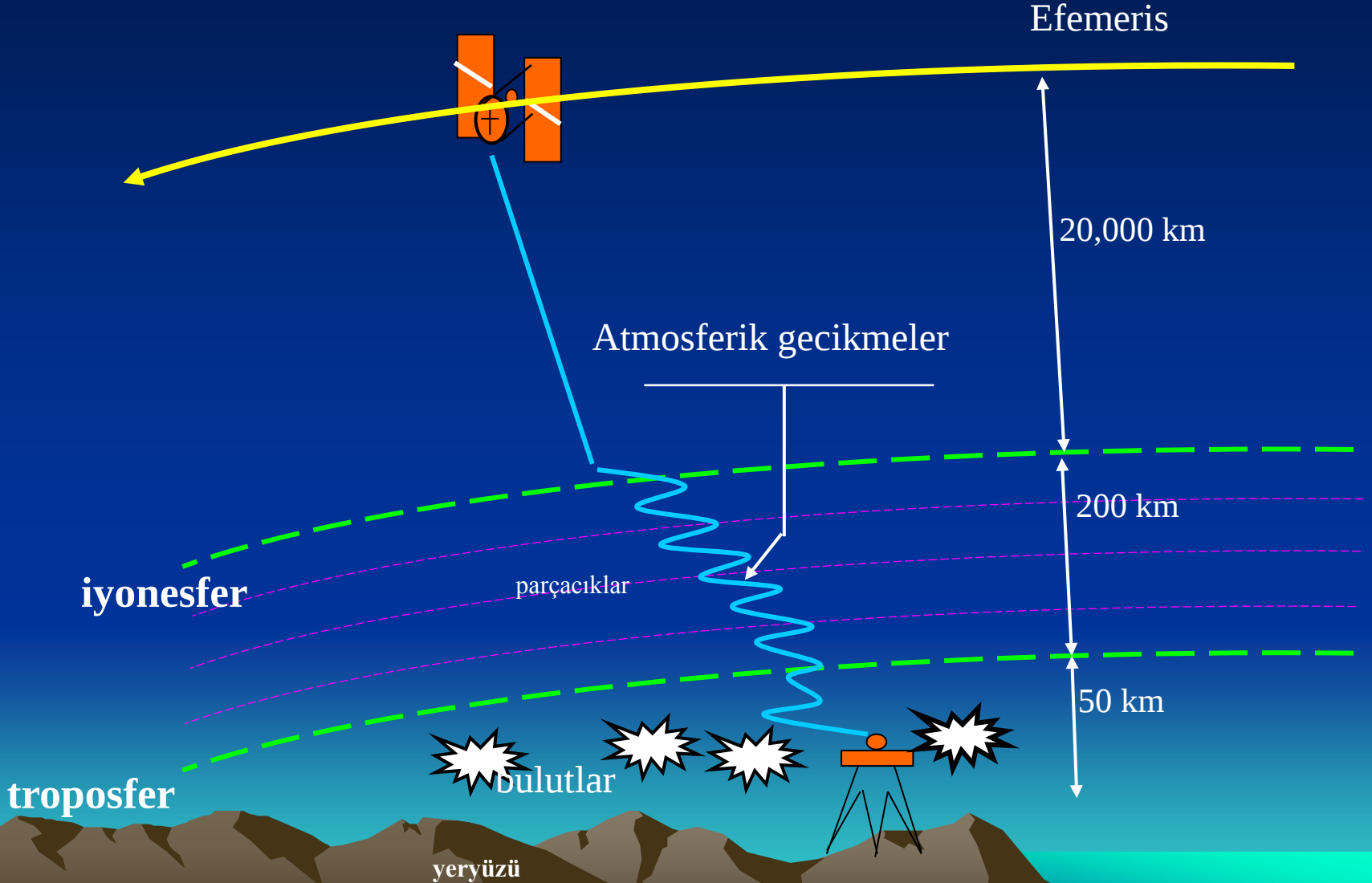


Uydu Saat Hataları

- Yayınlanmış yörüngede bulunan uydu saatine ilişkin parametrelerdeki hatalar
- GPS ile konum belirlemenin temelini zaman ölçüsü oluşturmaktadır. Bu nedenle GPS uydularında stabilitesi yüksek 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.



Atmosferik Etkiler



Atmosferik Etkiler

İyonosfer Etkisi

- Kod ve faz ölçülerinde, iyonosfer ve troposferden kaynaklanan hatalar
- İyonosfer, hava moleküllerinin ileri derecede yoğunlaştığı ve elektrik iletkenliği kazandığı yüksek atmosfer bölgelerinin tümüdür. İyonosfer elektromagnetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahip üst atmosfer tabakaları (70-3000 km) olarak tanımlanır.
- İyonlaşma ve serbest elektron yoğunluğu doğrudan güneş ışımasına bağlıdır. İyonosferin elektromagnetik dalgalar üzerindeki etkisi gündüz geceden daha çok olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



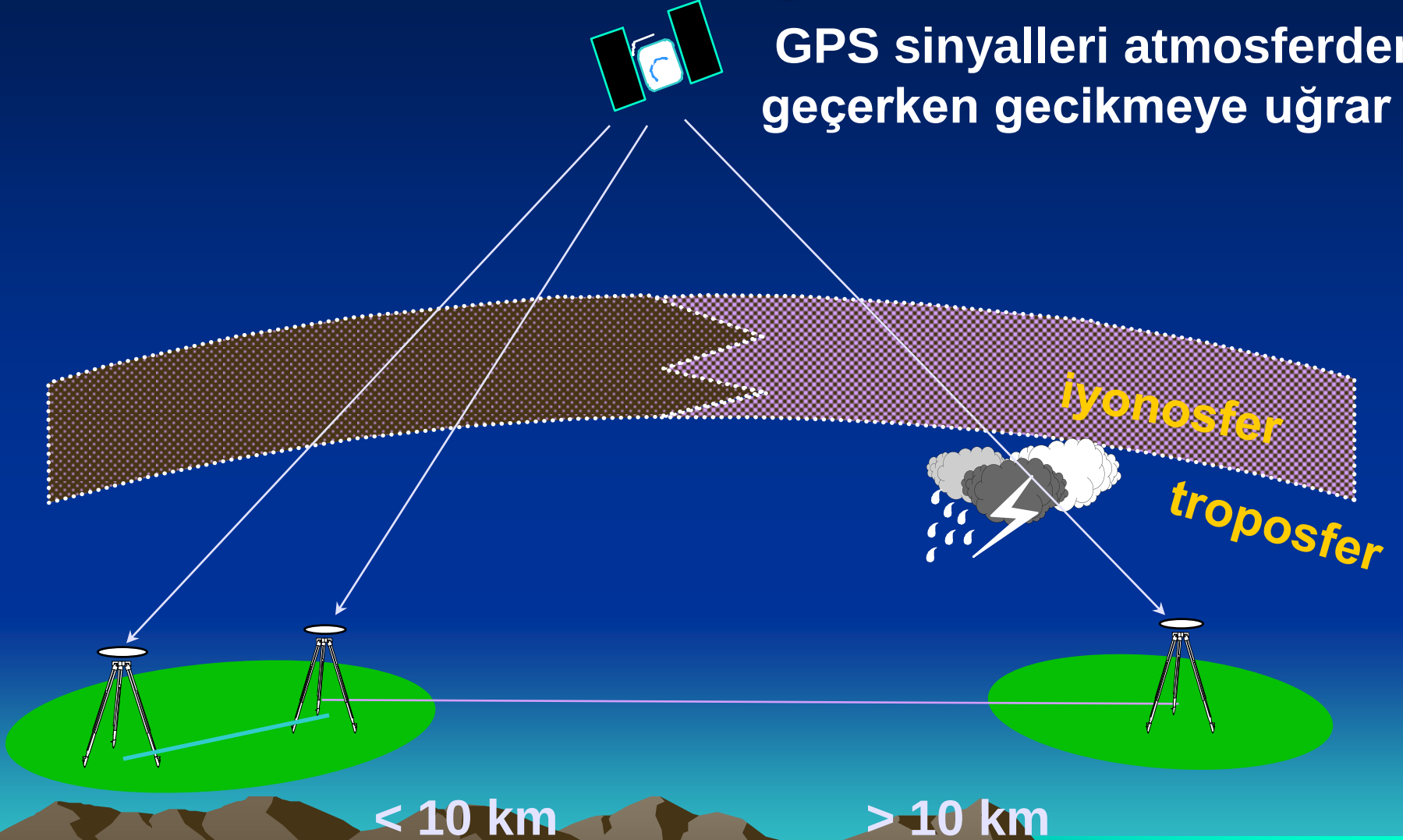
Troposfer Etkisi

- GPS uydusundan yayınlanan sinyaller atmosfere girmeden önce uzaydaki boşlukta ilerlerler. Bu sinyaller iyonosferden geçerler. Daha sonra mezosfer, stratosfer ve troposfer tabakalarından geçerek alıcıya ulaşırlar.
- Troposfer, havanın yeryüzü ile temas ettiği en alt tabakasıdır. Kalınlığı kutuplarda 8 km, ekvatorda 18 km'dir. Hava olayları genel olarak troposferin 3-4 km'lik alt kısımlarında görülmektedir.



Atmosferik gecikme

GPS sinyalleri atmosferden
geçerken gecikmeye uğrar



Sinyal Yansima (Multipath) Etkisi

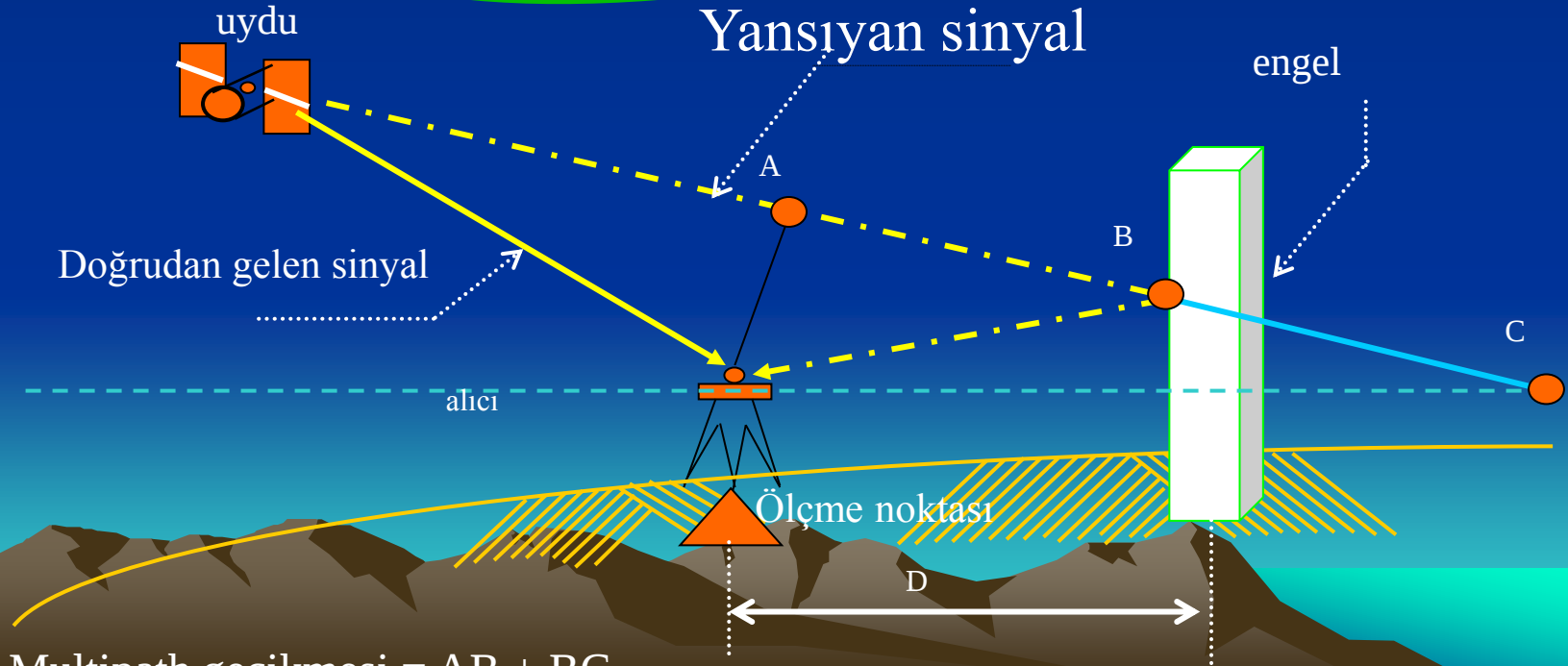
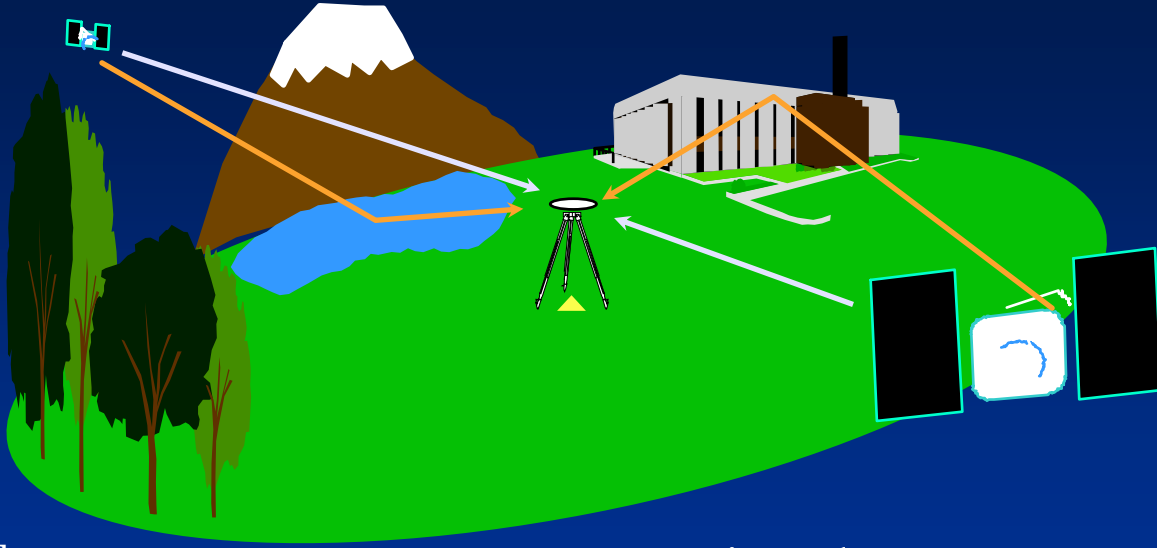
- GPS alıcı antenleri her yönden gelen uydu sinyallerini eş zamanlı alabilme özelliğine sahiptir. Arazi yapısı ve sinyal yükseklik açısına bağlı olarak istenmeyen sinyal yansımaları ile karşılaşılır.
- Uydulardan yayınlanan sinyallerin alıcı antenine bir veya daha çok yol izleyerek ulaşmasına sinyal yansima (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 olası 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.



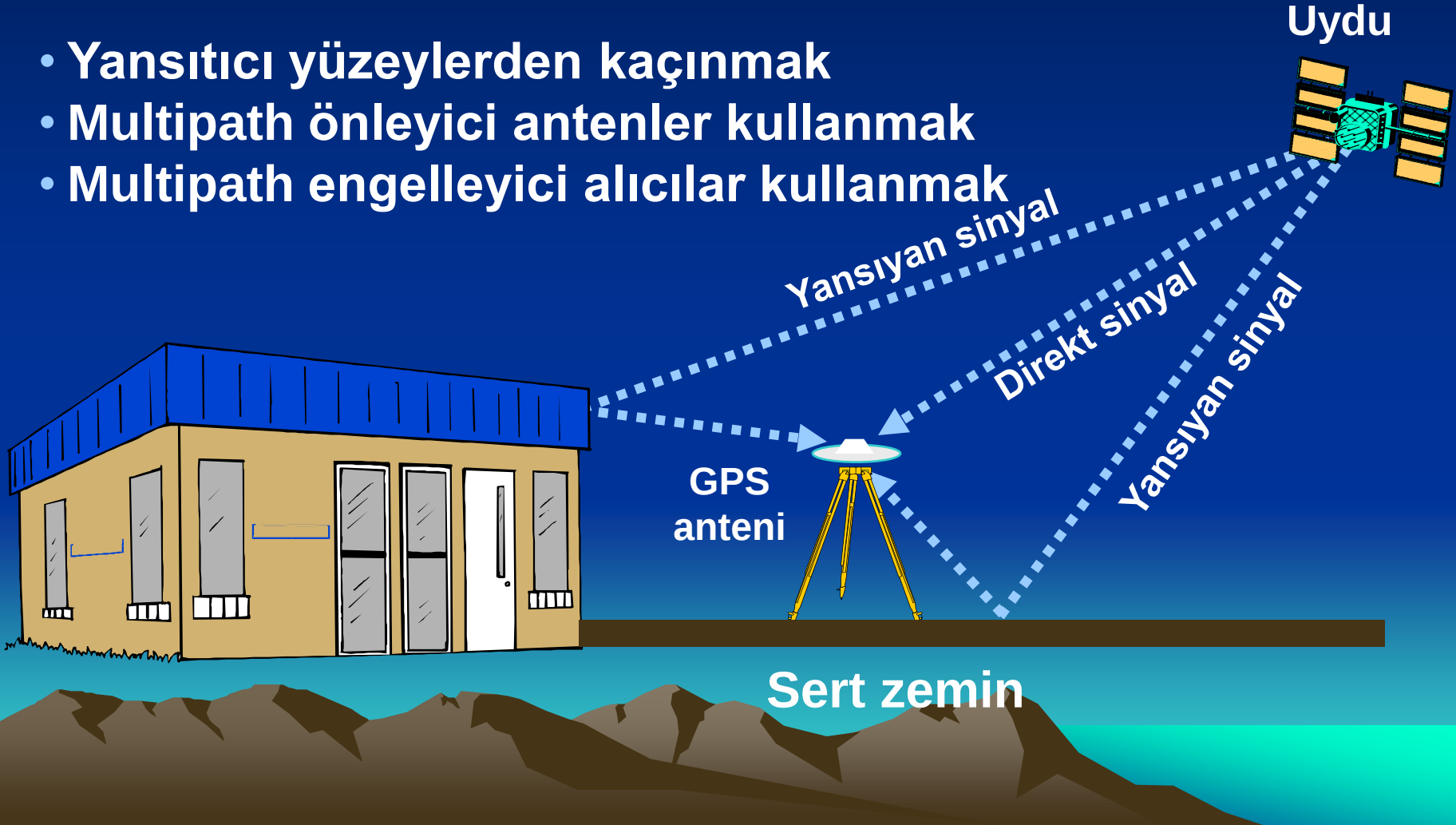
Multipath Hatası



GPS Multipath hatları

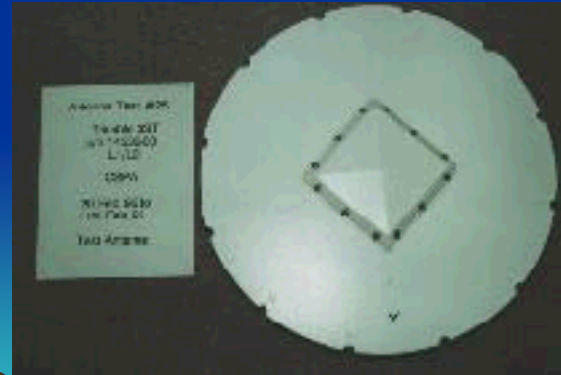
Multipath etisinden kaçınmak için

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



GPS Antenleri (hassas konumlama için)

- halkalar choke-rings olarak adlandırılır (multipath engellemek için)



Alıcı Anteni Faz Merkezi Hatası

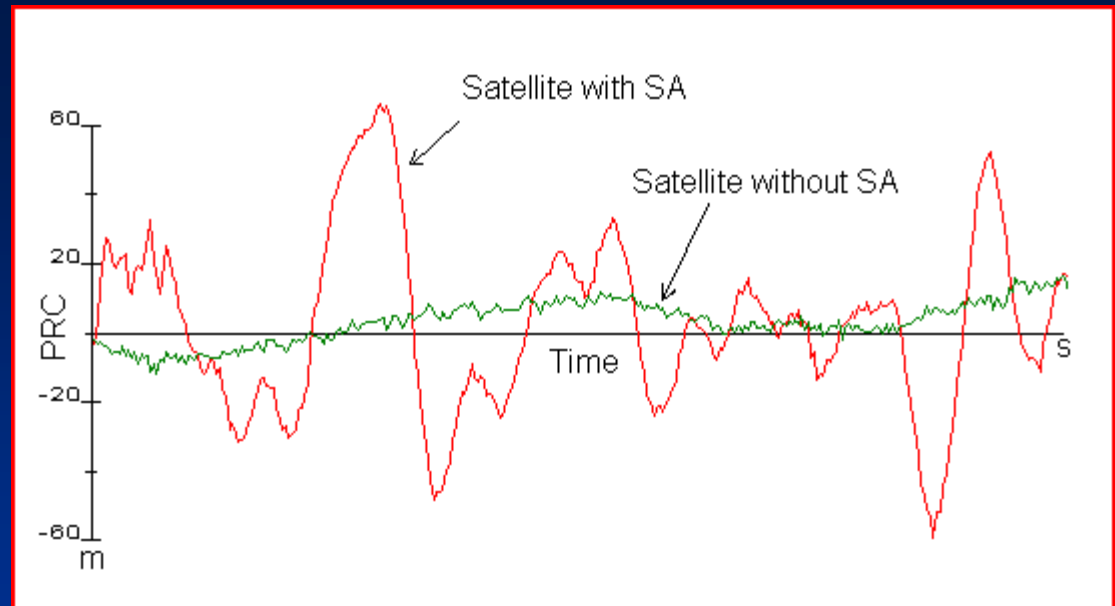
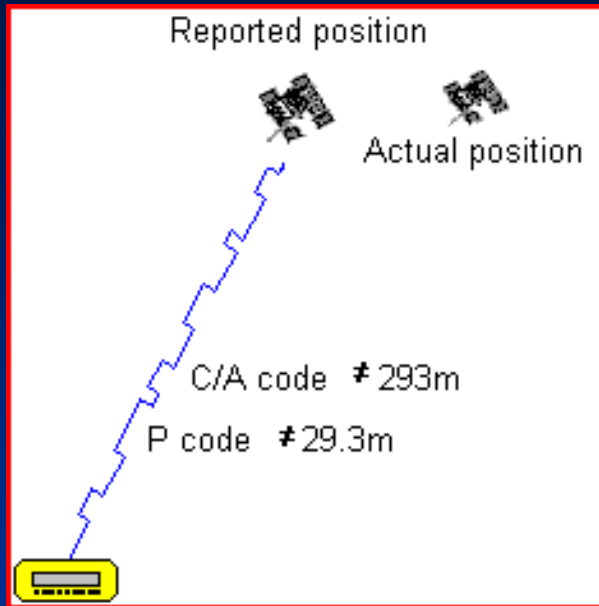
- Alıcı anteni faz merkezi GPS sinyallerinin antene ulaştığı noktadır. Bu nokta genellikle geometrik faz merkezinden farklıdır. İdeal bir GPS anteninin faz merkezi, antene ulaşan sinyalin geliş doğrultusundan bağımsız olması gerekir. Uygulamada, uydu sinyalinin azimut ve yükseklik açısına bağlı olarak antenlerin faz merkezlerinde küçük değişimler gözlenmektedir. Bu değişimler L1 ve L2 sinyalleri için farklıdır.
- Anten faz merkezi değişimleri anten yapısına göre birkaç milimetre ile 1-2 cm arasında değişmektedir. Önemli çalışmalarda bu değişimler dikkate alınmalıdır.



Seçimli Doğruluk Erişimi

- 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) tekniğı 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

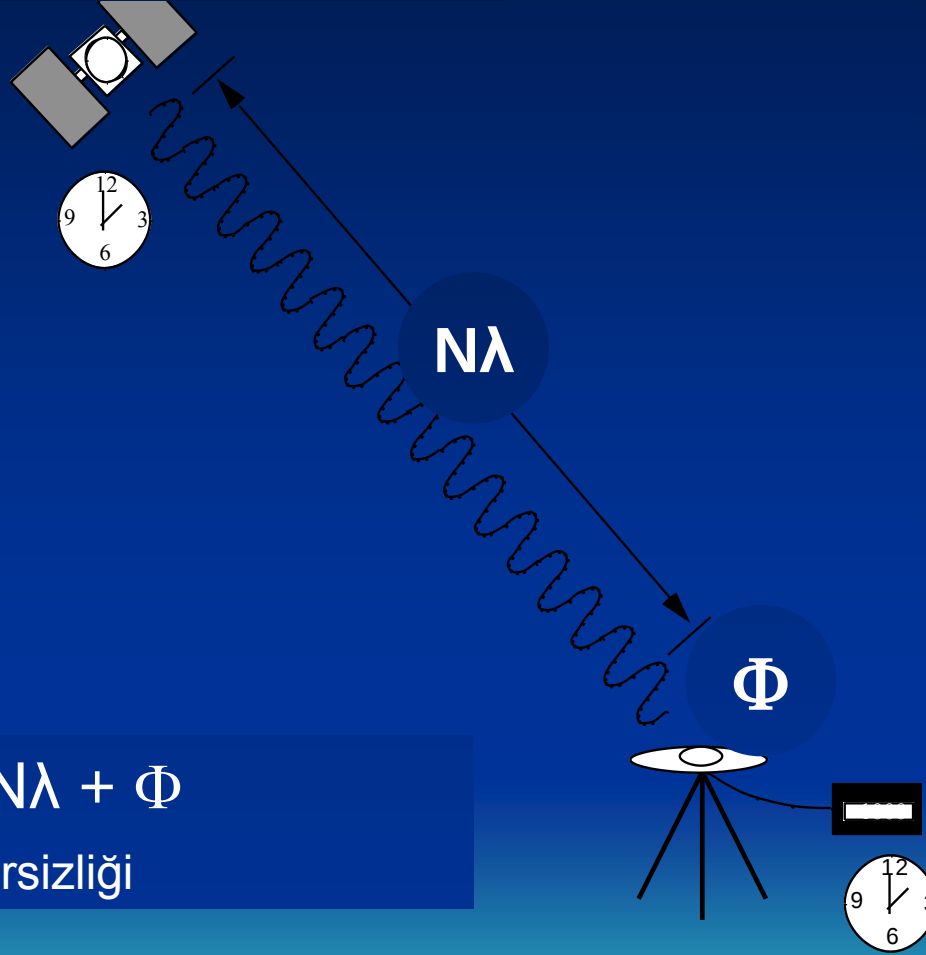


Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği ve Faz kesiklikleri

- Kod gözlemlerinde kodun “chip” uzunluğu ölçülürken faz gözlemlerinde taşıyıcı dalganın dalga boyları “cycles” sayılmaktadır. Örneğin bir uydu ile alıcı arasında yaklaşık 106 000 000 dalga boyu sayılırsa ve L1 için dalga boyu 19 cm kabul edilirse, uydu alıcı uzaklığı yaklaşık 20140 km olarak hesaplanabilir. Ancak faz gözlemlerinde bazı önemli sorunlar vardır. GPS alıcısı ölçü anında yalnız ölçü sinyali ile alıcı sinyali arasındaki fazı ölçer. Alıcının açıldığı anda devreye giren bir sayaç, uydu alıcı fazı 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. GPS alıcıları gözlenen her uyduya hiçbir ölçü kesikliği olmadan gözlemlerini sürdürmelidir. Gözlemlerde sinyal kesikliği olmadığı sürece N sabit olacaktır.

Taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği

Uydu tarafından üretilen taşıyıcı sinyal

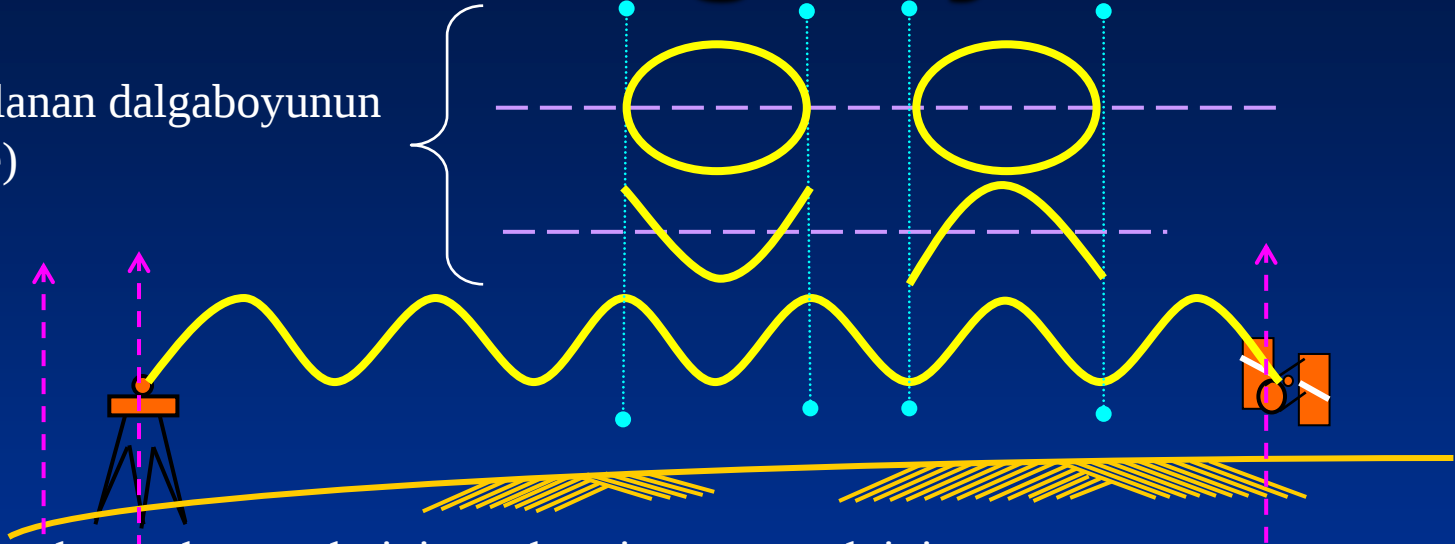


Faz uzunluğu = $N\lambda + \Phi$

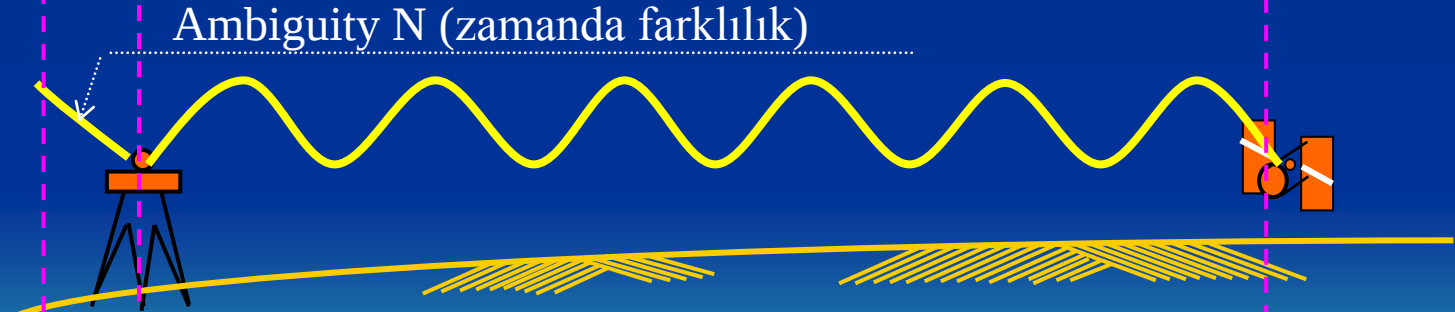
N = Faz başlangıç belirsizliği

Ambiguity

A- tamamlanan dalgaboyunun şekli (daire)



B- uydu ve alıcı saatlerinin senkronizasyonu çok iyi



C- uydu ve alıcı saatlerinin senkronizasyonu çok iyi değil



N

Tamamlanan dalga boyu sayısı

Öte yandan GPS gözlemi devam ederken uydu sinyalinin alınmasında meydana gelecek sinyal kesikliklerine faz kesiklikleri yada faz kayıklığı adı verilmektedir. Bu durumda sinyal kesikliğinin olduğu andan sonraki gözlemler oluşan kayma miktarı kadar düzeltilmelidir. 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 şeklinde sıralanabilir.

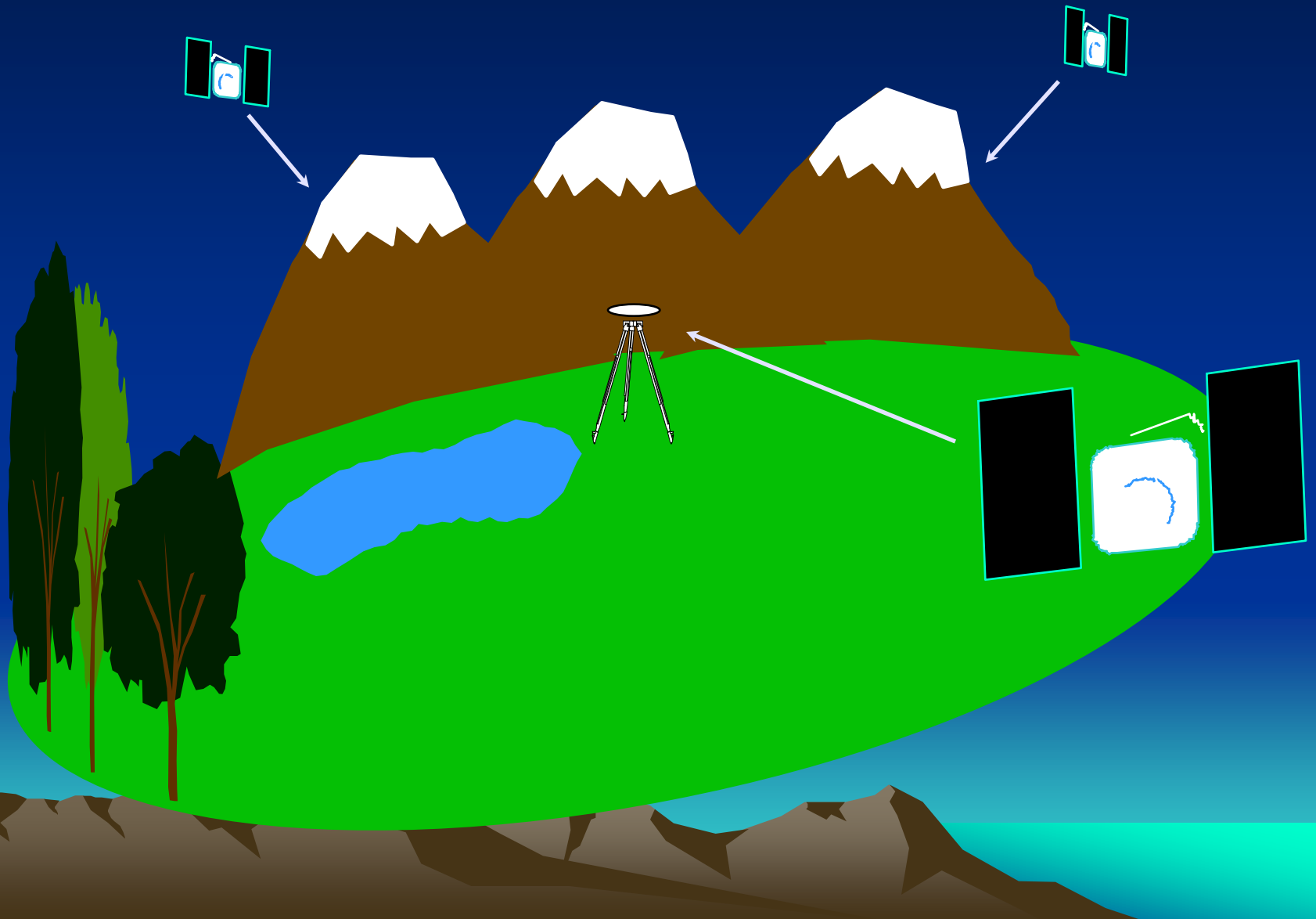
Faz belirsizliği ve faz kesikliğinin çözümü ayrıntılı bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Pratik konum belirlemede 20 km' nin altındaki bazlarda GPS yazılımlarında otomatik olarak giderilmektedir.

Faz belirsizliği bilinmeyenlerinin çözümü için;

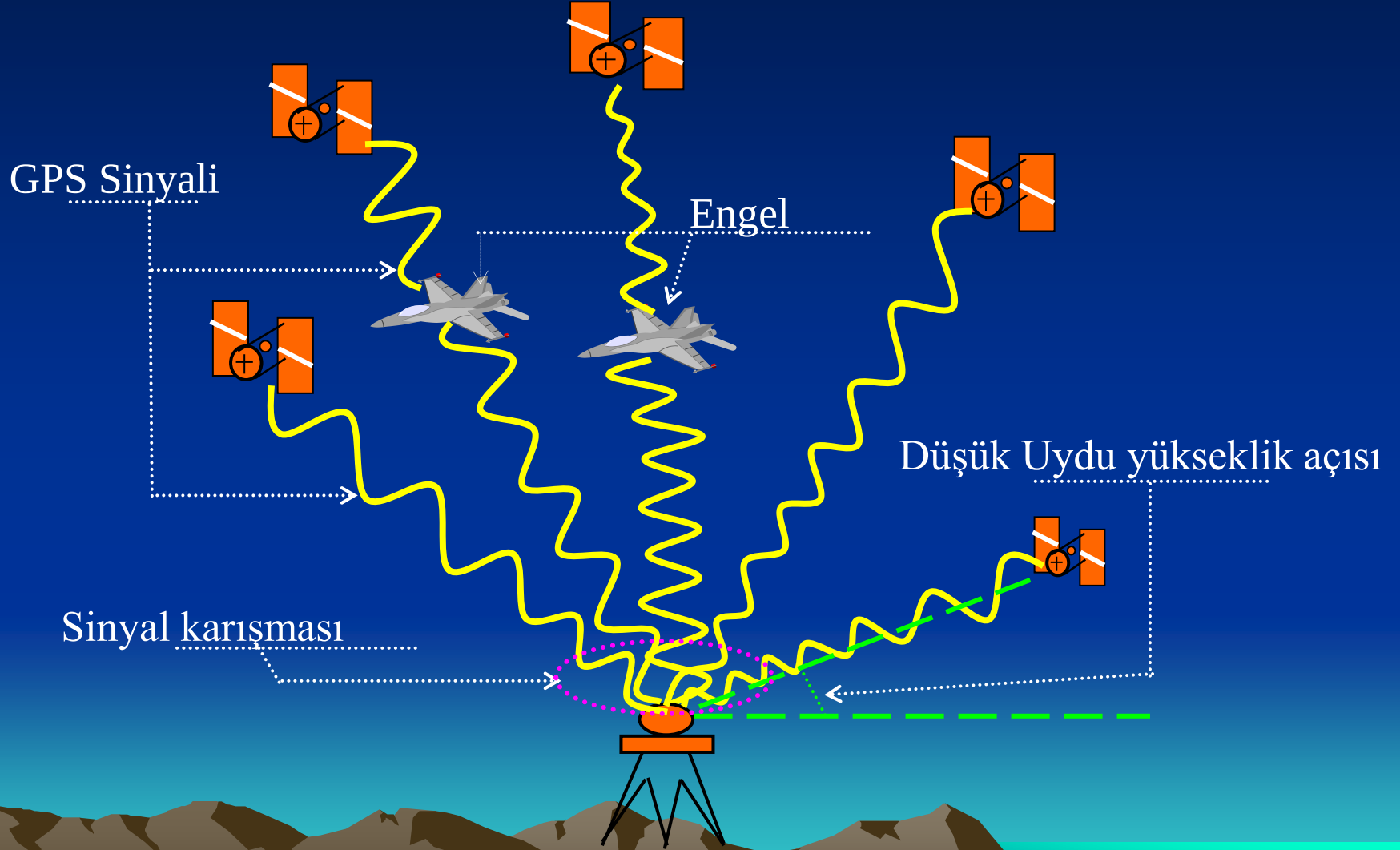
- Klasik yöntem,
- P kod destekli yöntem,
- Anten yer değiştirmesi yöntemi,
- Modern (QIF), (OTF) gibi yöntemler geliştirilmiştir.



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.

- 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.
- Navigasyon amaçlı ölçmelerde doğruluk, herhangi bir zamanda bir kara, deniz veya hava aracının belirlenen veya hesaplanan konumunun o aracın aynı andaki gerçek (hatasız) konumuna olan yakınlığı olarak tanımlanır.
- GPS ile navigasyon uygulamalarında Amerikan Savunma Dairesi DoD tarafından iki farklı konum belirleme hizmeti sunulmaktadır. Bunlar;
- PPS Duyarlı konum belirleme hizmeti,
- SPS Standart konum belirleme hizmetidir.



UERE, URE, UEE, URA Tanımları

UERE ham uydu-alıcı uzunluğundaki toplam hatadır. UERE;

- Uydu saatindeki hatalar,
- Uydu navigasyon mesajındaki hatalar,
- Uydu yörüngelerinin hesabında yapılan hatalar,
- Alıcı saatindeki hatalar,
- Gözlem anında alıcı işlemcisi tarafından iyonosferik model hesabında yapılan hataların bir fonksiyonudur.

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

- DOP faktörleri, uydu geometrisinin navigasyon çözümlerinden elde edilen doğruluklar üzerindeki etkilerini ifade eden ölçütlerdir. DOP, alıcı ile uyduların birbirine göre göreceli konumlarına bağlı olarak tanımlanan ve ölçü noktasına ait konum parametrelerinin pseudorange hataları (UERE, URE) ile ilişkisini kuran doğruluk sınırlayıcı geometri faktörleridir. 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.

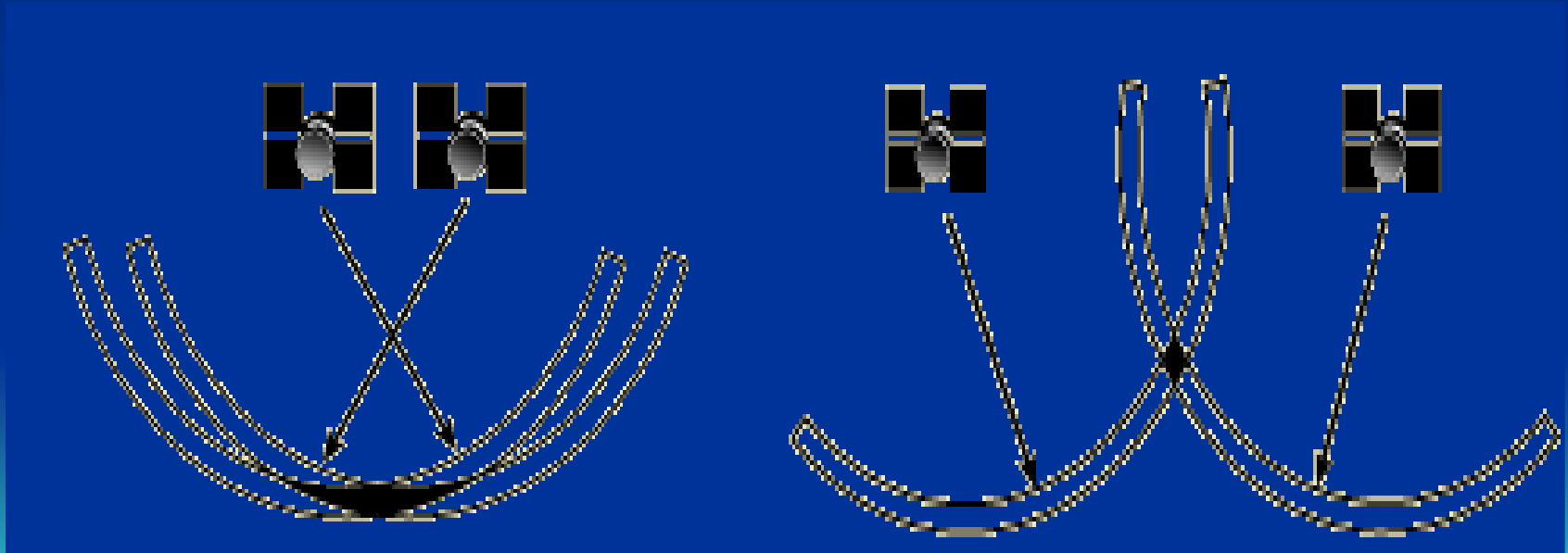


- NATO standartlarına uygun olarak DOP değerleri belirlenmiştir. Ayrıca FOM ve TFOM, alıcı ekranında okunan ve zaman bilgisine ilişkin hata miktarını belirten ifadelerdir. Bunlardan başka LEP, CEP (Circular Error Probability) , SEP (Spherical Error Probability) , rms, drms (Dimensional Root Mean Square Error) doğruluk ölçütleri de kullanılmaktadır.
- LEP, herhangi bir koordinat eksenindeki olası doğrusal hatadır.
- $LEP = 0.6745 \cdot G$ eşitliği ile verilmektedir.
- SEP, bir noktanın belirlenen doğru konumlarının %50'sini kapsayan bu kürenin yarıçapı olası küresel hata olarak adlandırılır.
- $2dRMS : HDOP \cdot 2(UERE)$
 - Eğer $HDOP=1$ ve $UERE=3$ ise...
 - $2dRMS = 1 \cdot 2(3) = 6$
 - $2dRMS = 6$
- $3dRMS : PDOP \cdot UERE$
 - Eğer $PDOP=2$ ve $UERE=3$ ise...
 - $3dRMS = 2 \cdot 3 = 6$
 - $3dRMS = 6$
- CEP, SEP 'in iki boyutta karşılığı ile olası dairesel hata olarak adlandırılır.

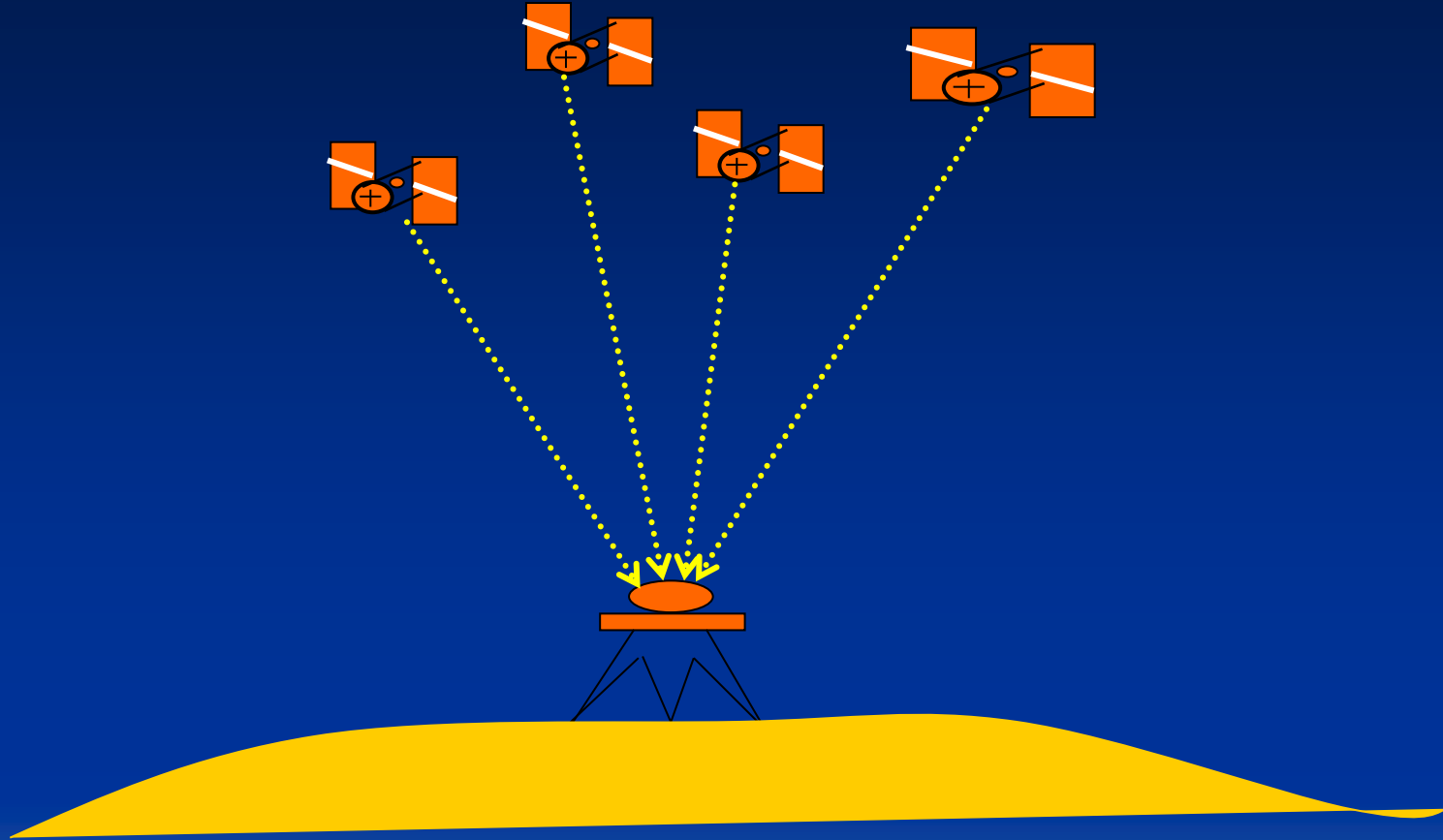


Geometri & GPS Doğruluğu

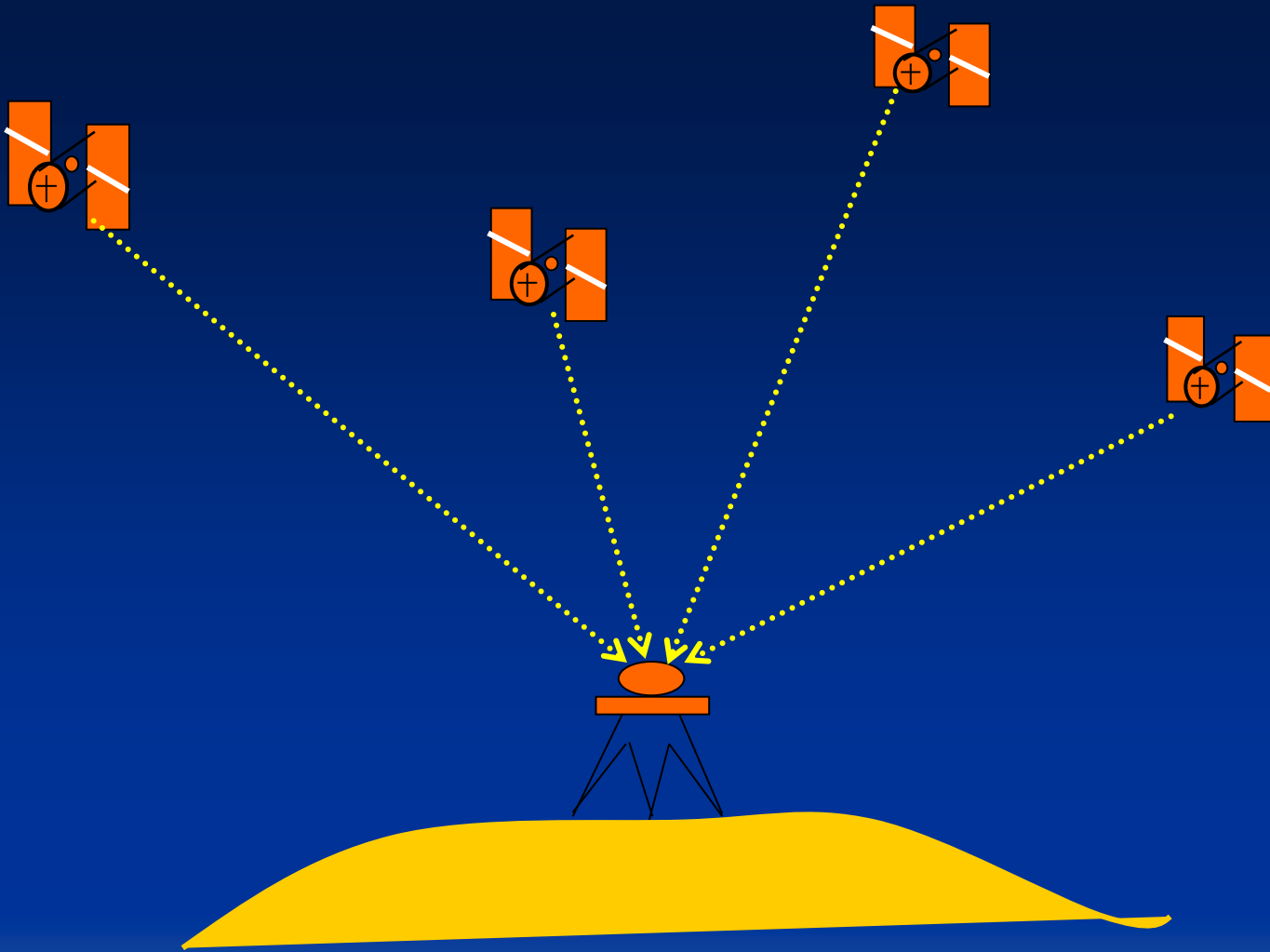
- Birbirine çok yakın uyuar = kötü geometri
- ölçülen Duyarlılığın konum bozukluğu (Position Dilution of Precision) (PDOP):
 - PDOP >6 birçok uygulama için kötü/uygun olmayan geometri
- Alıcının kurulması kilit nokta



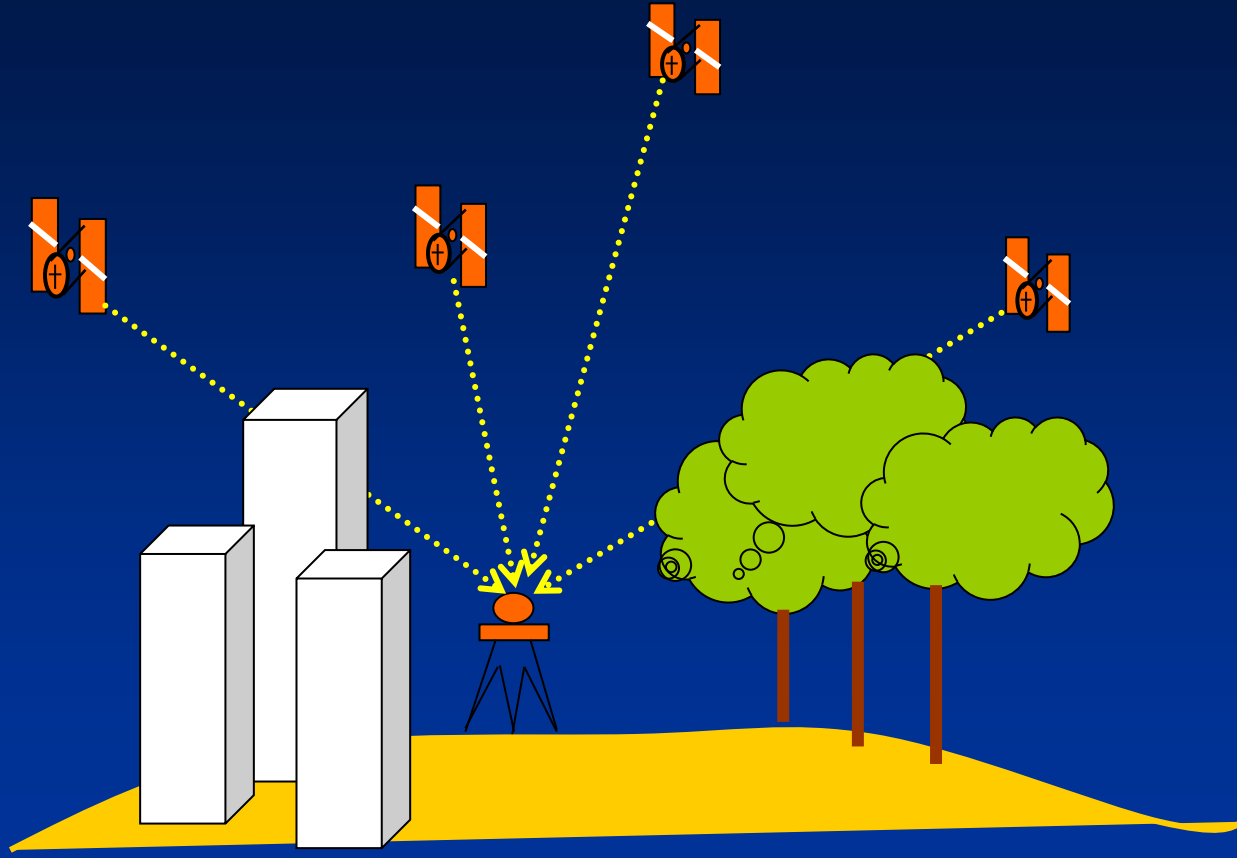
Geometric dilution of precision (GDOP)



Uydular gökyüzünde küçük bir hacim meydana getiriyor.



Uydular gökyüzünde büyük bir hacim meydana getiriyor.

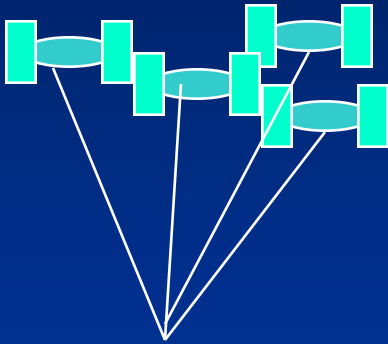


Ölçü sırasında iyi GDOP ve iyi görünebilirlik olmalıdır.
...bu her zaman mümkün olmayabilir.

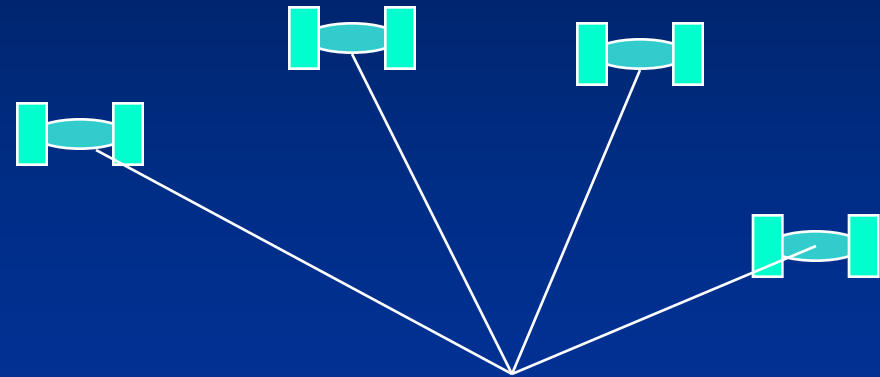
Global Positioning System

PDOP
HDOP

Position Dilution of Precision
Horizontal Dilution of Precision



Uydular bir arada Toplanmış
PDOP bad > 6



Uydular geniş alana yayılmış
PDOP good < 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? (5 kolay adım)

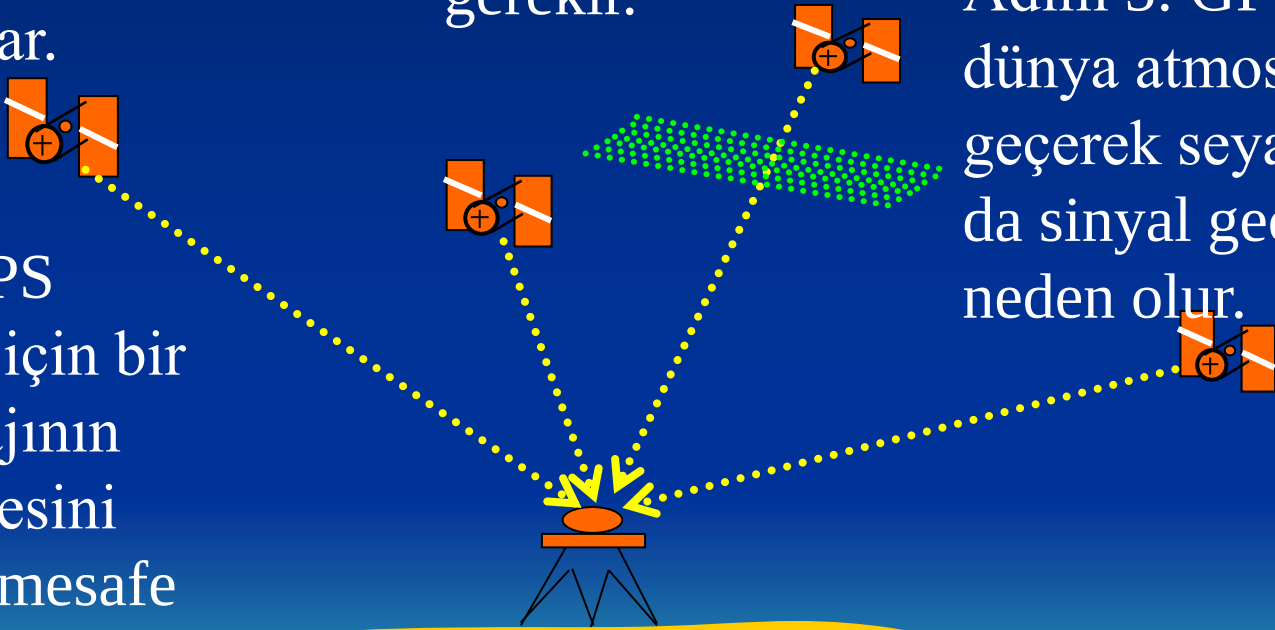
Adım 3: Seyahat süresinin ölçümü için GPS çok hassas saatlere ihtiyaç duyar.

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.

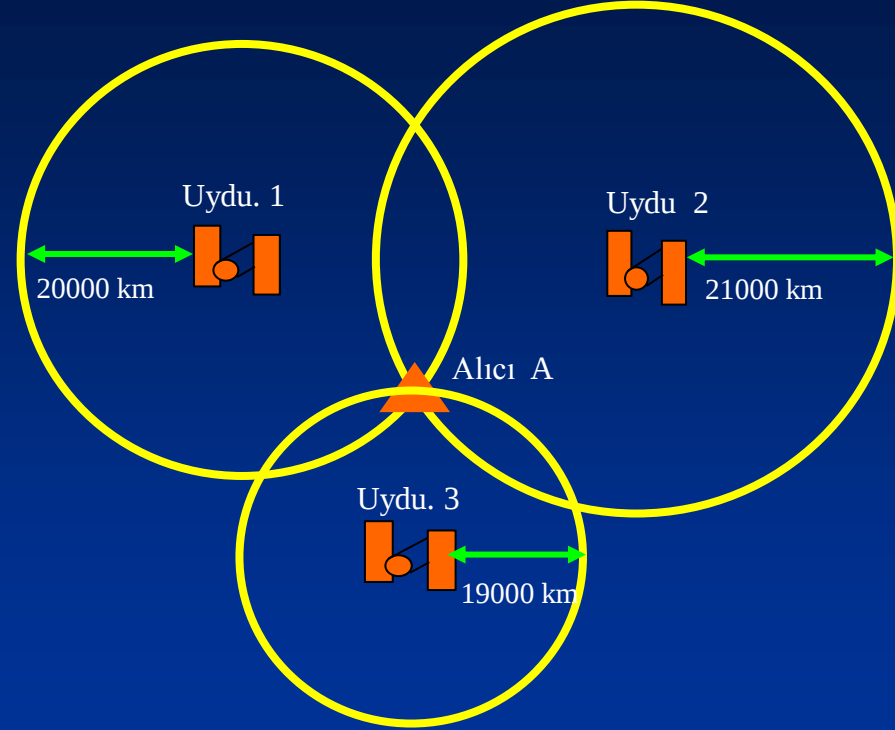
Adım 1: uydulardan üçgenleme GPS sisteminin temelidir



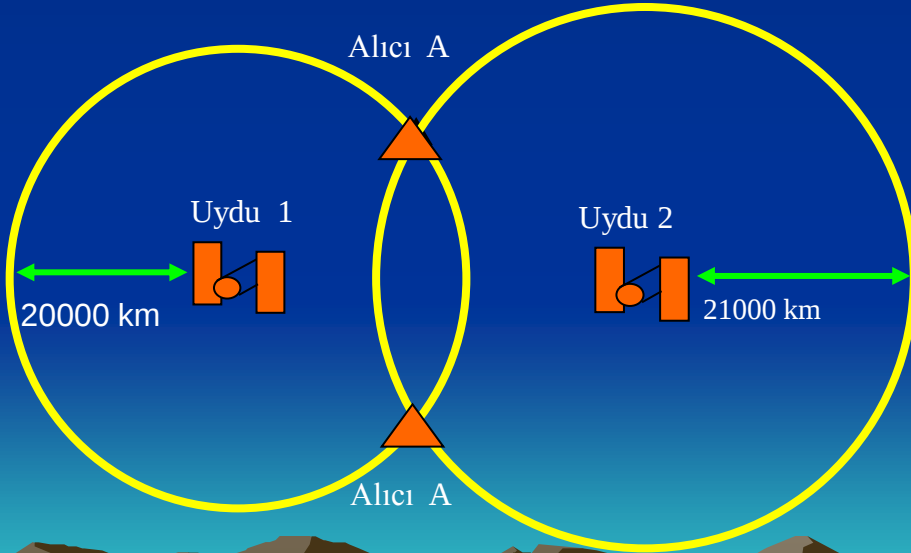
GPS konumlama



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

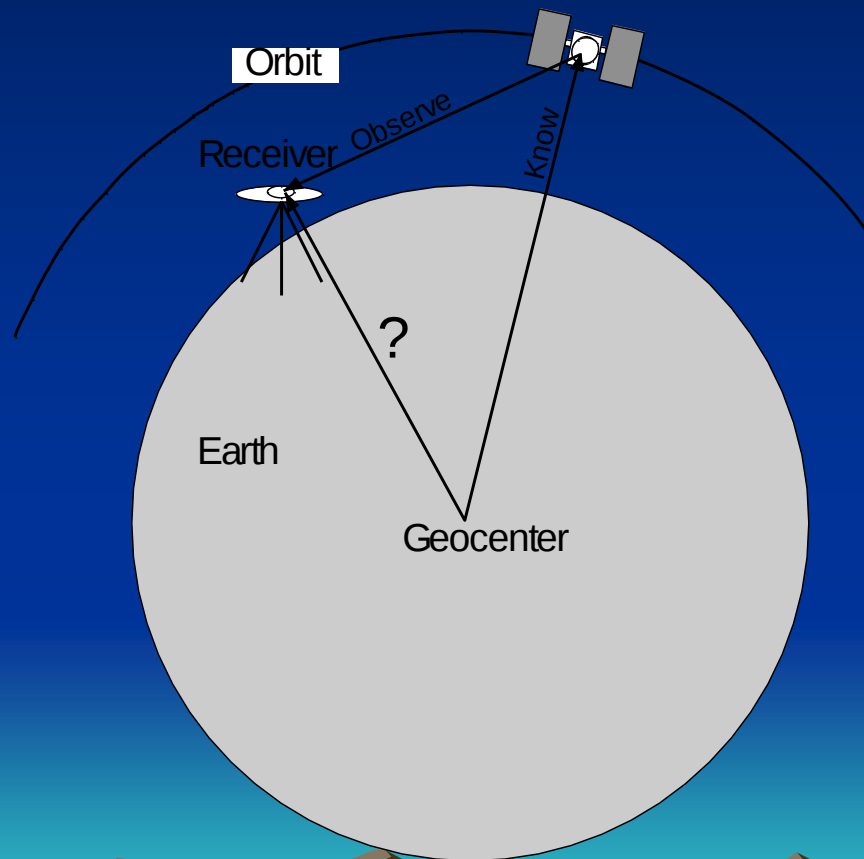
Konum Belirleme Yöntemleri

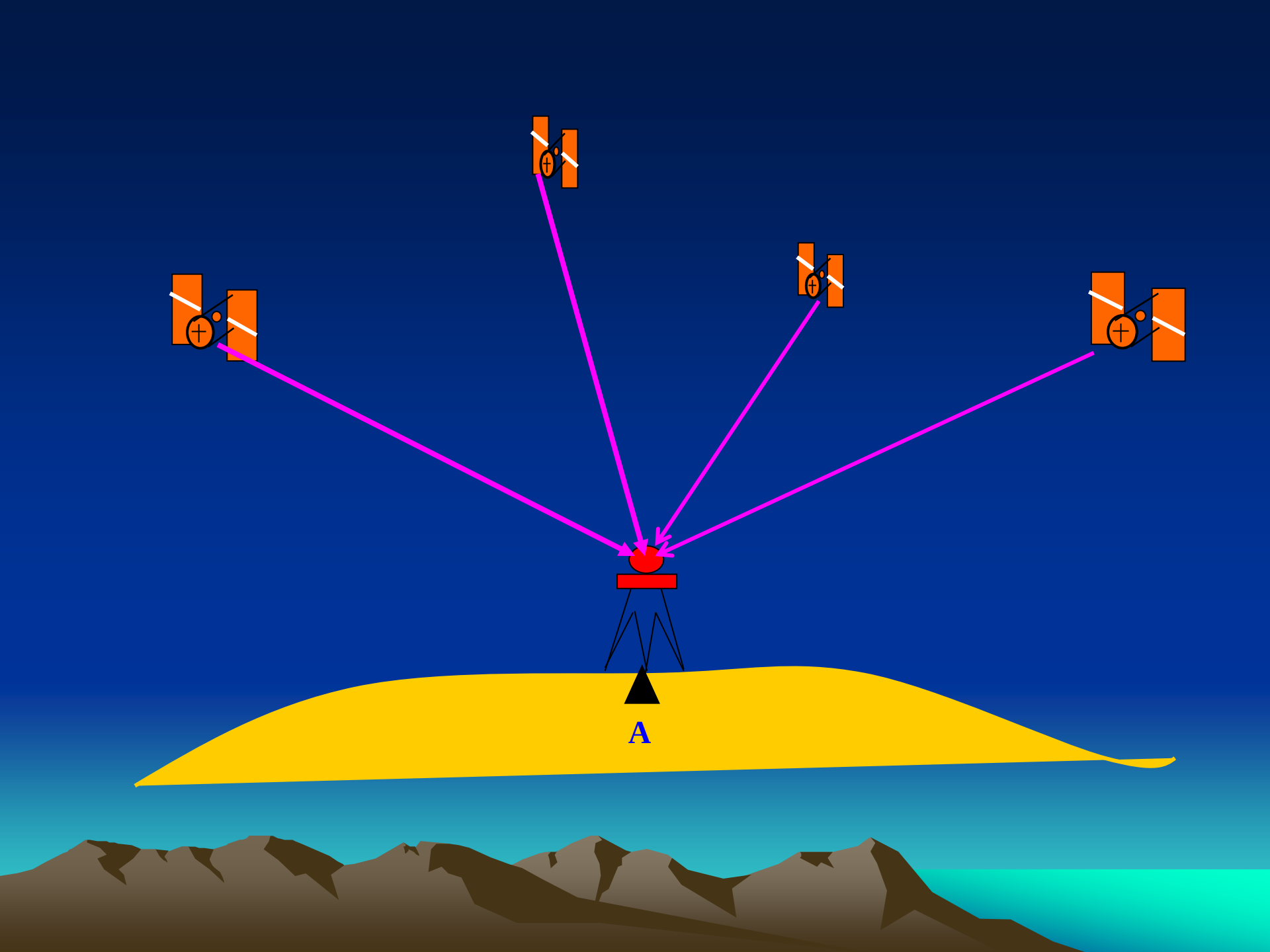
Mutlak Konum Belirleme

- Mutlak konum belirlemede tek bir alıcı ile 4 ya da daha çok uydudan kod gözlemleri yapılarak nokta koordinatları belirlenmektedir. Uydu-alıcı uzaklıkları ve uyduların koordinatları ile 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

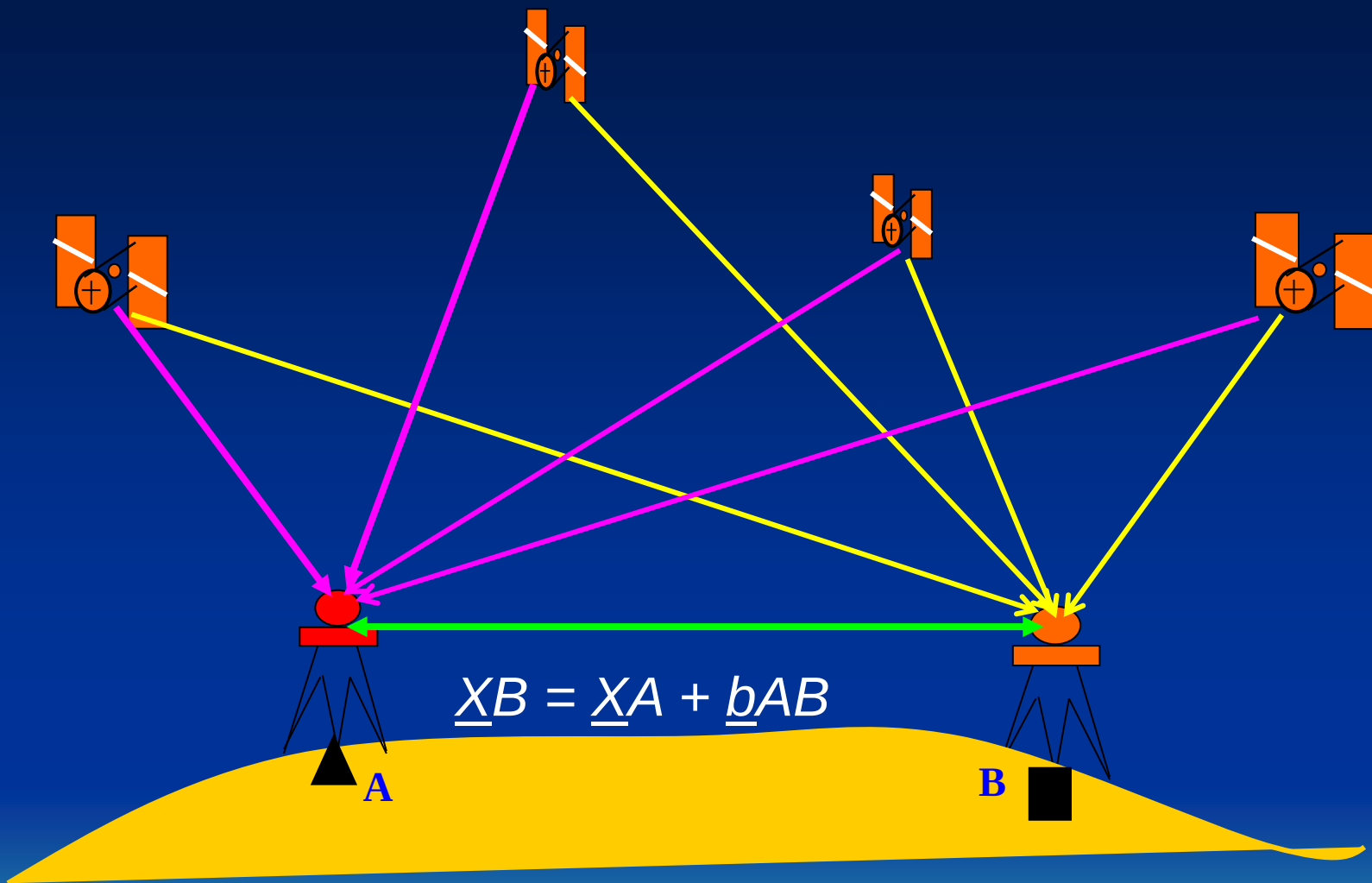




Bağıl (Rölatif) Konum Belirleme

- 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

- Navigasyon uygulamalarında yüksek doğruluklara gereksinim duyulur. Bu durum anlık konum belirlemeden yararlanma olanaklarına sınırlama getirmektedir. DGPS tekniği ile istenilen navigasyon amaçlı doğruluğa erişilebilmektedir.



Diferansiyel Konum Belirleme

- DGPS 'te öncelikle referans noktasında bulunan alıcılardan elde edilen uzunlukların düzeltmeleri (pseudorange correction) 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



Statik Ölçü Yöntemi

Statik ölçü yöntemi klasik bir GPS ölçü tekniği olup,

- Çok yüksek doğruluk istendiğinde,
 - Uzun bazlar söz konusu olduğunda,
 - 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.

Bu yöntem birden çok alıcı ile eşzamanlı olarak yapılan ve ölçü süresi noktalar arası uzaklığa bağlı olarak değişen oldukça duyarlı sonuçlar veren bir yöntemdir. Yöntemin doğruluğu yapılan ölçmeye göre değişir. Sadece L1 taşıyıcı sinyali ile yapılan rölatif statik ölçmelerde yatayda 0.02 m düşeyde 0.03 m, L1 ve L2 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.



Tekrarlı Ölçü Yöntemi

Bu yöntemin birden fazla adı olup (pseudokinematik, pseudostatik, vb.), bu da statik ile kinematik arasında bir yöntem olmasından kaynaklanmaktadır. Statik yönleme göre daha çok, kinematik yönleme göre daha az nokta üretilmektedir. Bu yöntem bir yada iki saatlik ölçü süresinin başlangıç ve sonunda, değişen uydu geometrisinden yararlanmak için bir noktanın birkaç dakika süre ile iki kez ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Tekrarlı ölçü yöntemi,

- Merkezsel baz yöntemi,
- Travers yöntemi olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir.



Dur-Git Ölçü Yöntemi

Bu yöntemde de bir alıcı sürekli olarak konumu bilinen bir noktada ölçü yapar. İkinci alıcı önce herhangi bir noktaya kurulur. Bu ilk noktada aynen hızlı statik yöntem kullanılıyormuş gibi birkaç dakika ölçü yapılır. Bunun nedeni bu noktada faz başlangıç belirsizliğini belirlemek içindir. Faz belirsizliği çözümü için yeterli veri toplandıktan sonra söz konusu ikinci alıcı uydulara olan izlemeyi devam ettirerek diğer noktalar birkaç epokluk (10-20 sn'lik) ölçülerle geçilir. Bu yöntem ölçü noktaları birbirine yakınsa iyi sonuç vermektedir.



Kinematik Yöntem

- Kinematik rölatif konumlamada, bir referans noktasındaki alıcı sürekli sabit kalır. İkinci alıcı ise hareketlidir ve rastgele seçilmiş epoklarda konum belirlemesi yapmaktadır. Burada en önemli unsur tamsayı bilinmeyeninin belirlenmesidir. Bu bakımdan başlangıçta bir müddet statik ölçü yapılmalıdır. Hareketli alıcıda uydu sayısı 4'ün altına düştüğü taktirde tamsayı bilinmeyi yeniden belirlenmelidir.
- Bu yöntem genellikle kısa baz uzunluklarına sahip poligon kenarları ve halihazır alımındaki detay noktaların ölçümünde kullanılmakta ve özellikle gökyüzü görüşüne açık olan bölgelerde uygun sonuçlar vermektedir.



- C/A koduyla yapılan tam kinematik ölçmelerde yatayda 2-5 m düşeyde 3-8 m, Sadece L1 sinyali ile tam kinematik ölçmelerde yatayda 0.03 m düşeyde 0.05 m , L1 ve L2 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 L1 sinyali ile gerçek zamanlı tam kinematik ölçmelerde yatayda 0.1 m düşeyde 0.2 m, L1 ve L2 taşıyıcı sinyalleri ile gerçek zamanlı tam kinematik ölçmelerde (RTK) yatayda 0.05 m düşeyde 0.1 m doğruluk elde etmek mümkündür.
- Yukarıda açıklanan ölçü yöntemlerinde elde edilen doğruluklar Çizelge 2.2’de verilmektedir.

Post Processing Kinematik

Kinematik yöntemde bir güzergah tespit edilmekte ve bu güzergah üzerinde belirli zaman aralıkları ile nokta konumları belirlenmektedir. Burada faz belirsizliği bilinmeyenlerinin çözülmesi esastır. Dolayısıyla ikinci alıcı gezdirilmeye başlanmadan önce faz belirsizliği bilinmeyenlerinin çözümü için yine alıcılardan biri konumu bilinen bir noktaya, ikinci alıcı ise herhangi bir noktaya kurulur ve başarılı bir faz belirsizliği çözümü için gerekli veri toplanana kadar ölçüye statik durumda devam edilir.

Gezici alıcıdaki veriler anlık olarak değerlendirildiğinde ortaya çıkan durum RTK GPS, verilerin daha sonra GPS yazılımları ile kinematik durumda değerlendirilmesi ise post processing Kinematik olarak adlandırılır.

Bazen yukarıdaki yöntemlerin amaca uygun olarak ekonomik nedenlerden dolayı topluca kombinasyonları da kullanılabilir. Örneğin statik yöntemle belirlenen nirengilerin arası aşama aşama hızlı statik ve kinematik uygulamalarla sıklaştırılabilir.



Real-Time Kinematik GPS (RTK GPS)

RTK metodu ölçüm prensibi olarak tıpkı 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 aplikasyonu 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. Yine bu metotta RTK ile ilgili yazılımların koşturulduğu, sistem ayarlarının yapıldığı bir data kontrol ünitesi (el bilgisayar) kullanılır.



- Bu ölçü yöntemi haritacılık alanında yeni bir dönem olarak kabul edilebilir. Çünkü çok uzun zaman ve ön çalışma gerektiren aplikasyon işleri çok kısa bir sürede ve en az yersel sistemden elde edilebilecek duyarlılıkla 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. Buradan da anlaşıacağı gibi uydu sayısının artmasıyla birlikte sistemin hassasiyeti artar ve tamsayı faz belirsizliğinin belirlenme süresi kısalır.
- En az 5 uyduya bağlanma şartı ağaçlık alanlarda ve yüksek binaların bulunduğu kent merkezlerinde sağlanamayabilir. 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



GPS Ölçülerinin Yapılması

- GPS ölçüleri yapılmadan önce büroda ölçü planlaması yapılır, GPS ölçü ağı oluşturulur ve oluşturulan bu ağa göre arazide GPS ölçüleri tamamlanır.
- ABD FGCC tarafından bilimsel ve mühendislik amaçlı görelî GPS konum belirleme tekniklerine yönelik doğruluk standartlarını içeren yönetmelik hazırlanmış olup bu yönetmelik 1989 yılından bu yana ABD'de kullanılmaktadır.

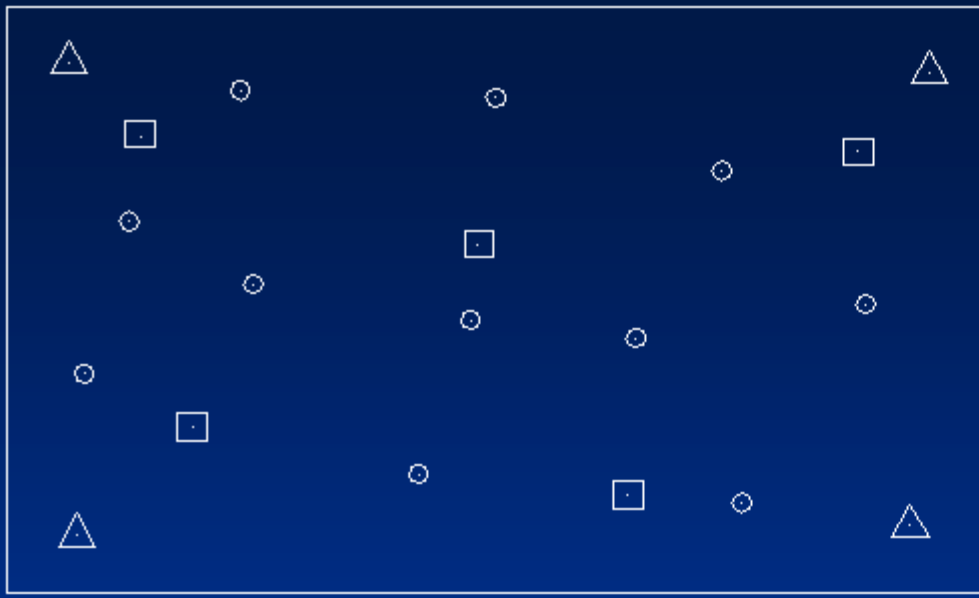


Arazi Öncesi Planlama

Ağ tasarımımda göz önünde tutulması gereken konular şunlardır:

- Ağ kapalı poligon veya herhangi bir şekil oluşturmalıdır.
- Proje alanının büyüklüğüne bağlı olarak en az üç yatay kontrol ağ noktalarına bağlantı yapılmalı ve bu noktalarda eş zamanlı GPS gözlemleri yapılmalıdır.
- Proje alanında en az dört düşey kontrol ağı noktasına bağlantı yapılmalıdır.
- Yatay kontrol ağı noktaları proje alanının köşelerinde ve alanı kapsayacak şekilde seçilmelidir. Bu noktalar ne kadar fazla olursa ağın kontrol edilebilirliği o kadar iyi olmaktadır. Güzergah ölçmelerinde en az üç yatay ağ noktası güzergahın başında, ortalarında ve sonunda olacak şekilde seçilmelidir. Aynı projede en az dört, mümkünse daha çok sayıda nivelman noktası kullanılmalıdır. Söz konusu dört nokta proje alanının dört köşesinde seçilmelidir





- △ Yatay kontrol noktası
- Düşey kontrol noktası
- Proje noktası (Yeni nokta)

GPS ağlarında ölçü planları yapılırken ya merkezzel (radial) baz yöntemi ya da kapalı poligon şekli kullanılmaktadır. Merkezzel baz yönteminde alıcılardan biri proje alanının ortasında bir yere kurularak (sabit alıcı) sürekli gözlem yapılır. Sabit noktaya yakın olan noktaların bağlantısı eş zamanlı gözlemlerle doğrudan yapılır. Bu yöntem kinematik ölçülerde kullanılmaktadır. Yöntemin en sakıncalı yönü noktalar yalnız bir doğrultudan belirlendiği için geometrik kontrol olanaklı değildir.

Ağ tasarımı

Yeni noktaların haritaya işaretlenmesi
Yatay ve düşey ağ kontrol noktalarının işaretlenmesi
Ağ tasarımının hazırlanması
İstenen doğruluk seviyesinin belirlenmesi

Gözlem Planlarının
Hazırlanması

Alıcı tipinin belirlenmesi
Uydu görünürlük grafiklerinin hazırlanması
Alıcı sayısı, ölçü süresi, oturum sayısının belirlenmesi

Organizasyon
(Lojistik)

Personel sayısı
Ekipman (Alıcı, anten, araç vs.)
Ölçü yönteminin belirlenmesi

Arazide Nokta Keşfi ve
İnşaatı

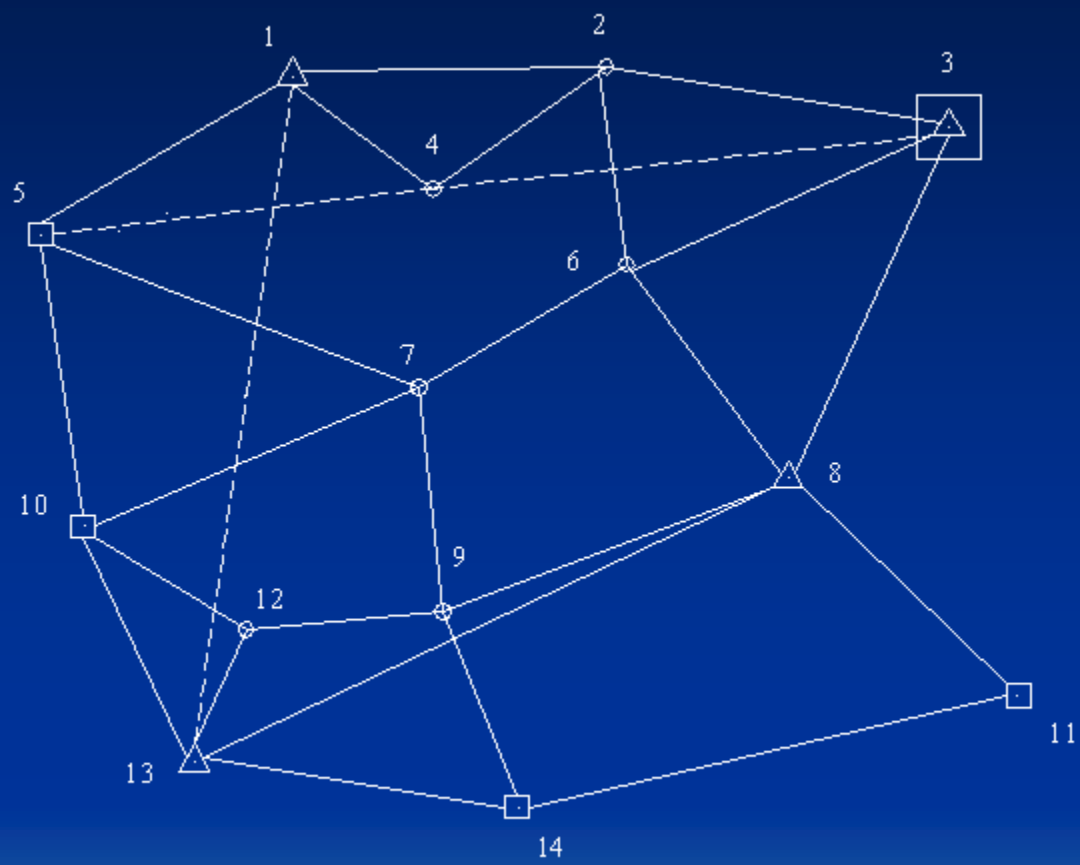
Noktaya ulaşım kolaylığı
Nokta engel krokisinin hazırlanması
Noktaların arazide tesisi
Sinyal yansıma sorunlarının belirlenmesi

GPS Gözlemlerinin
Gerçekleştirilmesi



İkinci yöntem olan poligon yöntemi daha çok statik ve hızlı statik tekniklerde uygulanmaktadır. Bu yöntemde üzerinde gözlem yapılacak her nokta ağıdaki en az iki noktaya bağlanmaktadır. Kontrol noktaları arasında eş zamanlı ölçüler yapılmalıdır. Böylece ağıdaki kontrol noktasının az sayıda olmasının getireceği sorunlar azaltılmış olacak ve ağın güvenilirliği bu fazla ölçülerle arttırılmış olacaktır.





GPS ölçmelerinde uygulanacak olan ölçü grubu (oturum, session) sayısı FGCC standartlarında aşağıdaki eşitlikler verilmektedir.

$$S = \frac{m \cdot n}{r} + \frac{m \cdot n (p - 1)}{r} + k \cdot m$$

- S : Projedeki gözlem oturum sayısını,
R : Alıcı sayısını,
m : Ölçü yapılacak toplam nokta sayısını (eski ve yeni noktalar),
n : Her bir ölçü noktasındaki en az sayıda bağımsız alet kurma sayısını,
p : Üretim faktörünü,
k : Güvenlik faktörünü ifade etmektedir



- GPS proje planlamasında yeni nokta yeri seçiminde göz önünde tutulacak esaslar şunlardır:
- Ölçü noktaları çevresinde uydu sinyallerinin alıcı antenine ulaşmasını engelleyen hiçbir doğal veya yapay nesne olmamalıdır.
- Ölçü noktası çevresinde yansıtıcı yüzeyler (metal, tel, çit, su yüzeyleri vb) olmamalıdır. Bu gibi yüzeyler sinyal yansıma etkilerine neden olmaktadır.
- Ölçü noktası çevresinde yüksek gerilim hattı olmamalıdır. Bunla sinyal bozukluğu oluşturur.
- Ölçü noktasına ulaşım kolay olmalıdır.



GPS Ölçülerinin Yapılması

- GPS projesinin başarısı projede görev yapan personelin eğitim ve bilgi seviyesi ile doğrudan ilişkilidir. Ölçü noktasının yerinin seçimi, alıcı ve antenin kurulması ve ölçüye hazır duruma getirilmesi, gözlem karnelerinin doldurulması ve problem anında ani müdahaleler eğitimin önemini göstermektedir.
- GPS gözlemlerinde antenin nokta üzerine doğru kurulması gerekmektedir. Anten ölçü noktası üzerine milimetre doğrulukla merkezlendirilmelidir. Küresel düzeç ve optik çekül ölçüye başlamadan kontrol edilmelidir. Ölçü sonunda da aynı kontroller yapılmalıdır. Anten merkezlendirildikten sonra, doğrultuya bağlı anten faz merkezi hatasının giderilmesi için tüm antenler tek bir doğrultuya yönlendirilmelidir. Uygulamada pusula kullanılarak antenler manyetik kuzeye yönlendirilir. Anten yükseklikleri milimetre doğrulukta ölçülmelidir. Anten yüksekliği ölçümü antenin en az üç farklı tarafından yapılmalı ve bu okumalar arasındaki fark 2 mm'yi geçmiyorsa ortalaması alınmalıdır.
- Gözlemler için ölçü karnesi kullanılır ve bu karneye ölçü ile ilgili bilgiler kaydedilir. Gözlem karnesindeki nokta koordinatları yaklaşık değerlerdir ve alıcı ekranından okunur.

- Projenin amacına göre gerekirse meteorolojik parametreler ölçülmektedir. Pratik mühendislik uygulamalarında meteorolojik parametreler ölçülmez. Meteorolojik aletler; termometre, barometre ve psikrometrelerdir.
- Alıcı, anten ve batarya arasındaki bağlantı sağlandıktan sonra alıcı çalıştırılır. Ölçme konfigürasyonu parametreleri olan ölçme modu (statik-kinematik vb), kayıt aralığı (epok), minimum uydu yüksekliği girilerek navigasyon çözümünün yapılıp yapılmadığı kontrol edilir. Alıcının vermiş olduğu PDOP, görülen uydu sayısı ve noktanın yaklaşık koordinatları izlenerek gerekli ölçü süresinin dolması beklenir. Ölçü süresi dolduktan sonra alıcının hafızası kontrol edilmek suretiyle yapılan ölçmelerin kayıt edilip edilmediği saptanır. Ölçü sonunda alıcı kapatılarak anten sökülür. Alıcı çalışırken anten sökülmesi son kaydedilen verilerin bozuk olmasına yol açacağından sakıncalıdır. Sonra ölçü yapılacak noktalarda da benzer işlemler tekrarlanır.



GPS İLE ELDE EDİLEN DATALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kaydedilen Dataların Temel Özellikleri

- Datalar saniyede 50 megabitlik (50MHz) bloklar halinde olup; Efemeris, saat parametreleri ve sistemin durumu
- hakkında bilgiler içermektedir. Her blok, 5 alt çerçeveden oluşmakta ve bu alt çerçevelerin her biri 10 kelime içermektedir.

1. Alt Çerçeve: Saat düzeltmeleri ve iyonosfer parametreleri.

R	R	α_0	α_1	α_2	β_0	β_1	β_2	β_3	TGD	AODC	t_α	a_2	a_1	A_0
---	---	------------	------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----	------	------------	-------	-------	-------

R

:Rezerve (Boş)

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$

:Sinyalin seyahat süresindeki gecikmeden kaynaklanan düzeltme parametreleri.

TGD

:Tek frekanslı aletler için iyonosfer düzeltme faktörü

AODC(Age of Data Clock)

:Uydu saat verilerinin yaşı (saniye).

t_α

:Referans saat noktası (GPS haftası başından itibaren)

a_0, a_1, a_2

:Saat düzeltme polinomu katsayıları (saniye).



2. Alt Çerçeve: Uydu yörünge parametreleri

AODE	C_{rs}	Δn	M_0		E	C_{us}	$\sqrt{A}$	t_{oe}	R
------	----------	------------	-------	--	---	----------	------------	----------	---

AODE

:Yörünge elemanlarının yaşı (saniye).

C_{rs}

:Yörünge yarıçapına getirilen düzeltme (metre).

Δn

:Dünya dönme açısının ortalama dönmeden farkı ($\Pi/2$).

M_0

:Uydu yörüngesinin referans zamanında ortalama anomalisi (

Π/s).

C_{us}

:Argümentin boylamına getirilen düzeltme faktörü.

$\sqrt{A}$

:Yörünge uzun ekseninin karekökü.

t_{oe}

:Yörünge elemanlarının referans zamanı.



3. Alt Çerçeve: Uydu yörünge parametrelerinin devamı

C_{ic}	Ω_0	C_{is}	i_0	C_{rc}	W	Ω	AODE	R
----------	------------	----------	-------	----------	-----	----------	------	---

C_{ic} :Yörünge eğim açısı düzeltme faktörü (radyan).

Ω_0 :Yükselme düğüm noktasının rektasansyonu (Π).

C_{is} :Yörünge eğim açısı düzeltme faktörü (radyan).

i_0 :Referans zamanı için eğim açısı (Π).

C_{rc} :Yörünge yarıçapı düzeltme faktörü (metre).

W :Perigenin argümenti (Π).

Ω :Yükselme düğüm noktası rektasansyonunun hızı (Π/s).



4. Alt Çerçeve: Almanak ve uyduların durumu hakkındaki bilgiler.

Bu çerçevede, hassas olmayan yörünge parametreleri, uyduların durumları, uydunun ölçüye uygun olup olmadığı, iyonosfer refraksiyon modeli, uydu numaraları ve P kodunun gizliliği ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

5. Alt Çerçeve: Almanak ve uyduların durumu hakkındaki bilgiler.

ID	e	T_{oa}	δ_i	Ω	H	$\sqrt{A}$	Ω_0	W	M_0	a_0	a_1	R
----	---	----------	------------	----------	---	------------	------------	---	-------	-------	-------	---

ID :Uydunun kimliği.

E :Uydunun yörüngesinin dışmerkezliliği.

t_{oa} :Almanak verilerinin referans zamanı.

δ_i :Eğim düzeltme faktörü.

Ω :Yükselme düğüm noktası rektasansyonunun hızı (Π/s).

H :Numarası bildirilen uydunun durumu.

$\sqrt{A}$:Yörünge uzun ekseninin karekökü.

Ω_0 :Yükselme düğüm noktasının rektasansyonu (Π).

W :Perigenin argümenti (Π).

M_0 :Uydu yörüngesinin referans zamanında ortalama anomalisi (Π/s).

a_0, a_1 :Saat düzeltme polinomu katsayıları (saniye).

R :Rezerve

Data İşleme

Dataların Aktarımı

Ölçümlerin bitirilmesinin ardından datalar, her bir alıcıdan bilgisayar ortamına geçirilmelidir.

- Aktarılmış data, alıcı formatına göre şifrelenerek sıkıştırılmış binari formatında bir datadır. Yazılım bu dataları navigasyon mesajları (broadcast, efemeris), ölçü değerleri (kod uzunlukları, taşıyıcı fazlar ve doppler dataları) ve diğer bilgiler olmak üzere dönüştürmekte ve değerlendirme işlemine hazır hale getirmektedir.
- Data aktarımı sırasında dikkat edilecek en önemli konulardan birisi dosya ismi ile birlikte anten yüksekliğinin eksiksiz olarak kayıt edilmesini sağlamaktır.



Data aktarım modülü

Data aktarımı	
Kaydedilmiş data	Deşifre edilmiş data
Kayıt cihazı	Binary format
Kopyalama tekniği	RINEX format
Aktarım kontrolü	

Data Değişirme

- Aktarım esnasında binari formatındaki alıcı dataları bilgisayar için bağımsız ASCII formatına dönüşmesine rağmen, datalar hala alıcıya bağlı durumdadır. Her GPS data değerlendirme yazılımı kendi formatına sahip olduğundan, farklı aletlerle toplanan ölçülerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğinde dataların sadece tek bir alıcı tipi kullanımına göre düzenlenmesi gerekmektedir.
- Bunun için, dataların alıcıdan bağımsız olarak depolandığı RINEX (Receiver Independent Exchange) formatı kullanılır. Bu format ASCII dosyalarının üç tipini içerir.
 - Uzaklık datalarını içeren gözlem dataları dosyası
 - Meteorolojik data dosyası
 - Navigasyon mesajı dosyası
- Her dosya başlık kısmı ve data kısmı olarak birleştirilmiştir. Her dizide maksimum 80 karakter kayıt edilebilir. Başlık kısmında genel dosya bilgileri mevcutken data kısmı asıl dataları içermektedir. Gözlem ve meteorolojik dosya dataları her bir oturumdaki noktalar için oluşturulur. Bununla beraber navigasyon mesajı dosyası noktadan bağımsızdır.
- RINEX, “ssssdddf.yyt” şeklinde bir dosya ismi kullanmaktadır. Dosya isminin ilk 4 karakteri (ssss) nokta numarası, sonraki 3 karakter (ddd) yılın gününü ve en son karakter de (f) oturum numarasını göstermektedir. Dosya uzantısının ilk iki karakteri (yy) yılın son iki hanesini, son karakter (t) ise dosya tipini göstermektedir. Uydu ismi ise “snn” olarak atanır ve buradaki ilk karakter (s) uydu sisteminin belirleyicisi, son iki hane (nn) ise uydu numarasını (PRN no) içerir.

Data Değerlendirme

- **Baz Vektörlerinin Tanımlanması**

Ölçü yapılan noktalar arasında çeşitli baz vektörleri oluşturulabilir. Değerlendirme yazılımları bir tek baz vektörü veya çoklu baz vektörlerine göre çözüm yapabilmektedirler. Yazılım en uygun bazları kendi oluşturmasına rağmen, kullanıcıya baz vektörü seçimi konusunda esneklik tanımaktadır. n sayıda nokta için $n-1$ sayıda bağımsız baz mümkündür.

- **Efemeris**

Yayın efemerisleri yörünge dosyalarını dönüştürmekte ve seçilmiş epoklar için uydu koordinatları hakkında bilgi içermektedir. Uydu koordinatları diğer epoklar için yörünge üzerinde, bazı seçilmiş epoklardan enterpolasyonla bulunmaktadır. Aynı zamanda yayın efemerisi yüksek doğruluklu ölçmeler ve hassas yörünge belirlemek için kullanılır.

- **Kod Datalarının Değerlendirilmesi**

Bir baz vektörü hesaplanmadan önce her bir vektörün son noktası, öncelikle kod pseudorange'leri olarak belirlenir. Aynı zamanda kod dataları ile 3 boyutlu konum ve alıcı saat hatası da belirlenebilir. Koordinatları bu şekilde belirlenen noktalar zaman dönüşümüne olanak sağlar.



- **Faz Datalarının Değerlendirilmesi**

Faz datalarının değerlendirilmesi için çeşitli metotlar mevcuttur. Ham fazları tekli-ikili-üçlü farklarla hem tek, hem de çift frekans olarak değerlendirebilmek mümkündür. Çeşitli data kombinasyonları vardır. Çift frekans fazlar birleşik olarak iyonosfer-serbest (ionosphere-free), geniş dalga boyu (wide-lane), kısa dalga boyu (narrow-lane) ve aynı zamanda faz-kod uzunlukları, faz-doppler kombinasyonları olarak kullanılabilir.

- **Kovaryans Matrisleri**

Kovaryansların doğru modellenmesi ile oldukça karışık data kombinasyonlarının incelenmesi mümkündür. GPS değerlendirme yazılımları hem tek, hem de çok noktalı moda, ikili fark modeli için kovaryans oluşturabilmektedir



- **Parametre Kestirimi**

Uygun data değerlendirme işlemi için kullanılacak programların aşağıdaki opsiyonları sağlaması gerekir.

- ② **Baz Vektörlerinin Hesaplanması**

Statik, kinematik ve pseudokinematik ölçümlerden elde edilen baz vektörleri, sadece baz vektörü veya çok noktalı mod seçilerek çeşitli oturumlarda oluşturulabilir.

- ② **Tamsayı Belirsizliği**

İlk dengelemede tam sayı belirsizliği gerçek değer olarak hesaplanır (Float Solution). Daha sonra tamsayı belirsizliği farklı teknikler kullanılarak, sabit bir tamsayı değeri olarak belirlenebilir. Başarılı bir dengelemede tamsayı belirsizlikleri bilinen değer olarak alınır (Fixed Solution).

- ② **Atmosfer**

Atmosferik modellemeler için çeşitli seçenekler söz konusudur. Standart bir atmosfer modeline ek olarak, data değerlendirmesini en uygun hale getirmek için, çeşitli iyonosfer ve troposfer modelleri seçilebilir. Bu durum özellikle uzun baz vektörleri için gereklidir. Gelişmiş yazılımlar, troposferik zenit gecikmeleri ve iyonosferik etkilerin kestirimine uygun bir şekilde tasarlanmıştır.



Data değerlendirme					
<i>Baz vektörünün tanımlanması</i>	<i>Efemeris</i>	<i>Kod datalarının değerlendirilmesi</i>	<i>Faz datalarının değerlendirilmesi</i>	<i>Kovaryans matrisi</i>	<i>Parametre kestirimi</i>
Proje taslağı	Yayın efemerisi	Tek nokta çözümü	Ham fazlar		Baz Vektörlerinin hesaplanması
Tekli baz vektörü	Hassas efemeris	DGPS	Faz farkları		Ambiguity
Çoklu baz vektörü			Data kombinasyonları		Atmosferik parametreler
Oturumların kombinasyonu			RTK		



Kalite kontrol

- **Data Analizi**

Güvenilir ve gelişmiş bir yazılım, karmaşık dataların analizine olanak sağlamaktadır. Kaba hatalar otomatik olarak belirlenerek, elemine edilebilmekte, faz sıçramaları belirlenerek giderilebilmektedir. Grafik opsiyonları yardımıyla faz sıçramaları vb. hatalar ekranda görüntülenebilmekte ve düzeltilmiş faz sıçramaları liste halinde oluşturulmaktadır.

- **İstatistiksel Veriler**

Parametre kestirimine ek olarak, noktalar için sonsal varyans-kovaryans matrisleri ve noktalar arası varyans – kovaryans matrisleri de elde edilebilir. Artık hatalar baz vektörleri dengelemesinden elde edilmekte ve bunlar dataların homojenlik kontrollerinde kullanılmaktadır. Bu artık hatalar ekranda görüntülenerek kritik ölçümler izole edilebilir.

- **Lup Kapanmaları**

Lup kapanmaları, dataların kalite kontrolü için en önemli kriterlerden biridir. Oluşturulan vektörlerin lup kapanmaları, kullanıcının tanımlamasıyla kolayca belirlenebilmektedir.



Ağ Hesaplamaları

- **GPS Ağlarının Dengelenmesi**

Baz vektörlerinin hesaplanan sonuç değerleri ECEF (Earth-Centered-Earth-Fixed) koordinat sistemindeki $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ farkları olup, noktaların koordinatları bu koordinat farklarının dengelenmesinden sonra belirlenmektedir. Dengeleme serbest ağ dengelenmesi olarak yapılabildiği gibi bir veya daha fazla noktanın sabit alınmasıyla dayalı olarak da yapılabilir.

Buna karşın, bir noktanın sabit alınıp alınmaması en az lup kapanmaları kadar kalite kontrolünü etkileyen faktörlerden biridir.

- **Datum ve Koordinat Dönüşümleri**

7 parametrelili bir benzerlik dönüşümü (Helmert Dönüşümü) ile genel olarak dönüklük, öteleme, ölçek parametreleri belirlenerek koordinat dönüşümü yapmak mümkündür. Yazılımlar ECEF koordinatlarını, enlem-boylam-yükseklik olarak coğrafi ve jeodezik koordinatlara (UTM, Lambert Projeksiyonu, Gauss-Krüger) veya kullanıcının tanımladığı bir koordinat sistemine dönüştürebilir.

- **Klasik Datalarla Birlikte Dengeleme**

Yazılımların içerisindeki birçok dengeleme modülü GPS baz vektörleri ile klasik olarak ölçülmüş açılar, uzunluklar ve yükseklik farklarını bir arada değerlendirilebilmektedir. GPS sonuçları ve klasik datalar en küçük karelerle kollakasyon metoduna göre dengelenmektedir.

