

JEODEZİK AMAÇLI UYDU GÖZLEMLERİ
ve DOPPLER SİSTEMİ

Doç.Dr.Turgut UZEL

Yapay uydular yardımıyla jeodezik ölçümler yapma konusunda, özellikle son yıllarda büyük gelişmeler olmuştur. Yeryüzü istasyonlarının koordinat değerleri, bu uydulara gözlemler yaparak kolayca saptanabilmektedir.

Uydu gözlemlerinden ayrıca şu konularda da yararlanılmaktadır :

- _ Yer sarsıntısı ve benzeri doğa olaylarına ilişkin jeolojik verilerin sağlanması,
- _ Atmosferik kırılmanın saptanmasına ilişkin gözlemler,
- _ Atmosferik yoğunluk ve 70-90 km yüksekliğe kadar sıcaklık dağılımı,
- _ Hava kirlenmesi nedeniyle oluşan etkilerin incelenmesi,
- _ Bulut yüksekliklerinin saptanması,
- _ Atmosferik transmisyon,
- _ Troposferin alt tabakasındaki moleküler spektrumun araştırılması,
- _ Kolondaki su içeriğinin saptanması.

Yeryüzü istasyonu ile uydu arasındaki uzaklık LASER ışınlarıyla, radyo dalgaları veya mikrodalgalarla ölçülebilir. Bu konuda akla gelen ilk sorun, kullanılan elektromagnetik dalganın gidiş- dönüş hızı için getirilmesi gereken düzeltme değerinin saptanmasına ilişkindir. Elektromagnetik dalgaların hızı,

$$v = \frac{c}{n} \quad (1)$$

formülüyle hesaplanır. Burada $c=299\,792,5$ km/s olarak alınabilir. n ise kırılma indisidir. Işık kullanılıyorsa n yerine grup kırılma indisini almak gerekir: $(n_{Go} - 1) \cdot 10^6 = 287,604 + 4,8864/\lambda^2 + 0,0064\lambda^4$

Uydu gözlemlerinde, çizginin büyük bir kısmı, (ışık için) kırılma indisi $n=1$ olan atmosferin dışındadır. Bu nedenle, ölçülecek uzunluğun iki

ucundaki kırılma indisinin saptanmasına ilişkin hiçbir sorun yoktur.

Yol boyunca toplam uzaklık, Bomford /2/'a göre

$$2 D = \int \frac{c}{n} dt = c.t - \int (n-1). ds \quad (2)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada t, elektromagnetik dalganın gidiş-dönüş zamanı ve ds ise yol boyunca uzanan çizginin diferansiyel parçasıdır. D nin bir kesri olarak ifade edildiği için $\int (n-1). ds$ düzeltmesi, çok küçüktür; Ve basınç ile sıcaklığın anormal değerlerine ilişkin herhangi bir kuşku yoktur. z (zenit uzaklığı) büyük değilse

$$ds = dh. \sec z \quad (3)$$

yazılabilir. Burada z sabittir Dünyanın eğriliğinin ihmal edilebilir etkisi için z nin neden olduğu değişme dolayısıyla (n-1) yerine

$$(n-1) = (n_i - 1).e^{-ah} \quad (4)$$

yazılabilir. Bu, yaklaşık bir formüldür. Formüldeki n_i , istasyondaki kırılma indisi ve h, metre olarak istasyonun yüksekliğidir. a ise sabit bir değerdir. Havanın yoğunluğu ve (n-1), yaklaşık olarak yükseklikle eksponansiyel olarak değişir. 80 kilometreye kadar yüksekliklerde

$$a = 0,1385.10^{-3}$$

alınması uygundur.

(2) eşitliğinin sıfırdan sonsuza entegrasyonu ve (n-1) yerine (4) teki karşılığının konmasıyla, deniz düzeyindeki bir gözlem için

$$\begin{aligned} D &= c.t - (n_i - 1) \frac{1}{a} \sec z \\ &= c.t - (\text{yaklaşık } 3. \sec z \text{ .. metre}) \end{aligned} \quad (5)$$

elde edilir.

Eğer daha yüksek bir incelik istenirse, (2) nin, çeşitli yükseklikler için P (basınç) ve T (sıcaklık) değerleri kullanılarak entegrali alınır. 80° den daha küçükse zenit mesafesi z, değişmeyen bir değer olarak alınabilir .

Burada, eğer grup veya faz hızı kullanılırsa herhangi bir sorun ortaya çıkmaz, Fark , 1000mbar basınçta 10.10^{-6} olabilir. Ama muhtemelen kullanılacak en yakın uyduya olan çizgide, bunun % 1 inden daha az farklı olması gerekir.

Eğilen ışının yörüngesi, düz çizgiden biraz ayrılmış olacaktır.LAMBECK /6/. D ye getirilecek düzeltmeyi,

$$- 0,0020 \text{ tg}^2 z. \text{ sec } z \quad \text{metre}$$

olarak vermektedir. Buna göre $z = 75^\circ$ olduğu zaman düzeltme, 0.1 metre olur ve bu ihmal edilebilir.

1. MİKRODALGALARIN KIRILMA İNDİSİ

Atmosferde birkaç on kilometreden daha küçük yükseklikler söz konusu olduğunda, havanın neden olduğu kırılmayı gözönüne almak zorunluğu vardır. Bu, aynen ışıktaki olduğu gibi düşünülür. Yalnız kırılma indisi olarak

$$(n-1).10^6 = N = 77,6 \frac{P}{T} - 13 \frac{e}{T} + \frac{3,8 \cdot e \cdot 10^5}{T^2} \quad (6)$$

kullanılır. (5) teki $-3 \text{ sec } z$ terimi, burada yine geçerli sayılabilir.İstenirse su-buharı basıncı de hesaba katılabilir.

Daha yükseklerde yani iyonosferde, mikrodalgalar, ışığın etkilemediği bazı güneş etkileriyle etkilenebilir.

İyonosferde, mikrodalgaların kırılma indisine ilk yaklaşım olarak

$$n = 1 - \frac{N \cdot e^2}{2\pi m f^2} \quad (7)$$

verilmektedir. Bu formüldeki N, birim hacimdeki elektronların sayısını ;

e elektron yükünü ; m elektronun kitlesini ve f ise dalga'nın frekansını göstermektedir. $m=9.10^{-28}$ gram ve $e=4,8.10^{-10}$ e.s.u alınırsa,

$$n = 1 - 41 \frac{N}{f^2} \quad (8)$$

olur. Eğer N, bir metreküpteki elektronların sayısı olarak düşünülürse o zaman faz hızı,

$$v_p = c \{ 1 + 41 (N/f^2) \} \quad (9)$$

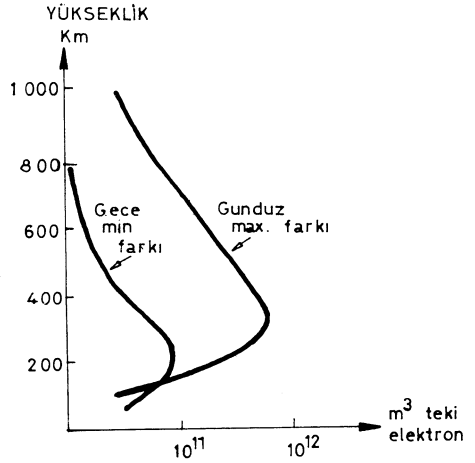
olur.

(n-1) negatif olduğu için ışın, yüksek elektron frekans alanına doğru eğilir ve mikrodalganın faz hızı, vakum' da ışığın hızını aşar.

Elektron yoğunluğu zamanla büyük oranda değişir ve incelikle saptanamaz. Şekil : 1, farklı yüksekliklerdeki gündüz maksimum ve gece minimum yoğunluk arasındaki farkı göstermektedir.

Bir örnek olarak $N=10^{11}$ ve $f=449$ MHz alalım. O zaman $(n-1)=-20.10^{-6}$ hesaplanır

n kırılma indisi, f frekans ile değiştiği için iyonosferdeki mikrodalgaların grup hızı, faz hızının aynı değildir.



Şekil : 1. /2/

$$v_G = v_p - \lambda (dv/d\lambda) \quad (10)$$

$\lambda \approx c/f$ olduğundan

$$v_G = v_p \left(1 - 82 \frac{N}{f^2} \right) \quad (11)$$

ve $v=c/n$ ile (8) eşitlikleri (11) de yerine konularak

$$v_G = c \left(1 - \frac{41N}{f^2} \right) \quad (12)$$

bulunur. Bundan, mikrodalgaların grup hızının, ışığın hızından daha küçük olduğu anlaşılır. Yolun eğriliğini, (8) formülü belirler.

Yolun eğrilik yarıçapı,

$$\frac{1}{\sigma} = - \left(\frac{dn}{dh} \right) \cdot \sin z \quad (13)$$

formülüyle verilir. Burada z , zenit mesafesi ; h ise yüksekliktir. (8) kullanılarak

$$\frac{1}{\sigma} = \frac{41}{f^2} \cdot \frac{dN}{dh} \sin z \quad (14)$$

elde edilir.

dN/dh gradyenti, çok değişkendir. Ama Şekil:1,400 km lik bir yükseklikte, her 200 km için -3.10^{10} luk bir farkı öngörür. Bunu kullanarak ve $f=450$ MHz, $\sin z=0,8$ alarak eğrilik yarıçapını

$$\sigma = 38.10^6 \text{ km}$$

olarak buluruz. Bunu, yeryüzündeki bir uzunluk ölçümü ile karşılaştırabiliriz ; Yeryüzünde mikrodalganın standart eğriliği için $\sigma_m = 4R$ alınır.

R çok büyük ise yay ile giriş arasındaki fark doğal olarak küçük olur. Eğer $\sigma=30.10^6$ lık bir değer üzerinde ısrar edilirse 200 ila 1000 km yüksekliklerdeki bir ölçüm için yay ile giriş arasındaki fark, son derecede küçük olacaktır.

Eğer yolun her kesiminde dN/dh nin hesabı yapılırsa eğrilik hesaplanabilir. Troposferdeki eğrilik de oldukça önemlidir.

Eğriliğin işareti, troposferde, normal olarak yere doğru içbükeydir. İyonosferin alt tabakalarında, N nin max. olduğu yüksekliğe kadar aynı troposferdeki gibidir. Fakat max. N den daha yükseklerde yere dışbükeydir. 1000 km den daha yükseklerdeki eğriliğin şekli önemli olabilir.

Bundan başka yerin manyetik alanının etkisinin de hesaba katılması düşünülebilir. Ama bu, oldukça küçük olacaktır, /2/.

2. MİKRODALGA ALETLERİ

Yer istasyonu ile uydu arasındaki uzaklık, yer-istasyonundan gönderilen modüle bir mikrodalga yardımıyla ölçülebilir. Uzaklık, çıkış ve giriş dalgalarının fazları arasındaki farktan hesaplanır.

Bu tür aletler için SECOR iyi bir örnek oluşturur. Secor'da 420,9 MHz (67 cm) lik bir mikrodalga ; 585, 533 kHz e modüle edilerek uyduya doğru yayınlanır. Bu, uydu tarafından 449 ve 224,5 MHz üzerinden geri gönderilir. Aynı anda dört yer istasyonundan ölçüm yapılabilir. Ölçüm, her 0,05 saniyede bir yinelenir. Ölçüm işlemi, Tellurometer tipi aletlerde olduğu gibi gerçekleştirilir.

900 km lik bir yükseklikte, geceleyin, 75° den daha büyük olmayan zenit uzaklığında, bir tek geçişin ortalamasında ± 5 metrelik bir ortalama hataya erişilmektedir. Ardarda geçişlerde bir korelasyon kurulabilir.

3. LASER ALETLERİ

Atmosferik kırılma, uzunluk ölçümlerine açı ölçümlerinden daha az etkidiği için LASER aletleri, jeodezide büyük gelişmeler öngörür. Günümüzdeki aletlerin verdiği uzunluk inceliği, yaklaşık 2 metre kadardır ve bu, $5-10 \cdot 10^{-7}$ lik bir bağıl hataya karşılıktır.

Puls uzunluğu 1-5 nanosaniyeye indirilirse bu aletlerle şu ölçümler gerçekleştirilebilir :

* Dünyanın dönmesi ve UT 1, 0.02 arcsaniye (130 mikrosaniyelik) bir incelikle, 1 günden az bir zamanda ölçülebilir.

* Polar hareket daha iyi saptanabilir.

* Gel-gitler 50 cm den daha incelikle gözlenebilir.

* Büyük kitleler arasındaki tektonik hareketler (10-50 cm/ sene) saptanabilir.

* 10 cm lik bir arazi koordinat sistemi kurulabilir ve bu, örneğin Türkiye nirengi ağına bağlanabilir.

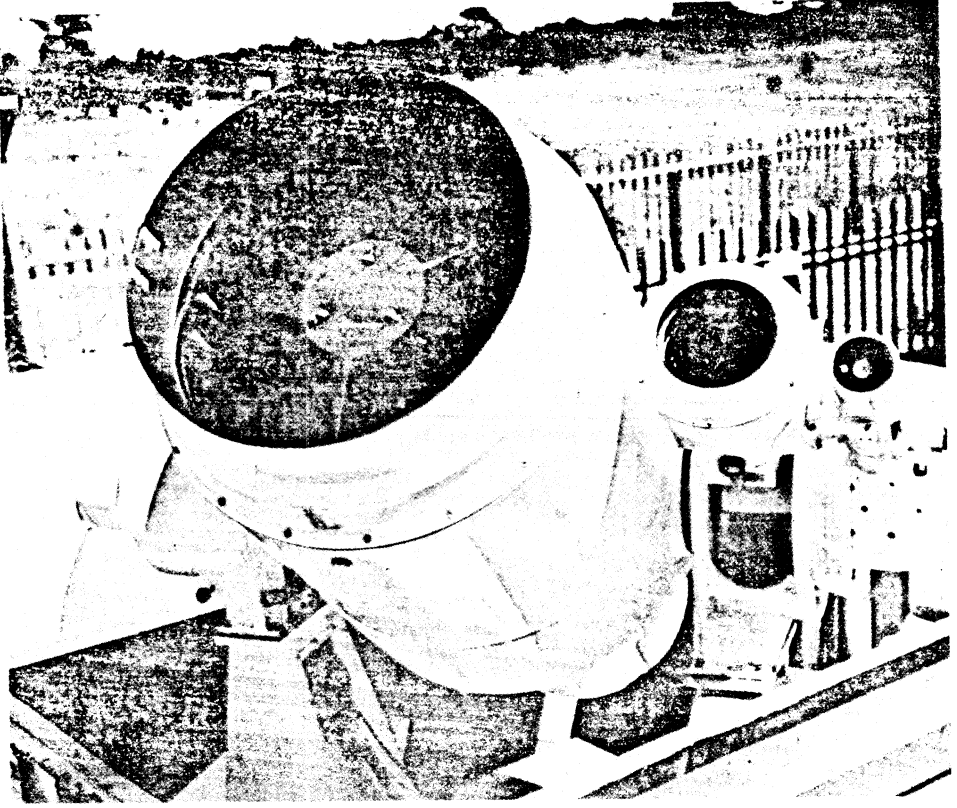
* Yerçekimi ivmesinin değeri, dünyanın kitlesi ve mikroskopik atomik saate göre makroskopik efemerid zamanının gelişmesi belirlenebilir.

Uydu gözlemlerinde LASER' in özelliklerinden yararlanılır. Genellikle kısa bir puls gönderilir. Bu LASER pulsü, uydunun üzerinde bulunan küp-köşesi yansıtıcılarca geri yansıtılır. Pulsün çıkışında, **puls sayma devresi** saymaya başlar ; puls, geri döndüğünde sayma devresinin çalışmasını durdurur. Ve buradan uzaklık hesaplanır. Bu tür sistemlerin inceliği şu faktörlere bağlıdır :

* **Pulsün kısalığı.** Dönen pulsün şiddeti, algılama için yeterli olabilir ama şeklini tanımak için kafi gelmeyebilir. Bir nanosaniyenin uzunluk olarak karşılığı 15 santimetredir. Eğer puls uzunluğu 30 ns ise bu hesaba göre hatanın, bir uzunlukta 10 ns yi veya 1,5 m yi aşmaması gerekir. 10 ns lik pulsların, $\pm 0,6$ m lik hatalara neden olduğu varsayılabilir.

* **Troposferdeki kırılma indisi yüzünden gecikme.** Bu gecikme, aşağı yukarı (3.sec z) metredir ve kolayca % 10 içinde hesaplanabilir. İyonosferde gecikme yoktur. Bu nedenle LASER ışınları, mikrodalgalara oranla büyük bir avantaj sağlar.

Öğünümüzde kullanılan bu tür aletlerin başında Nd-YAG LASER uzunluk ölçme sistemi gelmektedir. Bu sistem, Almanya ile Amerika'nın ortaklaşa çalışmaları sonunda gerçekleştirilmiştir. (Aynı ismi taşıyan Finlilerin de bir çalışması vardır, /10/.) Söz konusu aletin ölçüm uzunluğu 900-9000 km dir. Saniyede 5 ölçüm yapar. Gönderici optiğinin efektif ışın diverjansı 0,025-2 mrad arasındadır. Alıcı optiği **Cassegrain** tipidir; Çapı 61 cm dir. Kaynak olarak mode kilitli bir (Neodiyum) Nd-YAG LASER kullanılır. İşlemler bilgisayarla yapılır. Şekil : 2 de, bu sistemin gönderici ve alıcı optik düzeninin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil : 2.

3.1. LASER'İN AVANTAJLARI

Uydu uzaklıklarının ölçümünde kullanılan LASER'ler ile mikrodalgalar karşılaştırılırsa LASER'lerin üstünlükleri şöyle özetlenebilir :

* Mikrodalga yansıtıcılarına kıyasla, köp-köşe yansıtıcılar, daha basit ve etkilidir.

* LASER pulslarında büyük güçler ortaya konabilir. Dolayısıyla daha uzun mesafeler ölçülebilir.

* LASER'ler, mikrodalga pulslarından 100 kez daha kısa pulslar üretebilir.

* Bir LASER ışını, 10 cm yarıçaplı bir mercekle bir kaç derece dakikası içinde yoğunlaştırılabilir. Oysa radar, 24' lık bir ışın için 10 metre -

lik bir anten ister .

* Işığın kırılma indisinin, iyonosferde herhangi bir anomalisi yoktur.

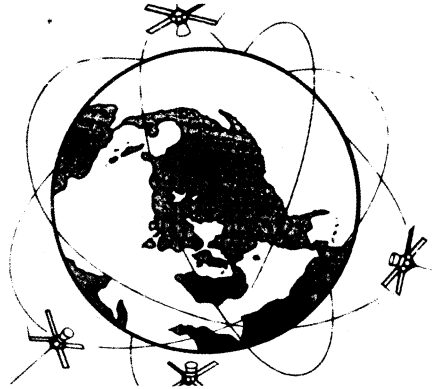
LASER'in tek sakıncası, hedeflemede ortaya çıkar. Bulutlu havalarda hedefleme oldukça zordur. Ama bu sorun, bir kompüterin yardımıyla kısmen çözümlenebilir.

4. DOPPLER YÖNTEMİ

Burada, iki konuda, biraz daha ayrıntılı bilgi vermek uygun olacaktır. bunlardan ilki, yapay uydulara ilişkindir.

Birçok devletin, halen dünyanın etrafında dönen çok sayıda yapay uydusu vardır. Bunlar, çeşitli amaçlar için uzaya fırlatılmışlardır. Örneğin Amerika Deniz Kuvvetlerinin 6 TRANSİT uydusu, dünya etrafındaki kutupsal yörüngede, sürekli olarak dönmektedir. Bunların yörüngesel periyodları, 1 saat 47 dakika kadardır. Yükseklikleri ise dünya yüzeyinden yaklaşık 1000 km kadardır. Bu uydular, Dünya etrafında dönerlerken sürekli olarak yaklaşık 400 MHz lik yüksek stabiliteli iki taşıyıcı frekans üzerinden faz-modulasyonlu bir seri davisal veriler akımı yayınlarlar. Bu veriler, her uydunun kendisinin yörüngesini tanımlar. Şekil:3.

Amerikan Deniz Kuvvetleri, bu uyduların yaydığı bilgileri toplayan ve bunları değerlendiren bir uydu izleme ağı kurmuştur. Elde edilen bu bilgiler, merkezi, Point Mugu-Kaliforniya'da olan bir büyük kompüter ağı tarafından değerlendirilerek her bir uydunun gelecekteki yörüngesi hesaplanmaktadır. Hesaplanan her yörüngeye ilişkin veriler, Maine-



Şekil : 3.

Minnesota-Kaliforniya ve Havai'deki yer ana izleme istasyonları'nca her uydunun kendisine gönderilmektedir. Her uydu da kendisine ait bu bilgileri belleğinde 12 saat korumakta ve bunları bu süre boyunca sürekli olarak yayınlamaktadır. 12 saatin sonunda merkezden gelen yeni bilgileri belleğine yerleştiren uydu, bundan sonra artık bu bilgileri yayınlamaya başlamaktadır.

Bu altı transit uydudan biri, dünya üzerindeki bir mevkiin görüş alanı içerisinde, 1 - 2 saat ara ile geçer. Bu zaman aralığı, o yerin enlemine

bağlıdır.

Dünya üzerindeki bir istasyona, her transit uydu o bölgeden geçerken, yayınladığı uydu frekanslarının her ikisini de alabilen anten/alıcısı olan bir alet yerleştirilir. Bir tek uydu geçişi, tipik olarak, ufuktan yükselme zamanından ufukta kaybolmasına kadar aşağı-yukarı 15 dakika sürer. Bir uydu geçerken ölçü aleti, her iki taşıyıcı dalga frekansından elde edilen yörüngeye ilişkin verileri demodüle eder ve bunları kendi belleğine yerleştirir. Hatta iki taşıyıcı frekansı birden belleğinde depolar. Ölçü aletinin anteninde alınan frekans, uydunun hareketi ve dünyanın dönmesi sonucu oluşan DOPPLER etkisiyle sürekli olarak değişir. Uydu geçip gittikten sonra ölçme aletindeki bir mikro-işlemci, yörüngesel ve frekans verilerini kullanarak hemen kendi anteninin enlem ve boylamı (2 boyutlu) için bir konum sabiti hesaplamaya koyulur. Alınan frekanstaki değişimler, gözlemcinin anten durumuna göre bir tektir. Yani anten, dünya üzerinde başka bir yere yerleştirilmiş olsaydı, aynı uydu geçişi için Doppler frekans eğrisinin farklı bir şekli olurdu.

Ölçüm aleti, aynı zamanda, birçok uydu geçişinden elde edilen birikmiş verileri kullanarak kendi anteninin konumunu, üç boyutlu olarak(enlem, boylam ve yükseklik) hesaplamaya başlar. Bu konum, iki boyutlu konumdan daha incelikli olarak hesaplanır. Çünkü iki boyutlu konum hesaplamasından daha fazla bilgiye dayanmaktadır. Genel olarak ne kadar fazla bilgi toplanırsa o kadar incelikli sonuçlar alınacağı söylenebilir.

Yapay uyduların her birinin gerçek yörüngesini daha iyi saptamaya yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Ayrıca yeni yapay uydular atma konusundaki proje çalışmalarına da başlanmıştır. NOVA uyduları olarak adlandırılan bu yeni uydular, 1990 yılında sisteme bağlanacaktır. Bunların kendi yörüngelerindeki küçük değişimleri bile değiştirme yeteneği olacaktır. Bu nedenle daha incelikli sonuçların alınabileceği umulmaktadır.

Transit uydu sistemi, Amerika'da Polaris Denizaltı Filosu için 1960 lar-da geliştirilmiş ve 1967 de ticari kullanım için uygun duruma getirilmiştir. Sistem, önceleri denizde, hem askerlikte hemde ticari navigasyonda geniş olarak kullanılmakta idi. Arazi ölçümleri için ilk uygulama 1964 te başladı.

4.1. DOPPLER OLAYI

Bir frekans kaynağı ile bir gözlemci birbirlerine göre bağımlı bir ha-

reket içinde iseler, gözlenen dalga'nın frekansı, kaynağın esas frekansından farklı olur. Örneğin bize doğru gelen bir trenin düdüğünü gittikçe tiz duyarız. Bu olayı- dalga hareketleri içerisinde ilk farkedilen Almanya doğumlu Avusturyalı fizikçi C.J. DOPPLER (1803-1853) olmuştur.

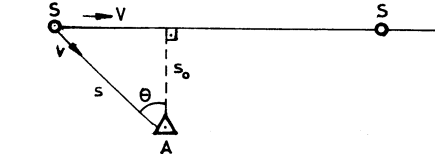
Elektromagnetik dalgalar için Doppler etkisi, ayrı olarak ele alınır. Çünkü her şeyden önce elektromagnetik dalgalar, hareket halinde maddeyi içermez ve böylece kaynağın, ortama bağlı hızı söz konusu olmaz. İkinci olarak yayılma hızları c dir ve gözlemcilerin hareketine bağlı olmadan bütün gözlemcilere göre aynı değerdedir. Bu yüzden, elektromagnetik dalgalar için Doppler etkisi, görecelik (rölativite) ilkesi yardımıyla hesaplanır.

Şekil: 4'teki gibi yeryüzündeki bir A noktasında bulunan bir gözlemciye göre V hızıyla hareket eden bir S uydusu varsayalım. Bu uydu, sürekli olarak faz hızı v olan f_0 frekanslı bir sinyal yayınlasın. AS uzaklığını s ile gösterelim. Buna göre A istasyonunda kaydedilen sinyalin frekansı,

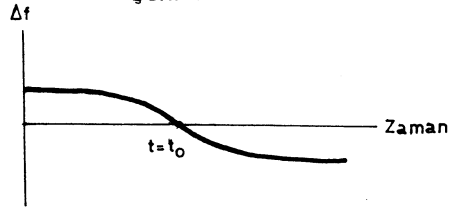
$$f = f_0 \left(1 - \frac{1}{v} \frac{ds}{dt} \right) \quad (15)$$

olur. Kaynağın gerçek frekansı ile bunun A noktasında kaydedilen frekansı arasındaki Δf farkı, v sabit farzedilerek

$$\Delta f = f - f_0 = - \frac{f_0}{v} \cdot \frac{ds}{dt} \quad (16)$$



Şekil:4



Şekil:5

bulunur. (Aşağıda hıza tekrar, değinilecektir.) Δf farkını, zamana bağlı olarak çizersek, Şekil:5 elde edilir. Uydunun minimum uzaklıkta ise $ds/dt=0$ olur ve eğri sıfır çizgisini keser. Bu zamana t_0 diyelim. Minimum uzaklık da s_0 olsun.

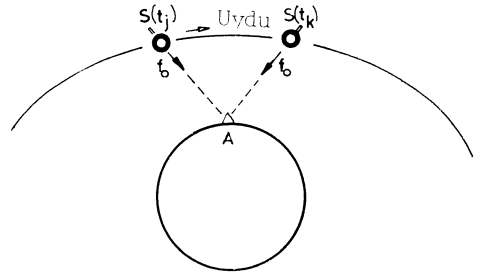
Bir an için uydunun yörüngesini düz bir çizgi olarak varsayarsak

$$s = \{s_0^2 + v^2 (t-t_0)^2\}^{1/2} \quad (17)$$

yazılabilir. Bunun birinci ve ikinci türevleri,

$$\frac{ds}{dt} = \frac{v^2}{s} (t - t_0)$$

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{v^2}{s^2} \cdot \frac{ds}{dt} (t - t_0) - \frac{v^2}{s}$$



Sekil:6

ve $t = t_0$ olduğu zaman

$$\frac{d(\Delta f)}{dt} = -\left(\frac{f_0}{v}\right) \cdot \left(\frac{v^2}{2_0}\right) \quad (18)$$

olur.

V, v ve f_0 bilinirse Şekil:5 teki eğrinin t_0 daki eğimi s_0 verir.

Uygulamada yolun eğriliğinin önemli olduğu gözden uzak tutulmaz ve (17) formülünün uygulanmadığı bir periyot boyunca yapılan gözlemleri kullanarak en küçük kareler yöntemiyle t_0 ve s_0 değerleri hesaplanır.

Ne jeosentrik istasyon koordinatları ve ne de uydu yörünge konstantları bilinmese bile çok sayıda gözlem yapılarak bu yöntemle aşağıdaki bilinmeyenler saptanabilir:

* Dünyanın çevresine düzgün olarak dağılmış (örneğin 12 tane) sabit istasyonun, dünyanın kitle merkezine bağlı üç boyutlu koordinat değerleri ,

* Uygun (örneğin dört) uydunun altı elemanı ve bunların zamanla değişimleri ; Zaman değişimleri, seküler ve periyodik, yerin çekim alanı için harmoniklerdeki sabitlere ilişkin bilgiler,

* Taşınabilen aletle geçici olarak kurulan herhangi bir noktanın üç koordinat değeri,

* Uydunun yayınladığı f_0 frekansının değeri.

4.1.1. TRANSMİSYON HIZI

Şimdi (16) eşitliğini tekrar ele alalım. Eşitlikteki v , 1. bölümde

de vurgulandığı gibi, atmosferin alt tabakalarında ve iyonosferde, yükseklikle değişir. Ve

$$n = \frac{c}{v} \quad (19)$$

olduğu için

$$\Delta f = - \frac{d}{dt} \int \frac{f_o \cdot ds}{v} = - \frac{d}{dt} \int \frac{f_o \cdot n \cdot ds}{c} \quad (20)$$

olur. Burada c, ışığın boşluktaki hızıdır. Entegral ise t zamanında yol boyunca alınır. WEIFFENBACH, G.C. /12/, bunun çözümünü,

$$\Delta f = - \frac{f_o}{c} \cdot \frac{ds}{dt} - \frac{f_o}{c} \cdot \frac{d}{dt} (\Delta s_t) + \frac{a_1(t)}{f_o} + \frac{a_3(t)}{f_o^3} \quad (21)$$

eşitliğiyle vermektedir. Burada ds/dt, yörüngelerin veya istasyon koordinatlarının hesaplanması için gereken geometrik uzaklık oranıdır. Δs_t , (5) e göre 3secz metredir. $a_1(t)$ ve $a_3(t)$ ise 1. bölümde sözü edilen iyonosferik kırılmayı belirtir. Bunlardan daha önemlisi olan $a_1(t)$, 324 ve 162 MHz gibi iki frekans aynı anda kullanılarak saptanır. Bu frekansların kullanılmasıyla ve $a_3(t)$ nin ihmalıyla oluşan hata, genellikle 3 metreden daha küçük olarak hesaplanır.

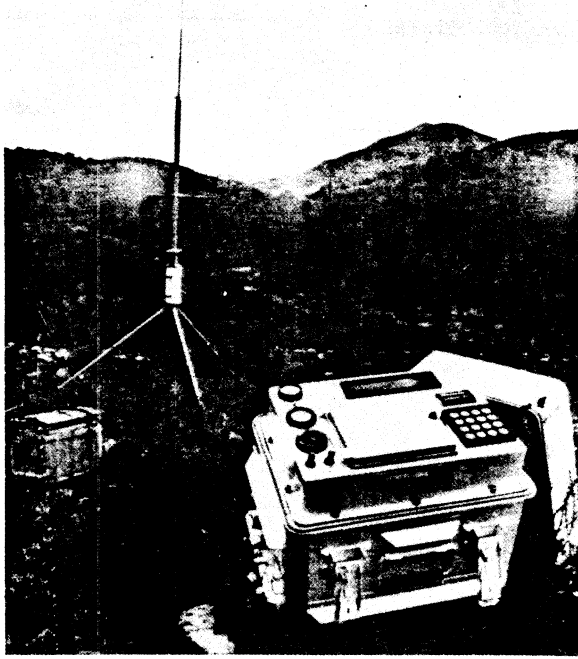
Kırılma indisi yüzünden oluşan hatanın 5 metre kadar olduğu varsayılmaktadır, /2/.

4.1.2. MAGNAVOX MX 1502 GEORECEIVER UYDU-ÖLÇER

Doppler sistemiyle çalışan aletlere Georeceiver, Georeceiver II (Magnetovox, Torrance USA), CMA-722A , CMA-722B (Canadian Marconi Comp., Montreal/Kanada) ve IMR-1 (IMR Instruments Inc., Chatsworth USA) örnek olarak gösterilebilir.

Magnovox, ilk uydu seti olan MX 702CA-LSS i, 1971 de gerçekleştirilmiştir. İkinci aletleri olan 702CA nın daha az ağırlıkta olduğu görülür . MX 702A-LSS alıcısı, 1975 te Georeceiver II'ye takılmıştır. Bundan sonraki çalışmalar, 1978 de sonuçlanmış ve Magnavox MX 1502 modeli gerçekleştirilmiştir, şekil :7.

Magnavox 1502 Georeceiver, dünyanın her yerinde, kurulduėu istasyonun

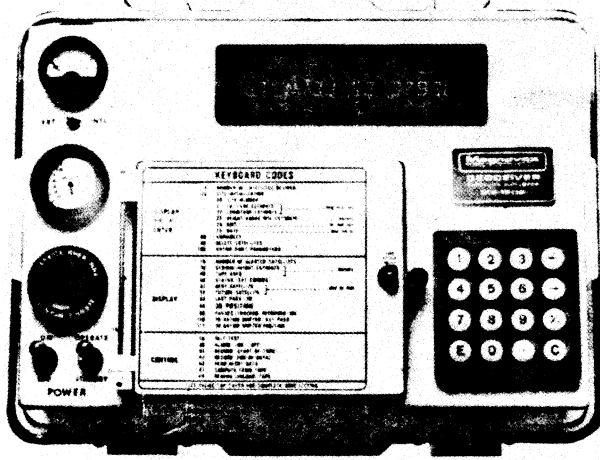


şekil:7. Magnavox MX 1502 Georeceiver.

konumunu çabucak ve incelikle saptayabilen portatif bir kara ölçüm aletidir. Transit uydularından yararlanarak sinyallerden başka herhangi bir diėer referansa gerek kalmadan işlem yapar.

İlk kabul edilebilir uydu geçişinde, konum saptaması için yeterli bir incelik (yaklaşık 30 metre kadar) elde edilebilir. Ardarda gelen her geçişte, (enlem, boylam ve ortalama deniz düzeyinden yükseklik)   boyutta, bir tek nokta yerleştirmesinde 3-5 metrelik; translokasyonda ise 0.5-1.5 metrelik bir sonuç inceliğine erişilir.

MX 1502  lme sisteminin toplam ağırlığı 27 kg kadardır. 19 kg ve 8 kg lık iki taşınabilir sandık içerisinde istenen yere götürülebilir.



Şekil : 8. MX 1502'nin kontrol paneli.

Birinci sandıkta ana ünit vardır. Bu ünit, bir çift kanal uydu alıcısı, bir mikroişlemci, bir şerit-kaset taşıyıcı, bir sayısal gösterge, bir kontrol paneli ve bir kristal osilatörü içerir.

5 parçadan oluşan anten üniti, konumu belirlenecek istasyonun üzerine çabucak yerleştirilebilir. Anten, bir kablo ile ana ünite bağlanır.

MX 1502 sistemi aşağıda belirtilen işler için kullanılabilir:

- * Ulusal, bölgesel ve yerel resmi ölçümler,
- * Ticari ölçümler,
- * Sismik ölçümler,
- * Dünya ve buzul hareketlerinin analizleri,
- * Uzaktan algılama (remote sensing) için kontrol noktaları,
- * Jeodezik yatay ve düşey kontrol,
- * Harita yapma ve hava fotogrametrisine ilişkin kontroller.
- * Azimut belirlemesi,
- * Ölçü markaları ve terk edilen bölgelerin ölçümleri,
- * Baz istasyonları ve radyo istasyonlarının konumlarının saptanması,
- * Denizcilikle ilgili hedefleme,
- * Akaryakıt boruları ile kabloların döşenmesi,
- * İnşaat mühendisliği ile konstrüksiyon,
- * Maden ve doğal kaynakların araştırılması.

Bu alet, 6100 metreye kadar yüksekliklerde (-20°C ile 55°C arasında) her türlü doğa koşullarında işlem yapabilir.

İşleme başlanır başlanmaz, MX 1502, otomatik olarak 150MHz ve 400 MHz lik faz modülasyonlu uydu sinyallerini izlemeye başlar; isyonosferik kırılma indisi düzeltilmesini yapar ve uydunun doğru konumunu okur. Uydu, her geçişte, ufkun yukarısında yaklaşık 15 dakika kadar kalır ve bu sırada aşağı yukarı 7000 km kadar bir yol alır. MX 1502, bu geçiş sırasında, uydunun yayınladığı elektromagnetik dalgaların yarattığı Doppler etkisine dayanarak, kendi anteni üzerindeki bir kıyas noktasının, uydunun yörüngesine bağlı durumunu saptar. Mikroişlemcide işlenen bilgilerden- istasyon noktasının, (UTM) Universal Trans Mercator projeksiyonunda dik (grid) kafes koordinatları veya coğrafi koordinatları hesaplanır.

Bundan başka, istenen inceliğe erişildikten ve yeterli bilgi birikimi sağlandıktan sonra elde edilen sonuçlara ilişkin istatistikdeğerleri hesaplayarak verir.

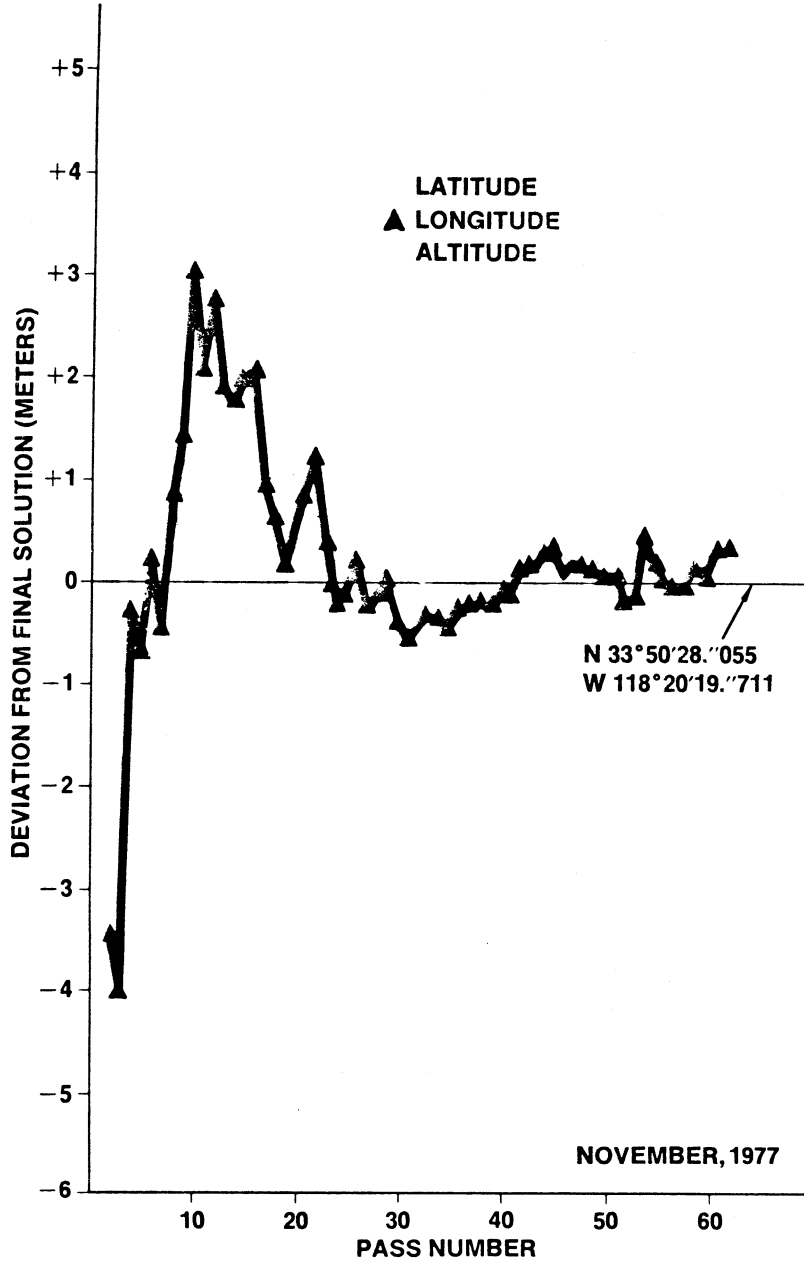
Gerçek zaman durumu göstergesi, yerel bir ölçme ağının kurulması için başlangıç jeodezik kıyas (referans) noktası sağlar.

Alet, elde edilen koordinat değerlerini, hemen (WGS-72 World Geodetic System)Dünya Jeodezik Sistemi koordinatlarına dönüştürür.

Ulusal kurumların çoğu, bölgesel veri ve referans elipsoidine göre çalıştığı için koordinatların, bu lokal verilere dönüştürülmesi gerekir. MX 1502 Georeceiver'e, söz konusu ulusal sisteme ilişkin başlangıç veya referans değerleri kontrol paneli ile verilir. Ve bundan sonra sonuçlar, ulusal referans sistemine göre hesaplanır.

Alet, bir noktanın üç boyutlu koordinatlarını, iki yolla saptayabilir: **Nokta yerleştirme ve translokasyon.** Nokta yerleştirme yöntemiyle± 5 metrelik bir incelik sağlanabilir. Bu nokta için sadece bir nokta gerekir; işlem arazide yapılabilir. Oysa translokasyonda iki veya daha fazla sayıda nokta ile işlem yapılır. Ve verilerin daha fazla işlenmesi şarttır. Araları yaklaşık 50-60 metre olan iki noktadan aynı anda iki aletle yapılan ölçümler sonunda ±1 metrelik konum inceliğine erişilmektedir.

Uyduların çoğunun konumunun saptanmasına ilişkin sabit hata kaynakla-



Şekil : 9. MX 1502 ile yapılan ölçümlerin sonuçları.

rı, büyük arazilerde, yüksek oranda korelasyonludur. Translokasyon bilgi indirgeme tekniği, aynı uydudanaynı anda okumalar yapılarak iki veya daha fazla istasyon arasındaki bağıl durumu hesaplar. Ve daha büyük bir incelik sağlar.

Bunun için bir 1502 Georeceiver, koordinatları bilinen bir istasyona kurulur. Öteki aletler de koordinatları belirlenecek noktalar üzerine kurulur ve aynı anda kendi konumlarını hesaplamak için ölçümlere başlarlar. Elde edilen veriler, birlikte değerlendirilerek konumu bilinmeyen noktanın koordinat değerleri daha incelikte saptanır. Yukarıda da değinildiği gibi bu yöntem, 100 metreden daha kısa aralıklarla seçilmiş ve koordinatları önceden bilinmeyen iki nokta için de uygulanabilir ve başarılı sonuçlar alınabilir.

Magnavox MX 1502 sisteminde, Doppler frekansları, bir f_g referans sinyalinde karşılaştırılmaktadır. Dolayısıyla Şekil:5,Şekil:10 durumuna gelir. Böylece negatif değerlerden kaçınılmış olur.

Şekil:11 de görüldüğü gibi uydunun yayınladığı bir f_o sinyali, A istasyonunda değişik olarak alınır. Örneğin, uydu j noktasında iken gönderdiği sinyalin frekansı, A istasyonunda, (15) te belirtildiği gibi

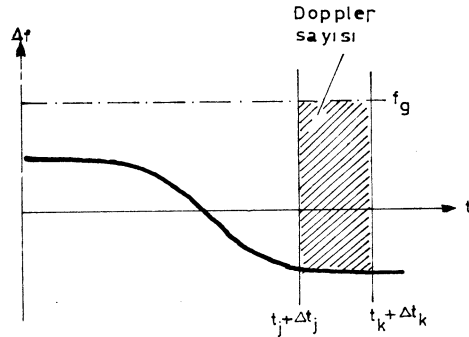
$$f = f_o \left(1 - \frac{1}{v} \cdot \frac{ds}{dt} \right)$$

değeriyle saptanır. Uydunun yaydığı f_o frekansı ile istasyon noktasında alınan sinyalin frekansı arasında, (16) da gösterilen

$$f = f_o - f = - \frac{f_o}{v} \cdot \frac{ds}{dt}$$

farkı vardır.

Uydu j noktasından k noktasına giderken geçen süre içerisinde A noktasında.



Şekil:10.

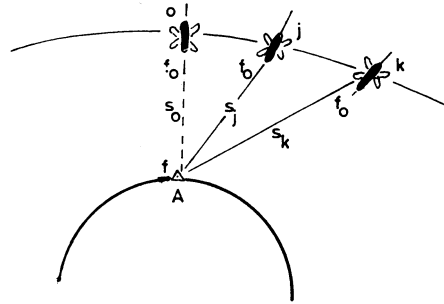
$$N_{jk} = \int_{t_j + \frac{s_j}{c}}^{t_k + \frac{s_k}{c}} (f_o - f) . dt \quad (22)$$

tane titreşim kaydedilir. Aletin kaydettiği bu titreşimlerin sayısına Doppler sayısı denir.

Şekil : 10 da işaretlenen t_j noktası, uydunun j noktasında bulunduğu zamanı göstermektedir. Uydunun gönderdiği sinyaller A noktasına gelinceye kadar

$$\Delta t_j = \frac{s_j}{c} \quad (23)$$

$$\Delta t_k = \frac{s_k}{c}$$



Şekil :11.

kadar bir zaman geçer. s_j ve s_k uzaklıkları birbirine eşit olmadığı için Δt_j ve Δt_k da birbirine eşit olmaz.

Başta belirtildiği gibi negatif değerlerle çalışmamak için kıyasla - mayı bir f_g frekansına göre yaparsak (22) eşitliği,

$$N_{jk} = \int_{t_j + \Delta t_j}^{t_k + \Delta t_k} (f_g - f) . dt \quad (24)$$

olur. Bu entegrali hesaplarsak

$$N_{jk} = f_g (t_k - t_j) + f_g (\Delta t_k - \Delta t_j) - \int_{t_j + \Delta t_j}^{t_k + \Delta t_k} f . dt \quad (25)$$

buluruz. Eşitliğin sağ tarafındaki terimi yeniden ele alırsak

$$\int_{t_j + \Delta t_j}^{t_k + \Delta t_k} f \cdot dt = \int_{t_j}^{t_k} f_o \cdot dt = f_o (t_k - t_j) \quad (26)$$

olduğunu görürüz. Bunu (25) te yerine koyarsak

$$N_{jk} = f_g (t_k - t_j) + f_g (\Delta t_k - \Delta t_j) - f_o (t_k - t_j) \quad (27)$$

buluruz. Bunu biraz düzeltirsek

$$N_{jk} = (f_g - f_o) \cdot (t_k - t_j) + f_g (\Delta t_k - \Delta t_j) \quad (28)$$

olur.

Uydunun yayınladığı elektromagnetik dalganın hızının, yaklaşık c olduğunu varsayarsak j noktasından yayınlanan bir dalga, s_j uzaklığına Δt_j zamanında geçerek A noktasına ulaşır. Buna göre

$$s_j = c \cdot \Delta t_j$$

$$\Delta t_j = \frac{s_j}{c} \quad (29)$$

ve

$$\Delta t_k = \frac{s_k}{c}$$

olur. Bunları (28) de yerine koyarsak

$$N_{jk} = (f_g - f_o) \cdot (t_k - t_j) + f_g \left(\frac{s_j}{c} - \frac{s_k}{c} \right)$$

$$= (f_g - f_o) \cdot (t_k - t_j) + f_g \frac{s_j - s_k}{c} \quad (30)$$

buluruz. Burada

$$\Delta f_g = f_g - f_o \quad (31)$$

şeklinde gösterilirse (30),

$$N_{jk} = \Delta f_g (t_k - t_j) + f_g \frac{s_k - s_j}{c} \quad (32)$$

olur.

$$c = \lambda \cdot f$$

genel eşitliğinden elde edilen

$$1/\lambda = f/c$$

(32) de yerine konursa

$$N_{jk} = f_g (t_k - t_j) + \frac{s_k - s_j}{\lambda} \quad (33)$$

bulunur. Bu eşitliği $s_k - s_j$ için çözersek

$$s_k - s_j = \lambda \{ N_{jk} - \Delta f_g (t_k - t_j) \} \quad (34)$$

buluruz.

Uygulamada,

$$\Delta f_g = \Delta f' + d\Delta f \quad (35)$$

şeklinde düşünülür. Ve $\Delta f' = 32$ kHz olarak seçilir.

$$\Delta f_g = 32 \text{ kHz} + d \Delta f.$$

Bu durumda (34) eşitliği,

$$s_k - s_j = \lambda \{ N_{jk} - \Delta f' (t_k - t_j) \} - \lambda (t_k - t_j) \cdot d\lambda f \quad (36)$$

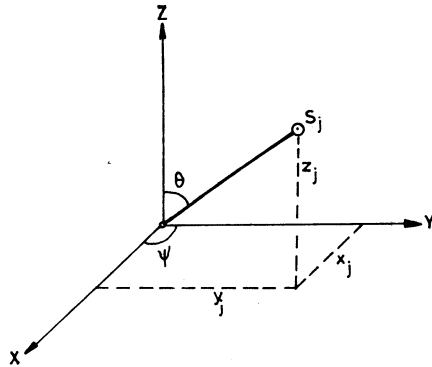
şekline girer. Bu eşitliğin sağ tarafında bilinmeyen olarak sadece $d\lambda f$ kalır.

Şekil : 12 de görüldüğü gibi uydu, belirli bir t_j zamanında j noktasında bulunur. Bu noktanın koordinatları x_j , y_j ve z_j ; k noktasının koordinatları x_k , y_k ve z_k ; A yer istasyon noktasının koordinatları da x_i , y_i ve z_i ile gösterilirse

$$s_j = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}$$

$$s_k = \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2 + (z_k - z_i)^2} \quad (37)$$

olur. Bunları (36) da yerine koyarsak



Şekil :12.

$$\frac{\sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2 + (z_k - z_i)^2} - \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}}{2} = \lambda \{ N_{jk} - \Delta f'(t_k - t_j) \} - \lambda.(t_k - t_j). d\Delta f \quad (38)$$

eşitliğini elde ederiz. Bu eşitliğin terimlerini yeniden gözden geçirirsek:

x_k, y_k, z_k : k noktasının koordinat değerleri(belirli),

x_j, y_j, z_j : j noktasının koordinat değerleri (belirli),

x_i, y_i, z_i : A istasyon noktasının koordinat değerleri
(bilinmiyor; bulunacak)

N_{jk} :Uydu j noktasından k noktasına giderken geçen süre içerisinde yayınladığı elektromagnetik dalganın titreşim sayısı; (Aletteki bir aygıt bunu sayar; Doppler sayısı.)

$\lambda = c/f_0$: Uydunun yayınladığı elektromagnetik dalganın dalgaboyu,

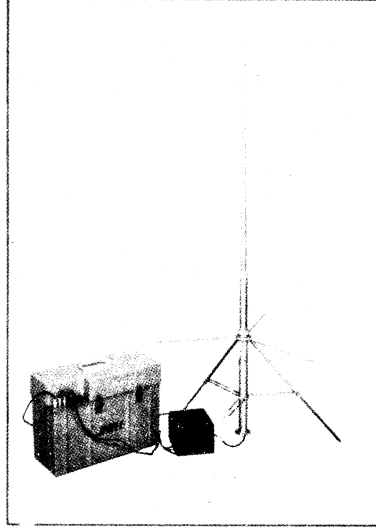
$f' = 32 \text{ kHz}$

t_k : Uydunun k noktasında bulunduğu an,

t_j : Uydunun j noktasında bulunduğu an,

$d\Delta f = \Delta f_g + 32\text{kHz}$

dir. Burada sadece dört tane bilinmeyen vardır. Bunlar x_j, y_i ve z_i A noktasının koordinatları ile $d\Delta f$ tir. Buna göre dört gözlem, gözlem bilinmeyenlerinin bulunmasını; dörtten fazla gözlem ise dengeleme ve buna ilişkin istatistik değerlerin elde edilmesini sağlayacaktır.



Şekil:13. JMR-1 Doppler Sistemi

K A Y N A K L A R

- /1/ ALONSO and FINN : Fundamental University Physics, 1970
- /2/ BOMFORD : Geodesy, Oxford 1971.
- /3/ CHAMBERLAIN, S. : The Magnavox MX 1502 Satellite Surveyor, 1978
- /4/ ILGIM, B. : Fizik II Ders notları, İstanbul 1976.
- /5/ ILGIM, B. : Modern Fizikten örnek Problemler, İstanbul 1977.
- /6/ LAMBECK, K. : Optimum Station Satellite Configuration For Simultaneous To Satellites, SAO Special Report 1966.
- /7/ MOYER, J.R. : The Satellite Doppler Survey System-A Modern Efficient Tool For The Field Surveyor, 1977.
- /8/ MOYER, J.R. : Navigation And Positioning Of Drill Rigs And Another Offshore Platforms, 1977.
- /9/ NOTTARP, K. : The New Nd-YAG LASER Ranging System For The
SEEGER, H. Satellite Observation At Wettzell, 1976
- /10/ SEppo, J.H. and : Description And Operation Of A Satellite
KAKURI, J. LASER System, 1977.
- /11/ UZEL, T. : Elektromagnetik Dalgalar Yardımıyla Uzunluk ve Açı Ölçümü (Baskıda) C:1.
- /12/ WEIFENBACH, G.C. : Tropospheric And Ionospheric Propagation Effect On Satellite-Radio-Doppler Geodesy, 1967.