

GLOBAL KONUM BELİRLEME YÖNTEMİ

G P S

Prof. Dr. Ahmet AKSOY

Doç. Dr. Tevfik AYAN

İTÜ İnşaat Fakültesi

Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl.

Jeodezi Anabilim Dalı

1- GİRİŞ

Yapay uydulardan yararlanarak konum belirleme çalışmalarının askeri ve navigasyon alanlarında sağlayacağı yararlardan başka jeodezik uygulamalara da yön vermesi beklenmektedir. Yapay uyduların askeri alana ve navigasyona sağlayacağı pratik ve ekonomik katkı umudu, bu yöndeki çalışmaların finans kaynağını oluşturmakta, jeodezik uygulamalara katkıları ise arka planda kalabilmektedir. Diğer yönden navigasyon için yeterli görülen doğruluk, jeodezi için hiç yeterli değildir ve askeri amaçlar doğrultusunda bazı yapay uydu bilgilerinin gizli tutulması eğilimi vardır. Herkese açıklanamayan yapay uydu yörüngesine ait presizyonlu bilgilerin kullanılmasıyla ulaşılabilen nokta konum doğruluğu, özellikle büyük uzaklıklar için yeterli olsa bile, gizlilik sakıncası 1960 yılından beri geliştirilen (NNSS (Navy Navigation Satellite System) transit doppler sisteminin gelişmesine ve uygulamanın yaygınlaşmasına engel olmuştur. Ayrıca yüksek doğruluk sağlayan uydu-laser yöntemleri ise çok pahalı olmaları nedeniyle bugün uygulanabilir olmaktan uzak görünmektedirler.

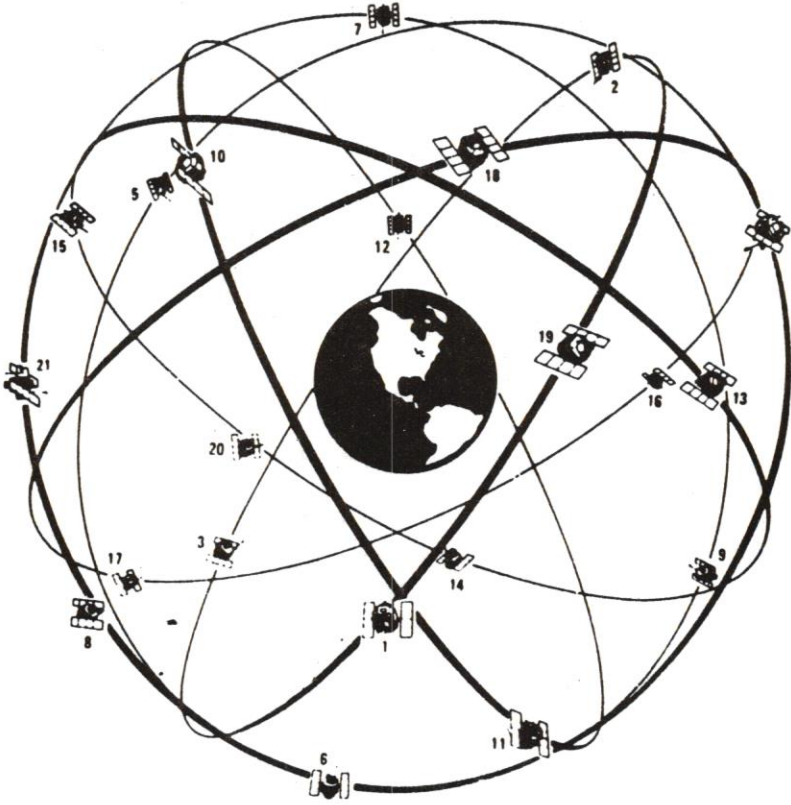
Counselman tarafından geliştirilen bir yöntemde, gizli yapay uydu bilgilerine gereksinim olmadan, taşıyıcı sinyalin yalnızca faz konumunun ölçülmek suretiyle iki yer noktası arasındaki uzaklık yersel jeodezik yöntemlerle kıyaslanabilir doğrulukta elde edilmektedir.

Hem sağladığı doğruluk hem de relatif ucuzluğu göz önünde bulundurulduğunda NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time And Ranging) adı verilen global konum belirleme sistemi gelecek için çok umut vermektedir.

2- SİSTEMİN TANIMI

2.1- Yapay Uydular

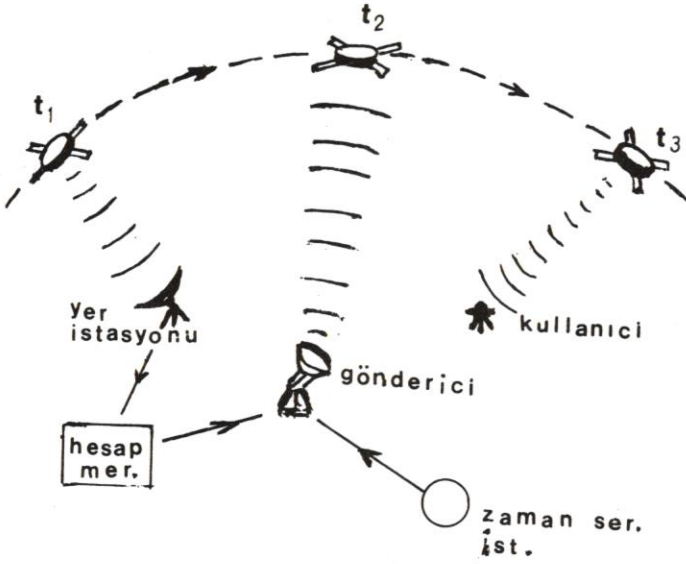
1985 yılında altı yapay uydusu bulunan sistemin 1988 yılında on sekiz uyduya sahip olması planlanmaktadır. 19.650 km. yükseklikteki uydular üçü bir yörüngede olmak üzere altı yörünge üzerinde bulunacaklar ve yörüngeler Şekil 1 (Stilller, A. 1985) de görüldüğü gibi yörüngeler ekvator düzlemiyle değişik eğim açlarına sahip olacaklar, böylece yeryüzünün her noktasından her anda en az dört uydu gözlemlenebilecektir. Bir uydu yörünge üzerindeki dolanımını tam 12 (sideral) saatte tamamlar. Bu yapay uydu sistemine



Şekil 1- NAVSTAR uyduları

koordinatları belli dört yer istasyonunu (Guam, Hawai, Alaska, Vandenberg) da katmak yerinde olacaktır. Bu istasyonların uydularla olan sinyal bağlantılarından, yörüngeleri sürekli olarak hesaplanır ve bu yörünge parametreleri, yeniden saat düzeltmesi ile birlikte uydu kaydedicisine gönderilir. Bu düzeltilmiş değerler uydulardan kullanıcıya aktarılır. Bu sistemin işleyiş şekli şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.

GPS uyduları NNSS uydularındakilerden farklı olarak iki sinyal gönderirler. Bunlar modüle edilmiş taşıyıcı dalgalar olup, 19.05 cm. dalga boyu $L_1 = 1.57542$ GHz frekanslı ve 24.45 cm. dalga boyu $L_2 = 1.22760$ GHz frekanslı sinyallerdir. Bunlardan L_1 hem P (precision) kodunu, hem de C/A (Coarse/Acquisition) kodunu, buna karşılık L_2 yalnız P kodunu içermektedir. Bu kodlar ile alıcı istasyonun konumu dekametre doğrulukla belirlenebilir.

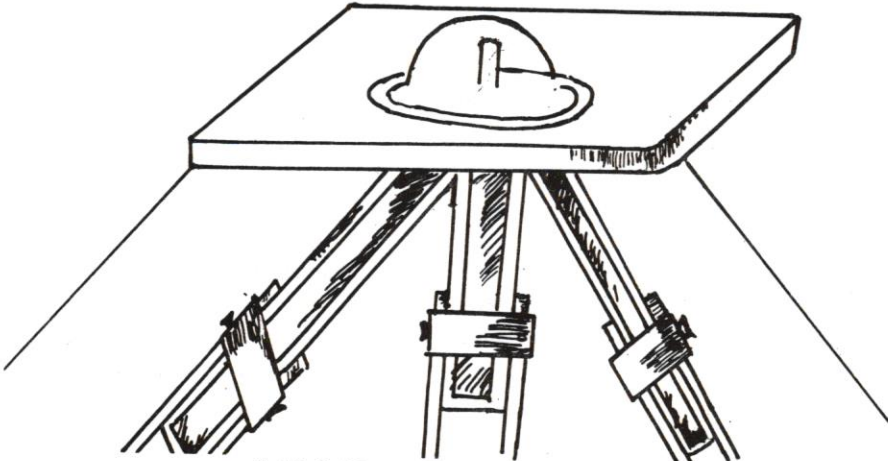


Şekil 2- Uydu yer istasyonu ve kullanıcı ilişkisi

2.2- Alıcı Sistem

Alıcı üreten pek çok sayıda ($\cong 140$) firma vardır. Bunlardan jeodezik amaçlar için kullanılabilenler JPL Series, Texas Instr. T1 4100, Macrometer V 1000, Wild Magnawox WM 101, Prakla-Seismas, SEL, Sercel TR5S. olarak sayılabilir (Hartl, u.d. 1985). Bunların içinde Macrometer V 1000 en yaygın biçimde test edilmiş olanıdır. İlginç test sonuçları nedeniyle burada Macrometer V 1000 alıcı sistemi kısaca tanıtılacaktır.

Macrometer V 1000 alıcısı 1982 yılında Counselman ve Steinbrecher tarafından geliştirilmiştir. 90x90x15 cm boyutlarında alüminyum plakadan meydana gelen 19 kg ağırlığında bir anten ile 70x60x60 cm. boyutlarında 45 kg. ağırlığında bir mikrodalga uzaklık ölçeridir. Data işlemek için alıcı içine bir mikrobilgisayar yerleştirilmiştir.



Şekil 3- Macrometer V 1000 Anteni

Macrometer V 1000 altı kanalı vardır, bunlar yardımıyla aynı zamanda altı uydu gözlenebilmektedir. Alıcı sistemin ölçüye hazır hale getirilmesi için 15 dakika yetmektedir. Bir ölçü 1-3 saniye sürmekte, bir istasyonda 60-180 ölçü yapılmaktadır. Bir istasyondaki (istasyon çifti) ölçmeler 2-4 saat sürebilmektedir (Hoffman-Wellenhop 1986).

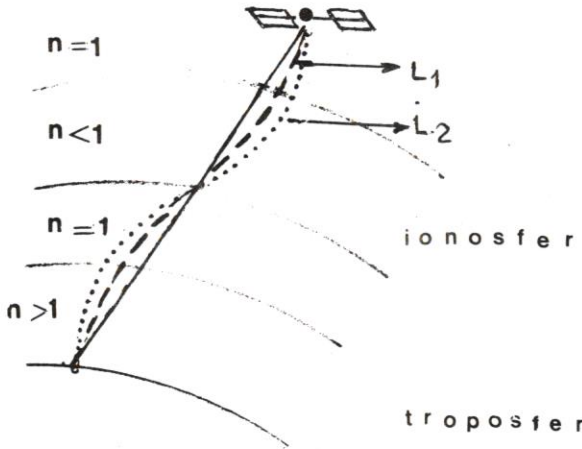
Alıcı sistemde taşıyıcı dalga karakterinde bir referans sinyali üretilmektedir. Uydudan gelen $L_1 = 1575.42$ MHz frekanslı $\lambda = 19.04$ cm. dalga boyu sinyal ile alıcıda üretilen sinyalin fazlarının karşılaştırılmasından Macrometer V 1000'in ölçü büyüklüğü ($\phi_S - \phi_E$) meydana gelmektedir.

2.3- Ölçü Büyüklüğü

Alıcı tarafından kaydedilen dalganın faz durumu, atmosferik refraksiyondan da etkilenmiştir. Atmosferik etki şeklinde görüldüğü gibi troposfer ve ionosfer etkileri olmak üzere iki kısımda düşünülürse, ölçü büyüklüğü

$$\phi_S - \phi_E + \delta\phi_{io} + \delta\phi_{Tr} \quad 23.1$$

yazılabilir. Diğer yönden alıcıda faz konumu yalnızca bir dalga boyunun kesirleri olarak belirlenebilmektedir. Dalga boyunun tam katları N, 23.1 ifadesine eklenmelidir. (Macro-



Şekil 4- Uydudan alıcıya sinyallerin izlediği yol

meter'de yarım dalga kesirleri belirlendiğinden, N yarım dalga boyunun katlarıdır.) N sayısı (İnteger-Ambiquitaet) her uydu için farklı olup, bir uydudan gelen sinyaller sürekli kaydedildiğinde N sabit kalmaktadır. Böylece 23.1 ifadesi için

$$\phi_S - \phi_E + \delta\phi_{io} + \delta\phi_{Tr} + N \quad 23.2$$

yazılabilir. İki istasyona yerleştirilen alıcılardaki ölçü büyüklüklerinin farkı oluşturulur-

sa, basit fark (single differences), iki alıcıdaki saat ayar farkı δt de göz önünde bulundularak

$$\Delta(\phi_S - \phi_E)_{12} + \Delta(\delta\phi_{IO})_{12} + \Delta(\delta\phi_{Tr})_{12} + \Delta(N)_{12} + \Delta(\delta t) \quad 23.3$$

olur. Bu ifade bir uydunun bir andaki iki yer istasyonuna olan uzaklık farkını göstermektedir ve düzeltme denklemi gibi düşünülebilir.

Uydu bir t_S zamanında ϕ_S fazını göndermekte ve alıcı t_E anında t_E zamandaki ϕ_E fazı ile karşılaştırmaktadır;

$$\phi_S(t_S) - \phi_E(t_E) \quad 23.4$$

t_S ve t_E birbirinin aynı değildir. Aradaki zaman farkı, uydu-alıcı uzaklığı ρ ile

$$\Delta t = \rho/c$$

olarak ifade edilebilir. Buradan

$$t_S = t_E - \Delta t$$

olur. Bu ifade 23.4 bağıntısında yerine konursa

$$\phi_S(t_E - \Delta t) - \phi_E(t_E) \quad 23.5$$

Δt küçük olduğundan $\phi_S(t_E - \Delta t)$ Taylor serisine açılırsa 23.5 için

$$\phi_S(t_E) - f_s \Delta t - \phi_E(t_E)$$

elde edilir. Burada f_s fazın zamanla değişimini gösteren frekans anlamına gelir. Δt yerine ρ/c yazılırsa

$$- f_s \frac{\rho}{c} + \phi_S(t_E) - \phi_E(t_E) \quad 23.6$$

elde edilir. Faz karşılaştırmasından $\phi_S(t_E) - \phi_E(t_E)$ elde edilebilirse 23.6 da bilinmeyen olarak yalnızca ρ uydu-alıcı uzaklığı kalır.

3- ÖLÇME YÖNTEMİ

3.1- Kinematik (Dinamik) Konum Belirleme

Tipik kullanılmı alanı navigasyondur. Hareketli bir P_0 noktasından P_i konumlarındaki uydulara yapılan kenar ölçmeleri ile kıyaslanabilir. Burada alıcıdaki saatlerle, uydu saatlerinin ayarlı olup olmadıkları bilinmediğinden üç kenar gerekli olmasına karşın dört uyduya pseudo uzaklık belirlenir.

Pseudo uzaklık, GPS saati ile alıcı saati arasındaki zaman uyumsuzluğu nedeni ile, gerçek anlamdaki alıcı-uydu uzaklığının bir sayı ile çarpılmış değeridir (Wells, 1985). Buna göre alıcı anteni ile uydu arasındaki uzaklık,

$$R_i = [(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2 + (Z_i - Z_0)^2]^{1/2} + C \cdot \Delta t_{A_i} + C(\Delta t_E - \Delta t_i)$$

ile ifade edilir. Burada,

Δt_{A_i} : Sinyalin yayılma gecikmesini

Δt_E : Alıcının GPS den olan zaman farkı

Δt_i : Uydu saatinin zaman farkı

C : Işık yayılma hızını

göstermektedir. Dört uyduya olan ölçme ile elde edilecek dört denklemden $X_0, Y_0, Z_0, \Delta t_E$ belirlenir.

Bu yöntemle hareketli bir cisim üzerindeki alıcının koordinatları $\mp (15 \dots 30)$ m. ile belirlenebilmektedir (Schuster, 1985).

3.2- Statik Konum Belirleme

Bu yöntemle konum belirlemenin önceki bölümde açıklanan farkı alıcı sistemin hareketsiz olmasıdır. Bu özellik bir miktar presizyon artışı sağlamakta ve ulaşılan nokta konum doğruluğu $\mp (3 \dots 15)$ m'yi bulmaktadır.

3.2- Relatif Konum Belirleme

Bazı kaynaklarda diferansiyel konum belirleme yöntemi olarak da adlandırılan bu yöntem sağladığı doğruluk bakımından, jeodezi için en ilginç olan yöntemdir. Ölçme yöntemi VLBI (Very-Long-Baseline-Interferometry) prensibine benzemektedir. İki GPS alıcısına gereksinim vardır. Bu yöntemle iki alıcı arasındaki koordinat farkları $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ yüksek doğrulukla elde edilmektedir. Yöntemin özelliği, uydu-alıcı uzaklıklarının farkları oluşturularak ölçme ve refraksiyon hatalarını en aza indirmeye dayanmaktadır.

Bir yer istasyonu ile bir uydu konumu arasındaki uzaklık vektörü, uydu ile yer noktasının yer vektörleri farkına eşittir. Örneğin Şekil 33.1'de P_1 ile S^j arasındaki uzaklık vektörü

$$\vec{\rho}_1^j = \vec{r}^j - \vec{R}_1 \quad 33.1$$

uzaklık ise

$$\vec{e}_1^i \cdot \vec{\rho}_1^j = \vec{e}_1^j (\vec{r}^j - \vec{R}_1) = \rho_1^j \quad 33.2$$

biçiminde gösterilir.

Bir yer istasyonundan iki uydu konumuna olan uzaklıkların farkı ise

$$\vec{e}_1^k (\vec{r}^k - \vec{R}_1) - \vec{e}_1^j (\vec{r}^j - \vec{R}_1) = \vec{\rho}_1^k - \vec{\rho}_1^j = V \rho_1 \quad 33.3$$

Bu ifadede parantezler açılarak yeniden \vec{R}_1 parantezine alınırsa

$$(\vec{e}_1^j - \vec{e}_1^k) \vec{R}_1 = V \rho_1 - \vec{e}_1^k \vec{r}^k + \vec{e}_1^j \vec{r}^j \quad 33.4$$

ve Şekil 33.1 de 33.6 tanımları kullanılarak

$$\| -V \vec{U}_1 \vec{R}_1 = V \rho_1 - \vec{e}_1^k \vec{r}^k + \vec{e}_1^j \vec{r}^j \| \quad 33.5$$

elde edilir. Bu ifade \vec{R}_1 in matematik modeli adını alır.

İki yer noktası arasındaki baz vektörü, bu noktaların yer vektörleri ile $\Delta R = \vec{R}_2 - \vec{R}_1$ olarak yazıp, 33.5 eşitliğini bir kez P_1 için bir kez de P_2 için yazarak, fark oluşturulursa

$$V \vec{U}_1 R_1 - V \vec{U}_2 R_2 = V \rho_2 - V \rho_1 - (\vec{e}_2^k - \vec{e}_1^k) \vec{r}^k + (\vec{e}_2^j - \vec{e}_1^j) \vec{r}^j$$

ve buradan

$$V^2 \rho = V \rho_2 - V \rho_1$$

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}^k - \vec{r}^j$$

$$\vec{R}_m = \frac{1}{2} (\vec{R}_1 + \vec{R}_2)$$

$$\vec{r}_m = \frac{1}{2} (\vec{r}^k + \vec{r}^j) \quad 33.7$$

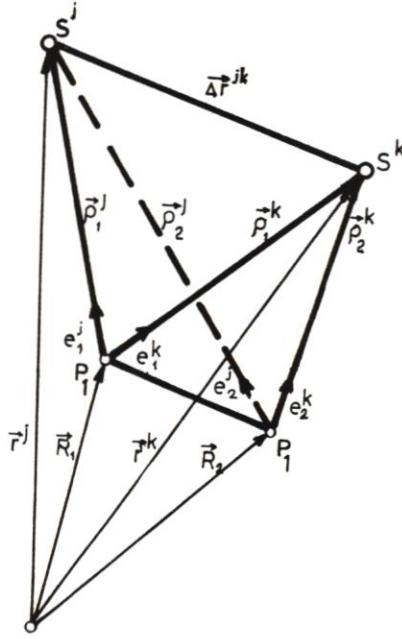
ile

$$\| -V \vec{U} \Delta \vec{R} = V^2 \rho - \Delta u$$

ile

$$\| -V \vec{U} \Delta \vec{R} = V^2 \rho - \Delta \vec{U} \Delta \vec{r} + \Delta^2 \vec{U} (\vec{R}_m - \vec{r}_m) \| \quad 33.8$$

elde edilir. Bu denklem geometrik olarak eksiksiz olmasına karşın, $\Delta \vec{R}$ in çözümü için



33.6

$$\vec{U}_1 = (\vec{e}_1^j + \vec{e}_1^k) / 2$$

$$\Delta \vec{U}^j = \vec{e}_2^j - \vec{e}_1^j$$

$$\vec{U}_2 = (\vec{e}_2^j + \vec{e}_2^k) / 2$$

$$\Delta \vec{U}^k = \vec{e}_2^k - \vec{e}_1^k$$

$$\vec{U} = (\vec{e}_1^j + \vec{e}_2^j) / 2$$

$$\nabla \vec{U}_1 = \vec{e}_1^k - \vec{e}_1^j$$

$$\vec{U} = (\vec{e}_1^k + \vec{e}_2^k) / 2$$

$$\nabla \vec{U}_2 = \vec{e}_2^k - \vec{e}_2^j$$

$$\vec{U} = (\vec{e}_1^j + \vec{e}_2^j + \vec{e}_1^k + \vec{e}_2^k) / 4 = (\vec{U}_1 + \vec{U}_2) / 2 = (\vec{U}_1 + \vec{U}_2) / 2$$

$$\Delta \vec{U} = (\Delta \vec{U}_1 + \Delta \vec{U}_2) / 2 = \vec{U}_1 - \vec{U}_2$$

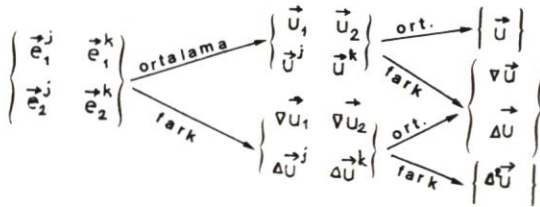
$$\nabla \vec{U} = (\nabla \vec{U}_1 + \nabla \vec{U}_2) / 2 = \vec{U}_2 - \vec{U}_1$$

$$D \vec{U} = (\nabla \vec{U}_1 + \Delta \vec{U}_2) / 2 = (\vec{e}_2^k - \vec{e}_1^j) / 2$$

$$d \vec{U} = (\nabla \vec{U}_2 - \Delta \vec{U}_1) / 2 = (\vec{e}_1^k - \vec{e}_2^j) / 2$$

$$\Delta^2 \vec{U} = \Delta \vec{U}_2 - \Delta \vec{U}_1 = \nabla \vec{U}_2 - \nabla \vec{U}_1$$

$$\nabla^2 \vec{U} = \nabla \vec{U}_2 - \nabla \vec{U}_1 = \Delta \vec{U}_2 - \Delta \vec{U}_1$$



Şekil 33.1- İki yer noktası P_1, P_2 ile iki uydu konumu S^j, S^k dan oluşan uzay dörtgeninde, vektör ilişkileri, tanımlar ve şema

$\Delta \vec{r}$, \vec{R}_m , \vec{r}_m ile doğrultu kosinüsleri bilinmelidir. Bu durum ise denklemin doğrudan doğruya kullanımını kullanışsız kılar (Vanicek v.d. 1984).

İki yer noktası P_1 ve P_2 arasındaki uzaklık vektörü, bu noktalardan bir uydu konumu S^j ye olan uzaklık vektörleri ele

$$\vec{R}_2 - \vec{R}_1 = \Delta \vec{R}_{12} \quad \vec{e}_1^j \rho_1^j - \vec{e}_2^j \rho_2^j \quad 33.9$$

33.6 tanımlar gereğince

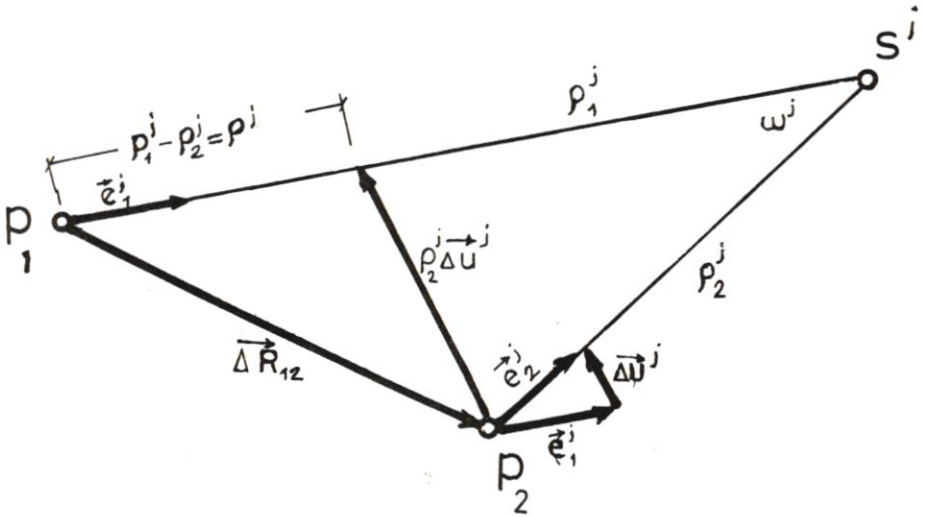
$$\vec{e}_2^j = \Delta \vec{U}^j - \vec{e}_1^j$$

konursa

$$\Delta \vec{R}_{12} = \vec{e}_1^j \rho_1^j - (\Delta \vec{U}^j + \vec{e}_1^j) \rho_2^j$$

$$\Delta \vec{R}_{12} = -\Delta \vec{U}^j \rho_2^j - \vec{e}_1^j (\rho_2^j - \rho_1^j)$$

$$\Delta \vec{R}_{12} = -\Delta \vec{U}^j \rho_2^j - \vec{e}_1^j \Delta \rho^j \quad 33.10$$



Şekil 33.2- İki yer noktasından bir uydu konumuna uzaklık vektörleri farkı

33.10 eşitliği \vec{U}^j ile çarpılırsa,

$$\vec{U}^j \cdot \Delta \vec{R} = \vec{U}^j \Delta \vec{U}^j \rho_2^j - \vec{U}^j \vec{e}_1^j \Delta \rho^j$$

olur, burada da

$$\vec{U}^j \cdot \Delta \vec{U}^j = \frac{1}{2} (\vec{e}_1^j + \vec{e}_2^j) (\vec{e}_2^j - \vec{e}_1^j) = \frac{1}{2} (\vec{e}_2^j \vec{e}_2^j - \vec{e}_1^j \vec{e}_1^j) = 0$$

yerine konursa

$$\| \vec{U}^j \cdot \Delta \vec{R} = - \vec{U}^j \cdot \vec{e}_1^j \Delta \rho^j \| \quad 33.11$$

elde edilir. Buradan ΔR in çözümü için $\Delta \rho^j$ ölçü büyüklüğü ile, birim vektörlerin doğrultu kosinüslerine gereksinim vardır.

Uydunun S^j konumundan S^k konumuna geldiği durumda 33.12 ifadesini bir kez daha yazarak S^j ve S^k için yazılan denklemlerin farkı alınır

$$\vec{U}^j \Delta \vec{R} - \vec{U}^k \Delta \vec{R} = \vec{U}^j \cdot \vec{e}_1^j \Delta \rho^j + \vec{U}^k \cdot \vec{e}_1^k \Delta \rho^k$$

$$\vec{U}^k = \vec{U} + \frac{1}{2} v \vec{U}$$

$$\vec{U}^j = \vec{U} - \frac{1}{2} v \vec{U}$$

koyarak, 33.6 tanımlarını kullanarak

$$\begin{aligned} - v \vec{U} \Delta \vec{R} &= (\vec{U} + \frac{1}{2} v \vec{U}) (\vec{U} + d\vec{U} - \frac{1}{4} \Delta^2 \vec{U}) \Delta \rho^k \\ &\quad - (\vec{U} - \frac{1}{2} v \vec{U}) (\vec{U} - D\vec{U} + \frac{1}{4} \Delta^2 \vec{U}) \Delta \rho^j \end{aligned}$$

ve $d\vec{U}$ ve $D\vec{U}$ yerine yine 33.6'dan değerini koyarak ve

$$\Delta \rho^m = \frac{1}{2} (\Delta \rho^k + \Delta \rho^j)$$

$$\Delta^2 \rho = \Delta \rho^k - \Delta \rho^j$$

kısaltması ile

$$\begin{aligned} - v \vec{U} \Delta \vec{R} &= ((\vec{U})^2 - \frac{1}{2} \vec{U} \Delta \vec{U} + \frac{1}{4} v \vec{U} v \vec{U} - \frac{1}{8} v \vec{U} \Delta^2 \vec{U}) \Delta^2 \rho \\ &\quad + (\vec{U} v \vec{U} - \frac{1}{2} \vec{U} \Delta^2 \vec{U} + \vec{U} v \vec{U} - \frac{1}{2} \Delta \vec{U} v \vec{U}) \Delta \rho^m \quad 33.12 \end{aligned}$$

Burada da,

$$v\vec{U} \Delta^2 \vec{U} = -4\vec{U} \Delta \vec{U}$$

$$-v\vec{U} v\vec{U} = \vec{U} \Delta^2 \vec{U}$$

konarak

$$\| -v\vec{U} \Delta \vec{R} = [(\vec{U})^2 + \frac{1}{4} (v\vec{U})^2] \Delta^2 \rho + 2\vec{U} v\vec{U} \Delta \rho^m \| \quad 33.13$$

elde edilir. Bu ifade $\Delta \vec{R}$ bilinmeyenine ve $\Delta^2 \rho \Delta \rho^m$ ölçü büyüklüklerine göre lineer bir ifadedir.

Burada açıklanan diferansiyel ölçme yöntemi, yani bir satelit konumundan iki alıcıya olan uzaklık farkının oluşturulması, yörünge parametrelerinin yeterli presizyonda olmamasından ve atmosferik etkilerden kaynaklanan sistematik hataların önemli ölçüde elimine edilmesine yaramaktadır. Aynı anda birden çok uydudan gelen sinyallerin, hele bir uydudan iki farklı sinyalin bir alıcı tarafından değerlendirilebildiği göz önünde bulundurulursa diferansiyel ölçülerin de farklarını almak suretiyle nasıl presizyon kazanılabileceği düşünülebilir.

4. SONUÇ

Global konum belirleme sistemi ile uydu frekansları 0,4 GHz'den 1,57 GHz'ye yükseltilerek ve uydu saatlerinin frekans stabilitesi 10^{-11} den 10^{-12} ye yükseltilerek bir yandan ionosferin etkisi azaltılmış, diğer yandan ölçme presizyonu yükseltilmiştir. Uydu yüksekliklerinin 1000 km'den yaklaşık 20.000 km'ye çıkartılması yer yuvarının gravite alanındaki düzensizliklerin etkisini önemli ölçüde azaltmış, sistemdeki uydu sayısının çoğaltılarak yörüngelerinin uygun seçilmesi ile her an gözlenebilen çok sayıda uydunun bulunması, sistemin yersel yöntemlerle kıyaslanabilir doğruluklar üretmesi için sebepleri oluşturmaktadır.

1983-1986 yıllarında Federal Almanya'da temel nirengi ağının değişik kesimlerinde yirmiye yakın macrometre ölçü kampanyası yürütülmüş, temel nirengi ağı noktalarının koordinatları ile ölçmelerden elde edilen koordinatlar karşılaştırılmıştır. Bu ölçme sonuçlarına göre iki yer noktasının relatif koordinatlarından türetilen uzaklığın doğruluğu, uzaklığa bağlı olarak ifade edilmekte ve $\mp (1 \dots 1,5)$ ppm verilmektedir (Campell 1986, Lindstrot 1983). Yine Avusturya'da benzer bir çalışmada (Erker 1986) 2 ile 50 km'lik nirengi kenarlarında $\mp (0,3 \dots 5,8)$ cm doğruluğa ulaşılmıştır.

GPS ile ulaşılan doğruluk bir yandan, noktalar arasında görüş koşulu aranmamasıyla sağlanan konfor diğer yandan, ölçme hızı göz önünde bulundurulduğunda bu yöntemin ülke nirengi ağlarında, biraz referans yüzeyi problemlerini içerse de nivelman ağlarında, sıklaştırma ve yenileme çalışmalarında, kadastral ölçmelerde, geniş alanları kapsayan yer kabuğu hareketlerinin saptanması çalışmalarında, kara ve denizlerde ülke sınırlarının belirlenmesinde kullanılabileceği ileri sürülebilir.

KAYNAKLAR

- Campbell, J. (1986), Grundlagen zur Nutzung des Global Positioning System (GPS) in der Landesvermessung zfv 1/1986, s. 19 - 23.
- Erker, E. (1986), Beschreibung der GPS Macrometer-Kampagne 1985 in Österreich, Ö.zfv, 1/1986, s. 10 - 23.
- Hofmann-Wellenhof, B. (1986), Theoretische Betrachtungen zu den GPS-Messungen mit dem Macrometer V - 1000 Ö. zfv, 1/1986, s. 3 - 10.
- Hartl, Ph. - Scholler, W. - Thiel, K.H. (1985), GPS Technology and Methodology for Geodetic Applications, In inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, Schriftenreihe UniBw Heft 20 - 1.
- Lindstrot, W. (1983), Das Macrometer, Ein neues satellitenvermessungs-System und sein erstmaliger Einsatz in der TP Bestimmung, Forum 4/1983, s. 208 - 211.
- Schuster, O. (1985), Satelliten nutzende Vermessung - Beginn einer neuen Ara, Forum 4/1985, s. 185-205.
- Stiller, A. (1985), Development of Civilian GPS Receivers in the Federal Republic of Germany for Different Applications in inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, Schriftenreihe Uni-BW, Heft 20 - 2.
- Vanicek, P. - Langley, R.B. - Wells, E.D. - Delikaraoğlu, D. (1984), Geometrical Aspects of Differential Positioning, Bul. - Geod. 58, s. 37 - 52.
- Wells, E.D. (1985), Recommended GPS Terminology in inertial, Doppler and GPS Measurements for national and Engineering Surveys, Schriftenreihe Uni-Bw. Heft. 20 - 1.