

KÖKTÜRK, Erol, “**Nokta Hareketlerinin ve Yer Dönme Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Uzun Bazlarda Radyo Enterferometri**”, Çeviri, (*H. Schuh'nun Die Radiointerferometrie auf langen Basen zur Bestimmung von Punktverschiebungen und Erdrotations-parametern* başlıklı çalışması), *Harita ve Kadastro Mühendisliği*, Sayı: 58-59, s: 66-73, 1986.

NOKTA HAREKETLERİNİN ve YER DÖNME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN UZUN BAZLARDA RADYO-ENTERFEROMETRİ (DIE RADIOINTERFEROMETRIE AUF LANGEN BASEN ZUR BESTIMMUNG VON PUNKTVERSCHIEBUNGEN UND ERDROTATIONSPARAMETERN)

Dipl.-Ing. Harald SCHUH

Geodätisches Institut der Universität Bonn

Çeviren: **Dr. Erol KÖKTÜRK**

ÖZET

Jeodezik VLBI deneylerinde söz konusu olabilen düzeltmeler ve göz önüne alınan modeller incelenmektedir. VIJ3I deneylerinin çok ilginç sonuçlarından bazıları betimlenmekte ve analiz edilmektedir. Yazar tarafından aynı başlıklı bir doktora çalışması yapılmıştır (Yönetici: Prof. Dr.- Ing. J. Campbell, Üye: Prof. Dr.- Ing. H. Seeger). Bu doktora, Bavyera Bilimler Akademisi'ndeki Alman Jeodezi Komisyonu'nun C serisinde yayımlanacaktır. Aşağıdaki yazı doktora özetlemektedir.

SUMMARY

The corrections and models which are applied to the geodetic analysis of VLBI experiments are specified. Some of the most interesting results of VLBI campaigns are presented. The text is an abstract of the author's thesis (supervisors: Prof. Dr. -Ing. J. Campbell, Prof. Dr.-Ing. H. Seeger). The thesis will be published in Reihe C der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Zusammenfassung: Die bei der Auswertung geodätischer VLBI-Experimente anzubringenden Korrekturen und die zum Ansatz kommenden Modelle werden aufgeführt. Einige der interessantesten Ergebnisse von VLBI-Experimenten werden dargestellt und analysiert. Eine Dissertation mit gleichnamigen Thema wurde vom Autor verfasst (Referent: Prof. Dr.-Ing. J. Campbell, Koreferent: Prof. Dr.-Ing. H. Seeger). Sie wird in der Reihe C der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften erscheinen. Im folgenden Beitrag wird der Inhalt der Dissertation zusammengefasst.

Çok Uzun Bazlı Enterferometri (Very Long Baseline Interferometry-VLBI), uydulara ve aya (SLR ve LLR) yapılan laserli-uzunluk ölçme tekniklerinin yanında, büyük uzaklıklar için çok duyarlı jeodezik ölçü yöntemlerinden birisi olarak geliştirilmiştir. Bu durumda VLBI'yle kıtalar arası nokta aralıkları birkaç santimetre duyarlılığında belirlenebilmektedir. Bu 10^{-8} 'den daha iyi bir göreceli duyarlılık demektir. Extra-galaktik radyo dalgalarının kısmi inersiyal sisteme bağlanmasıyla, bundan başka, yer dönme parametreleri (Kutup noktası koordinatları ve UTI) mili-yay saniyesinden daha iyi bir duyarlılıkla belirlenebilir. Bunun yanı sıra astronomik ve jeofiziksel modellerin diğer parametreleri de saptanabilirler. VLBI'nin milimetre dolayında bulunan aletsel duyarlılığına bütünüyle ulaşabilmek için, şüphesiz, radyo kaynağından aletin ilinti noktasına kadarki tüm ölçü işleminin oldukça yüksek incelikle modellenmesi gerekir. Bu ise, bununla birlikte, basit geometrik hareketleri örten çok sayıda

astronomik ve jeofiziksel fenomenlerin tanımlanmasını gerektirir. Ancak bu etkilerin birçoğu tam olarak bilinemediğinden, parametre seçiminde uygun formların belirlenmesi gerekir. Böylece VLBI modeli ile VLBI gözlemleri arasındaki (ölçme zamanları ve ölçme zaman değişimleri) optimum ve aynı zamanda mantıklı bir uyum sağlanabilir.

Die Very Long Baseline Interferometry (VLBI) hat sich neben den Laser-Entfernungsmesstechniken zu Satelliten und zum Mond (SLR und LLR) zu einem der präzisesten geodätischen Messverfahren für grosse Entfernungen entwickelt. Derzeit können mit der VLBI interkontinentale Punktabstände auf wenige Zentimeter genau bestimmt werden, was einer relativen Genauigkeit von besser 10^{-8} entspricht. Durdieh die Anbindung an das quasi-inertiale System der extragalaktischen Radioquellen können zudem die Erdrotationsparameter (Polkoordinaten und UTI) mit einer Genauigkeit von wenigen Millibogensekunden bestimmt werden, wie auch weitere Parameter astronomischer und geophysikalischer Modelle. Um die im Millimeterbereich liegende instrumentelle Genauigkeit der VLBI voll ausschöpfen zu können, muss allerdings der gesamte Messvorgang von der Radioquelle bis hin zum Bezugspunkt des Instrumentes mit entsprechend höher Genauigkeit modelliert werden. Dies erfordert somit die Beschreibung zahlreicher astronomischer und geophysikalischer Phänomene, welche die einfachen geometrischen Bewegungen überlagern. Da viele dieser Effekte noch nicht hinlanglich bekannt sind, müssen ausserdem geeignete Formen der Parametrisierung gewählt werden, damit eine optimale und zugleich gewählt werden, damit eine optimale und zugleich sinnvolle Anpassung zwischen VLBI-Modell und VLBI-Beobachtungen (Laufzeiten und Laufzeitänderungen) erzielt werden kann.

Bu noktada, sözü edilen doktora, jeodezinin ve komşu alanlarının bugünkü bilgi düzeyine göre, VLBI deneylerinin değerlendirilmesi için olabildiğince tam ve sağlıklı bir model geliştirmeye girişmekte, yani bir deneme yapmayı amaçlamaktadır.

An diesem Punkt setzt die vorgelegte Dissertation an, d.h. es wird der Versuch unternommen, ein nach dem derzeitigen Kenntnisstand der Geodäsie und ihrer Nachbargebiete möglichst vollständiges und konsistentes Modell für die Auswertung von VLBI-Experimenten zu entwickeln.

VLBI'nin genel ilkeleri kısaca anlatılmaktadır. Bu ilkelere, jeodezik VLBI'nin temel ilkesinin ve gözlemlerin yanı sıra çeşitli VLBI sistemleri ve bir jeodezik VLBI deneyinin akışı da dahildir.

Die allgemeinen Grundlagen der VLBI werden kurz dargestellt. Hierzu gehören neben dem Grundprinzip der geodatischen VLBI und den Observablen auch die verschiedenen VLBI-Systeme und der Ablauf eines geodätischen VLBI-Experimentes.

Tezin önemli bir bölümünü, MERIT standartlarının (1983) varsayımlarının gözetilmesiyle, VLBI değerlendirmesinde göz önüne alınan modellerin tümünün betimlemesi oluşturmaktadır. Bu arada, her keresinde VLBI gözlemleriyle ilinti kurulmakta, özellikle şimdiye kadar hiç önem verilmeyen ya da yalnızca eksik önem verilen, amaçlanan "1 cm'lik duyarlılık" bakımından (kıtalar arası baz geçkileri için) göz ardı edilebilir olmayan etkilere geniş bir alan sunulmaktadır.

Einen wesentlichen Teil der Dissertation bildet die Darstellung aller bei der VLBI-Auswertung zum Ansatz kommenden Modelle unter Berücksichtigung der Vorgaben der MERIT Standards (1983). Dabei wird jeweils der Bezug auf die VLBI-Beobachtungen angesprochen, wobei insbesondere denjenigen Effekten ein breiter Raum gewidmet wird, die bisher keine oder nur unvollständige Berücksichtigung fanden, die im Hinblick auf die angestrebte "1-cm-Genauigkeit" (für interkontinentale Basislinien) aber nicht vernachlässigbar sind.

Böylece VLBI temel modeli, radyo enterferometrenin zaman ve mekan olarak hareketini tanımlayan çok sayıda terime genişletilmektedir. Sorun burada özel görelilik kuramının etkilerine ve genel görelilik kuramının böylesine ayrılmaktadır. Bir ortak koordinat sistemindeki radyo dalgalarına ilişkin baz vektörün ve birim vektörün yöneltilmesinin saptaması için dönüşümlerin bir dizisi uygulamalıdır. Bunun için presesyon ve nutasyonla yer dönme parametrelerinin salınımından oluşan dönüşümler

kutup hareketi ve UTI varyasyonları) sayılırlar. Yer bünyesinin çeşitli deformasyonları VLBI gözlem geometrisinin değişimlerine götürür. Böylelikle durağan yeryüzünün gel-gitlerinin yanı sıra, örn. deniz gel-gitlerinin yüklenme etkisi ya da atmosfer basıncının farklılığından ileri gelenler veya kutup gelgitleri gibi çok sayıda ikincil etkilerin gözlemlenmesi gerekir. Bundan başka dışsal etkiler olarak tanımlananlar da VLBI gözlemlerini saptırırlar ya da VLBI gözlem geometrisini rahatsız ederler. Radyo kaynaklarının nokta kaynaklarının (kaynak yapısı) ideal durumundan sapmalarının ve atmosferik kırılmanın yanı sıra bütünüyle aletsel hatalar ile eksen hataları ve radyo dürbününün deformasyonları ya da istasyon normallerinin durağan olmaması da buna aittirler.

So wird das VLBI-Grundmodell um zahlreiche Terme erweitert, die das Verhalten des Radiointerferometers in Raum und Zeit beschreiben. Das Problem wird dabei in Effekte der speziellen Relativitätstheorie und in solche der allgemeinen Relativitätstheorie aufgeteilt. Zur Festlegung der Orientierung des Basisvektors und des Einheitsvektors zur Radioquelle in einem gemeinsamen Koordinatensystem muss eine Reihe von Transformationen durchgeführt werden. Hierzu zählen Präzession und Nutation wie auch die Transformationen wegen der Schwankungen der Erdrotationsparameter (Polbewegung und UTI-Variationen). Die verschiedenen Deformationen des Erdkörpers führen zu Veränderungen der VLBI-Beobachtungsgeometrie. So müssen neben den Gezeiten der festen Erde zahlreiche sog. Sekundäreffekte, wie z.B. die Auflastwirkungen der Meeresgezeiten oder diejenigen durch Luftdruckschwankungen sowie die Polzeit berücksichtigt werden. Ausserdem verfälschen sog. äussere Einflüsse die VLBI-Beobachtungen bzw. stören die VLBI-Beobachtungsgeometrie. Neben den Abweichungen der Radioquellen vom Idealfall der Punktquelle (Quellenstruktur) und der atmosphärischen Refraktion gehören hierzu auch die rein instrumentellen Fehler wie die Achsfehler und Deformationen der Radioteleskope oder die Instabilitäten der Stationsnormale.

Sonra hatalı modellerin ve başlangıç parametrelerinin hesaba katılması gereken kuramsal VLBI gözlemlerine ya da VLBI amaç parametrelerine nasıl etkidikleri incelenmektedir. Dört ana kategoriye ayrılan hata etkilerinin önerilen sınıflandırması pratik VLBI değerlendirmesinde artıkların görünümü yerine artık model hatalarına göre irdelemeyi önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır.

Des weiteren wird untersucht, wie sich fehlerhafte Modelle und Eingabeparameter auf die zu berechnenden theoretischen VLBI-Beobachtungen bzw. die VLBI-Zielparameter auswirken. Die vorgeschlagene Einteilung der Fehlereinflüsse in vier Hauptkategorien erleichtert bei der praktischen VLBI-Auswertung die Suche nach Restmodellfehlern anhand von Residuenbildern erheblich.

VLBI deneylerinin değerlendirilmesi için stokastik model kısaca tasarlanmakta, bu arada gözlemlerin önsel (a priori) ağırlıklarının saptanmasına ve gözlemler arasındaki şimdiye kadar boşlanan korelasyonlara da ayrıntıda girilmektedir.

Das stochastische Modell zur Auswertung von VLBI-Experimenten wird kurz umrissen, wobei auch auf die Festlegung der a priori Gewichte der Beobachtungen sowie auf die bisher vernachlässigten Korrelationen zwischen den Beobachtungen eingegangen wird.

VLBI deneylerinin değerlendirilmesi için Mark III sistemine ait olan standart değerlendirme programı (Mark III Data Analiz Sistemi) ile araştırma çalışmaları çerçevesinde geliştirilen BVSS program sistemi (Bonn VLBI Program Sistemi) kullanılmaktadır. Farklı amaçlarla ve farklı hesap türleri için geliştirilen birbirinden bütünüyle bağımsız her iki hesap programıyla karşılaştırmalı değerlendirmeler yalnızca $\pm 24\text{p sn.}$ (= 7 mm)'lik ortalama artık sapmaları ve, aynı parametrelerin seçilmesi koşuluyla, sonuçların çok iyi uyumunu vermişlerdir.

Zur Auswertung von VLBI-Experimenten dient die zum MarkIII-System gehörende Standardauswertesoftware (Mark III Data Analysis System) sowie das im Rahmen der Forschungsarbeiten entwickelte Programmsystem BVSS (Bonn VLBI Software System). Vergleichende Auswertungen mit den beiden völlig unabhängig voneinander, mit unterschiedlicher Zielsetzung und für verschiedene Rechnertypen entwickelten Auswerteprogrammen ergaben mittlere Restabweichungen

von nur ± 24 psec (= 7 mm) und, gleiche Parametrisierung vorausgesetzt, eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse.

Sonuçta VLBI deneylerinin en önemli sonuçlarından bazıları betimlenmekte ve analiz edilmektedir. Uluslararası IRIS projesindeki Wettzell temel istasyonunun 20 m.'lik radyo dürbününün düzenli katılımıyla üç yer dönme parametresinin tümünü sürekli veri takımları göz önünde bulundurulmaktadır. UTI sonuçlarının yinelemeli (iteratif) bir spektral analizi ortalama sıklıktaki alanda önceden bilinen periyotların desteklenmesine götürmekte (2.5 aydan 1 yıla kadar olan periyotlar) ve fazla sıklıktaki alanda çok sayıda signifikant salınımlar ortaya çıkmaktadır (60 günlük periyotlar). Tüm kısa periyotlar (31.1, 27.6, 13.7 günlük) gel-giti yok ederken, 51 ve 33 günlük periyotların atmosferik desteklere neden olduğu gösterilmektedir. Uygun kuramsal değerlerle bir karşılaştırma, yayımlanmış olan BIH sonuçlarının bozucu sinyallerinde şimdiye kadar bulunan böylesi varyasyonların VLBI'yle saptanmasının da UTI belirleme duyarlılığının açık düzeltimiyle sağlandığını kanıtlamaktadır.

Zum Abschluss werden einige der wichtigsten Ergebnisse von VLBI-Experimenten dargestellt und analysiert. Seit der regelmässigen Beteiligung des 20m-Radioteleskops der Fundamentalstation Wettzell am internationalen Projekt IRIS liegen kontinuierliche Datensätze aller drei Erdrotationsparameter vor. Eine iterative Spektralanalyse der UTI-Ergebnisse führt zur Bestätigung der bereits bekannten Perioden im sog. mittelfrequenten Bereich (Perioden 2.5 Monate bis 1 Jahr) und ergibt zahlreiche signifikante Schwingungen im hochfrequenten Bereich (Perioden 60 Tage). Es wird gezeigt, da 3 die Perioden von 51 und 33 Tagen durch atmosphärische Anregung verursacht werden, während alle kürzeren Perioden (31.1, 27.6, 13.1 Tage) gezeiteninduziert sind. Ein Vergleich mit den entsprechenden Werten beweist, dass es durch die deutliche Verbesserung der UT-1-Bestimmungsgenauigkeit gelungen ist, mit der VLBI nun auch solche Variationen zu erfassen, die bisher im Rauschen der veröffentlichten BIH-Ergebnisse lagen.

Effelsberg, Haystack ve Massachusetts radyo dürbünlerinin katılımıyla şimdiye kadar gerçekleştirilen Mark III deneylerinin tümü BVSS ile değerlendirilmiş ve baz bileşenlerine göre çözümlenmiştir. Baz uzunluklarının zamansal gidişi, diğer denizaşırı baz geçkilerinin VLBI ölçülerinden de türetilmiş olan +1 ile +2 cm/yıl'lık eğilime uymakta ve böylece önceden söylenen yıllık değişim oranlarının jeotektonik modellerini desteklemektedir. Buna karşın deneylerin tek tek aşamaları arasındaki baz bileşenlerinin güçlü varyasyonları, modellenmemiş artık dönüklükleri göstermekte, örneğin önceden bilinen BIH verilerinin hatalarına neden olmaktadır.

Alle bisherigen unter der Beteiligung der Radioteleskope Effelsberg und Haystack, Massachusetts stattgefundenen Mark III-Experimente wurden mit dem BVSS ausgewertet und nach den Basiskomponenten gelöst. Der zeitliche Verlauf der Basislangen entspricht dem auch aus den VLBI-Messungen anderer transatlantischer Basislinien abgeleiteten Trend von + 1 bis + 2cm/Jahr und bestätigt somit die in geotektonischen Modellen vorhergesagten jährlichen Änderungsraten. Dagegen deuten die starken Variationen der Basiskomponenten zwischen den einzelnen Epochen der Experimente noch auf unmodellerte Restrotationen, z.B. verursacht durch Fehler der vorgegebenen BIH-Daten.

Özet olarak, jeodezik-astronomik VLBI'nin, son yıllarda çok sayıda temel araştırma amacı için arzulanan merkezi rolü edinebildiği söylenebilir. Buna karşın bugün bile birçok pratik ve kuramsal sorun eksik olarak çözümlenmektedir, öyle ki hem VLBI'deki aletler açısından hem de sağlam bir değerlendirme modelinin kurulmasında başka çabaların harcanması zorunludur.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die geodätischastrometrische VLBI in den letzten Jahren die ihr für zahlreiche fundamentale Forschungsziele zugedachte zentrale Rolle einnehmen konnte. Trotzdem sind auch heute noch viele praktische Probleme und theoretische Fragen unvollständig gelöst, so dass weitere Anstrengungen sowohl auf der instrumentellen Seite der VLBI als auch bei der Bildung eines konsistenten Auswertemodells erforderlich sind.

KAYNAKÇA

SCHUH, H., **Die Radiointerferometrie auf langen Basen zur Bestimmung von Punktverschiebungen und Erdrotationsparametern**, Doktora Tezi, Bonn Üniversitesi Jeodezi Enstitüsü, Deutsche Geodätische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe G, 1986.

SCHUH, H., **MERIT Projesi Standartları**, J.S. Naval Observatory, Circular No. 167, Aralık 1983 (Aralık 1985'te güncelleştirilmiş).

LITERATUR

SCHUH, H., **Die Radiointerferometrie auf langen Basen zur Bestimmung von Punktverschiebungen und Erdrotationsparametern** (Dissertation am Geodätische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C, 1986.

SCHUH, H., **Project MERIT Standards**, U.S. Naval Observatory, Circular No. 167, Dec. 1983 (Update #1, Dec. 1985).