

NEUE METHODEN DER ERDFIGURBESTIMMUNG

Ákos DETREKÓI

Lehrstuhl für Photogrammetrie und Geoinformatik
Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest
adetrekoi@epito.bme.hu



A FÖLDALAK-MEGHATÁROZÁS ÚJ MÓDSZEREI

Összefoglalás

Klinghammer professzor úr szakmai tevékenységének fontos része a föld- és éggömbök történetének vizsgálata (Klinghammer, 1998). A földgömbök a Föld alakjának speciális megjelenítési eszközei. Dolgozatomban a földalak meghatározásának új – a mesterséges égitestek felhasználásán alapuló – módszereivel foglalkozom. A különböző földalakok (gömb, forgási ellipszoid, geoid) felsorolása után áttekintem a mesterséges holdak felhasználásán alapuló különböző geoid-meghatározási eljárásokat (mesterséges holdak pályá rendellenességeinek különböző módszerekkel történő meghatározása, altimetria). A dolgozatot a földalak-meghatározás fejlődésének várható tendenciái bemutatásával zárom.

THE NEW METHODS OF DETERMINATION OF THE EARTH'S FIGURE

Summary

The study of the history of globe is one of the most important research fields of Prof. Klinghammer (Klinghammer, 1998). The globe is a representation of the earth's surface. This paper discusses the new methods of the determination of the earth's figure using satellites. After an overview of the theoretical earth's figures (sphere, rotation ellipsoid, Geoid), the methods of determination of Geoid will be presented. These methods are the various arts of satellite tracking and the Altimetrie. At the end of the paper the directions of the development of the earth's figure determination are discussed.

Einleitung

Herr Professor Klinghammer hat sich in seinem berühmten Werk (Klinghammer, 1998) mit dem Geschichte der Globen beschäftigt. Die Globen sind sehr wichtige Darstellungen der Erdfigur. In meinem kurzen Bericht beschäftige ich mich mit der neuesten Ergebnisse der Erdfigurbestimmung.

Die Untersuchung der Figur der Erde ist ein den ältesten wissenschaftlichen Probleme. Neben der theoretischen Interesse die einzelnen Menschen, schon vor Jahrtausenden, hatten die Antworten auf die folgenden Fragen gesucht: „Wo bin ich?“ oder „Wo gibt es ein Fluss in meiner Nahe?“.

Das Fachgebiet, das mit der Figur der Erde, und mit der Ortsbestimmung an der Erdoberfläche sich beschäftigt ist die Geodäsie. (Vor zwei Jahrhunderten die Geodäsie wurde noch als angewandte Geometrie genannt). Die Definition der Geodäsie nach Helmert (1880/1884) ist folgende: *„Wissenschaft von Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche“*. Die jetzige Aufgabe der Geodäsie hat Torge (2003) so formuliert: *„Die Geodäsie hat die Aufgabe, die Figur und das äußere Schwerefeld der Erde und anderer Himmelskörper als Funktion der Zeit aus Beobachtungen auf den Oberflächen und außerhalb dieser Körper zu bestimmen.“*

Die Fachleute könnten die Beobachtungen Jahrhundertslang nur auf den Erdoberfläche durchführen. (Diese Fachleute sind heutzutage meist Vermessungsingenieuren, jedoch vor zwei Jahrhunderten hat noch der berühmten Mathematiker C. F. Gauß (Kehlmann, 2005) auch in diesen Beobachtungen teilgenommen).

Die Erfindung des Flugzeuges hat die erste Beobachtungen außerhalb von Erdoberfläche ermöglicht. Eine revolutionäre Änderung in den Beobachtungsmöglichkeiten war die Entstehung und die Entwicklung von Raumtechnologien. Die verschiedene satelittengestützte Methoden ermöglichen die Bestimmung der Figur der Erde und die Ausmessung und Abbildung ihrer Oberfläche.

Über die Figur der Erde

Wenn wir über die Figur der Erde diskutieren, wir sollen die folgenden zwei Arten der Erdfigur unterscheiden (Biró, 1985):

- die physische Erdoberfläche,
- die theoretische Erdmodelle.

Die physische Erdoberfläche ist durch die festen Erdkörper und die Wassermassen bestimmt. Die Abbildung der physischen Erdoberfläche ist traditionell mit der Herstellung von verschiedenen Karten realisiert. In den letzten Zeiten wurden auch spezielle Informationssystemen, die sogenannten Geographischen Informationssystemen entwickelt. (In den englischen Sprachgebieten sind die Geographischen Informationssystemen als Geographical Information Systems (GIS) genannt).

Die theoretischen Erdmodelle sind mathematische Modelle, die geometrische und physische Eigenschaften der Erde in verschiedenen Annäherungen beschreiben. In der historischen Entwicklung der Geodäsie können wir die folgende Erdmodelle unterscheiden:

- spächrliche Erdmodell,
- ellipsoidische Erdmodell,
- Geoid.

Diese Erdmodelle sind z.B. in Resnik/Bill (2000) oder in Torge (2003) definiert.

Das spächrliche Erdmodell ist durch eine Kugel charakterisiert. Dieses Erdmodell wurde schon von den Griechen in der Antike benutzt. Heute hat das spächrliche Erdmodell historische und pädagogische Bedeutung.

Als ellipsoidische Erdmodelle werden verschiedene Rotationsellipsoiden benutzt. Ein Rotationsellipsoid ist durch ihre Form, Größe und Lage charakterisiert. Das ellipsoidische Erdmodell ist seit dem 18. Jahrhundert benutzt. Heute dient dieser Erdmodelltyp als Bezugsfläche für die Herstellung von verschiedenen Karten und für den Aufbau der Geographischen Informationssysteme.

Das sphärische Erdmodell und das ellipsoidische Erdmodell sind Modelle die rein geometrische Ursprung haben. Diese Modelle sind bei größerer Messgenauigkeit nicht mehr haltbar. Deswegen wurde in dem 19. Jahrhundert das Geoid, als Erdmodell eingeführt. Das Geoid ist als die Äquipotentialfläche des Erdschwerefeldes definiert, welche mit dem mittleren Meeresspiegel der Ozeane zusammenfällt (Torge 2003). Das Geoid ist keine regelmäßige Fläche. Es kann oder Punktweisen oder mit Isolinien abgebildet werden. Das Geoid ist das Bezugssystem von Höhemessungen.

Die Anwendung von Satelliten auf die Bestimmung von Erdmodelle

Die Entwicklung von Satellitentechnologien ermöglicht die Vertiefung unsere Kenntnisse über die Erdmodelle. Schon der sowjetische Satellit Sputnik II. wurde für die Bestimmung von Figur eines Rotationsellipsoid benutzt. Zur Zeit sind die Satelliten die wichtigsten Mittel der Bestimmung des Geoids und des Schwerefelds der Erde.

Die Satelliten sind für die Bestimmung des Geoids und des Schwerefelds der Erde in zwei verschiedene Methoden benutzt:

- die Beobachtungen von Bahnelementen von Satelliten,
- direkte Messungen von Meeresspiegel der Ozeane.

Beruhend auf dem bekannten Gesetz von Kepler Satelliten bewegen sich: um einen zentralsymmetrischen Körper mit homogener Massenverteilung auf elliptischen Bahnen (Bosch 2002). Die Massenverteilung der Erde ist jedoch nicht homogen. Deswegen sind die Bahnen von Satelliten „gestört“. Die Bahnstörungen können mit verschiedenen Methoden bestimmt werden, und ermöglichen auch die Berechnung dem Schwerefeld der Erde und des Geoids.

Die Bahnelemente können von geodätischen Festpunkte an der Erdoberfläche gemessen werden. (Aus diese Messungen werden die „Satellite only“ Modelle berechnet (Torge 2002). Eine andere Möglichkeit ist die Messung zwischen zwei Satelliten (Satellite to Satellite tracking).

In den letzten fünfzig Jahren wurden unterschiedliche Typen von Satelliten für die Erdmodellbestimmung entwickelt. Eine gute Übersicht über die verschiedenen Satelliten und Messtechnologien hat Torge (2002) gegeben.

Für die Erdmodellbestimmung können auch die Satelliten der Navigationssystemen benutzt werden. Zur Zeit ist das bekannteste Navigationssystem das amerikanische „Global Positioning System (GPS)“. Für die Beobachtung der ungefähr 25 GPS Satelliten im All ist ein Festpunktnetz von über 500 Punkte auf der Erdoberfläche ausgebaut. Dieses Festpunktnetz heißt „International Terrestrial Reference Frame (ITRF)“. Die Lage von ITRF Punkte ist in verschiedene Zeitpunkten bestimmt (z.B. ITRF 1997, ITRF 2000).

Die „Satellite to Satellite tracking“ Methode ermöglicht eine sehr genaue Erfassung des Schwerefeldes und die Bestimmung seiner zeitlichen Änderungen. Für diese Zwecke dienen die folgenden zwei Missionen (Bosch 2002): CHAMP (Challenging Minisatellite Payload) und GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment).

Neben der Bestimmung von Bahnelemente ist es möglich eine direkte Messung dem Meeresspiegel mit Satelliten. Für diese Zwecke wurden verschieden Radaraltimetrie Missionen organisiert (z.B. TOPEX/ Poseidon, ERS). Die moderne Altimetrie ermöglicht die 10 cm genaue Bestimmung von Meeresspiegel.

Mit der Kombination von verschiedenen Messergebnissen ist es möglich die Bestimmung von Punkten und Isolinien des Geoids. Die Genauigkeit der Geoidbestimmung liegt zur Zeit bei einige Dezimeter. In der näheren Zukunft wird viel genauere Bestimmung auch möglich (Biró, 2004).

In der Formulierung der Aufgabe von Geodäsie hat Torge (2002) die verschiedene Größen als „Funktion der Zeit“ beschrieben. Das heißt, die Aufgabe der Geodäsie ist auch die Bestimmung der Bewegung der Erdoberfläche. Die Satelliten ermöglichen auch die Bestimmung von Bewegungen. Zum Beispiel ist es möglich die Bewegung von Kontinenten aus den Änderungen von ITRF Punkt Koordinaten zu berechnen (Konecny, 2003). Ein anderes Beispiel sind die spezielle lokale GPS-Netze in den Erdbebengefährdeten Gebieten.

Die Bestimmung der Erdoberfläche ist auch eine wichtige Aufgabe der Geodynamik. Die Geodynamik befasst sich mit den natürlichen Bewegungsvorgängen im Erdinnern bzw. auf der Erdoberfläche. So die Geodäsie ist eine der Komponenten der Geodynamik.

Die Entwicklungen in der Zukunft

Die schnelle Entwicklung von Raumfahrttechnologie wird immer neue Methoden von Erdfigurbestimmung ermöglichen. Die wichtigsten Tendenzen sind meiner Meinung nach die folgende:

1. Die Anzahl der für die Erdfigurbestimmung nötige Satelliten wird immer größer. Gute Beispiele sind die Satelliten des jetzt entwickelten europäischen Navigations-Satellitensystems GALILEO.
2. Die größere Anzahl von Satelliten ermöglichen eine genauere Bestimmung von Erdfigur.
3. Die größere Genauigkeit der Erdfigurbestimmung hilft die Entwicklung der Geodynamik.
4. Internationale Programme für die Erdüberwachung werden organisiert, z.B. GEOS (Global Earth Observation System of Systems).
5. Die Benutzung von Navigations-Satellitensystemen (GPS, GLONASS, GALILEO) von nicht Fachleuten wird immer häufiger, so die Kenntnisse über die Erdfigur werden, auch durch Internet, weit verbreitet sein.

Literaturverzeichnis

- BIRÓ P.: *Felsőgeodézia*, Budapest, 1985, Tankönyvkiadó.
- BIRÓ P.: *A csillagászati geodézia helye a XXI. században*, Geodézia és Kartográfia, 2004/2.
- BOSCH, W.: *Satellitenmissionen – Chancen und Herausforderungen für die physikalischen Geodäsie*, in *Am Puls von Raum und Zeit*, DGK Reihe E, Heft Nr. 26, München.
- DETREKŐI Á.: *Künstliche Sterne – Erdmodellbestimmung durch Satelliten*, 2004, Humboldt Kosmos, Nr. 84.
- DETREKŐI Á.: *A gömbtől a geoidig: a Föld és az úrkutatás*, In: *Mindentudás Egyeteme*, IV. kötet, Kossuth Kiadó, Budapest.
- HELMERT, F.R.: *Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie*. 1880/1884, Teubner, Leipzig.
- KEHLMANN, D.: *Die Vermessung der Welt*, Rowolt Verlag, Reinbeck bei Hamburg, 2005.
- KLINGHAMMER I.: *A föld- és éggömbök története*, Budapest, 1998, ELTE Eötvös Kiadó,
- KONECNY, G.: *Geoformation*, London and New York, 2003, Taylor & Francis.
- RESNIK, B. – BILL, R.: *Vermessungskunde für Planungs-, Bau- und Umweltbereich*, Heidelberg, 2000, Herbert Wichmann Verlag.
- TORGE, W.: *Geodäsie*, Berlin, 2003, Walter de Gruyter GmbH & Co.

