

Szeizmikus tomográfia

WÉBER ZOLTÁN¹ (témavezető), GYŐRI ERZSÉBET²

Z. WÉBER, E. GYŐRI: Seismic tomography

OTKA nyilvántartási szám: F 4237

1. Bevezetés

Az OTKA Iroda támogatásával az 1992–94 közötti időszakban a szeizmikus tomográfia köré csoportosuló problémák kutatásával foglalkoztunk. A tomográfias inverzió olyan esetekben alkalmazható, amikor a számítások alapjául szolgáló mérési adatok a meghatározni kívánt fizikai paraméter *vonalmeni integrálját* adják meg. Ebből adódóan a szeizmikus beérkezési időkből a hullám terjedési sebességét, míg a szeizmikus amplitúdó adatokból a csillapodási együttható térbeli eloszlását becsülhetjük meg.

Kitűzött célunk az volt, hogy kutatóhelyünkön megteremtjük az első beérkezési időkön alapuló szeizmikus tomográfiahoz szükséges hardver és szoftver feltételeket, áttekintsük a szakirodalomban fellelhető módszereket, vizsgáljuk azok fejlesztési lehetőségeit, illetve új eljárásokat dolgozzunk ki.

A szeizmikus tomográfia olyan, meglehetősen számításigényes iterációs módszer, amely — az első beérkezési idő meghatározása után — minden iterációs lépés alkalmával megold egy direkt feladatot (modellezés) és egy nagyméretű lineáris egyenletrendszert. Ezek a lépések valójában függetlenek egymástól, de a teljes eljárás hatékonysága és pontossága az ezen lépések végrehajtására használt algoritmusok függvénye. Emiatt kutatásaink során az egyes részfeladatok megoldását célzó eljárásokat külön-külön vizsgáltuk és értékeltük.

2. Az első beérkezési idő automatikus meghatározása

A sebességmeghatározás megbízhatósága az inverziót megvalósító algoritmus mellett az első beér-

kezési idő meghatározásának pontosságától függ. Az általunk kidolgozott eljárás a jól ismert kereszt-korrelációs módszeren alapul, melynél a kiértékelő geofizikus választja ki először egy kevésbé zajos csatornán a követni kívánt beérkezési időt. A módszer részletes leírása megtalálható GYŐRI [1994] tanulmányában.

A modellezett és mért VSP szelvényeken végzett számításaink alapján megbizonyosodtunk róla, hogy megfelelő paraméter-választás esetén, alacsony zajszint mellett a módszer pontosan kijelöli az első beérkezéseket, sőt más fázisok, például reflexiók követésére is alkalmas. A tisztán automatikus eljárásoktól eltérően az első hullámbeérkezések előtti zajok eloszlására nem érzékeny.

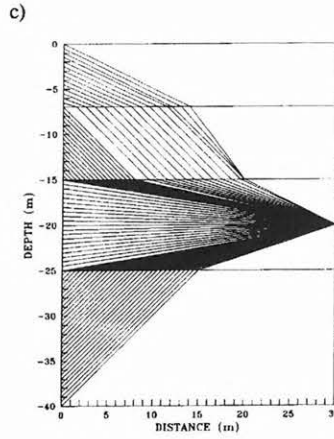
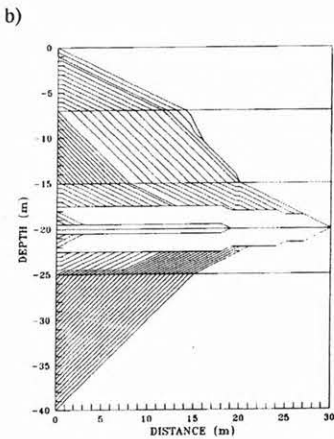
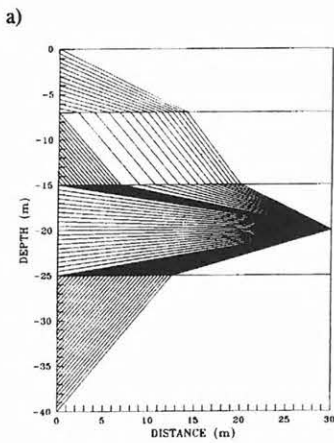
3. A direkt feladatot megoldó algoritmusok

A szeizmikus tomográfiai inverzió olyan iterációs eljárás, melynek során a direkt feladatot (modellezést) igen sokszor végre kell hajtunk. Az erre célra alkalmazott algoritmus nagymértékben befolyásolja a teljes inverzió *sebességét, pontosságát és stabilitását*.

A sugártörést, diffrakciót, refrakciót is figyelembe vevő algoritmusok közül egy *dinamikus programozási* elven működő eljárást és egy megfelelően kialakított hálózaton belüli *legrövidebb út keresésén* alapuló módszert valósítottunk meg [WÉBER 1993a, 1993b]. Ez utóbbi algoritmust sikerült oly módon *továbbfejlesztünk*, hogy a számítási idő mintegy 70%-os csökkenése mellett mind a számított beérkezési idő, mind a sugárutak pontosabbak legyenek [WÉBER 1995]. A javított módszer hatékonyságát szemlélteti az *1. ábra*.

¹Földrenghésjelző Observatórium, H-1112 Budapest, Meredek u. 18.

²MTA Geofizikai Tanszéki Kutatócsoport, ELTE Geofizikai Tanszék, H-1083 Budapest, Ludovika tér 2.



1. ábra. Egyszerű, horizontális rétegmodell mellett számított sugarakat. A rétegekben a terjedési sebesség fentről lefelé haladva rendre 1500, 1000, 1500 és 1000 m/s. A sugarakat a) "shooting" módszerrel, b) az eredeti "legrövidebb út keresése" algoritmussal és c) a javított "legrövidebb út keresése" eljárással számítottuk

4. A nagyméretű, ritka mátrixú lineáris egyenletrendszerek megoldása

Mint korábban említettük, a szeizmikus tomográfia olyan iterációs módszer, melynek minden lépése során meg kell oldanunk egy nagyméretű, ritka mátrixú lineáris egyenletrendszert. Ezen egyenletrendszer együtthatóit a direkt feladat megoldása szolgáltatja. Az ilyen speciális egyenleteket megoldó algoritmusoknak számos fajtáját dolgozták már ki. Ezek közül leggyakrabban használatosak az ART (Algebraic Reconstruction Technique), a SIRT (Simulated Iterative Reconstruction Technique) és a *konjugált gradiens* módszerek.

Kutatásaink során megvizsgáltuk a *globális szélsőérték* keresésére alkalmas *Simulated Annealing* elnevezésű eljárás tomográfiában való alkalmazhatóságának lehetőségét is. Ennek a módszernek nagy

előnye, hogy *a priori* ismeretek hiányában, azaz a valódi sebességeloszlástól távol eső első közelítés esetén is biztosan eljutunk a valódi eloszláshoz közeli megoldáshoz. Ez az előbb ismertetett módszerek esetén sajnos nem mondható el. A 2. ábra a SIRT, illetve a Simulated Annealing módszerek alkalmazásával kapott sebességeloszlásokat hasonlítja össze. (Mérési geometria: 51 forrás a modell bal szélén és 51 geofon a modell jobb szélén.)

5. A kutatási téma további lehetséges irányai

A kutatási téma fontos kiterjesztési iránya a *reflexiós tomográfia* kifejlesztése. Ez a módszer a *reflektált* hullámok *beérkezési időit* felhasználva nemcsak a terjedési sebesség eloszlásának, hanem a reflektáló réteghatárok elhelyezkedésének becslésére is alkalmas lehet. Lehetőséget adna mind a sekély, mind a nagyobb kutatási mélységeket megcélzó *felszíni* mérések tomográfias inverziójára, valamint a régi nyersanyagkutató szeizmikus mérések pontosabb képet adó újrafeldolgozására. Ennek különösen olyan kutatási területeken lenne jelentősége, ahol mind a geológiai szerkezet, mind a litológia horizontális irányban jelentősen változik,

hiszen ilyen esetekben a hagyományos módszerek — pl. a stacking sebesség és az rms sebesség közötti jelentős eltérések miatt — nem működnek megfelelően.

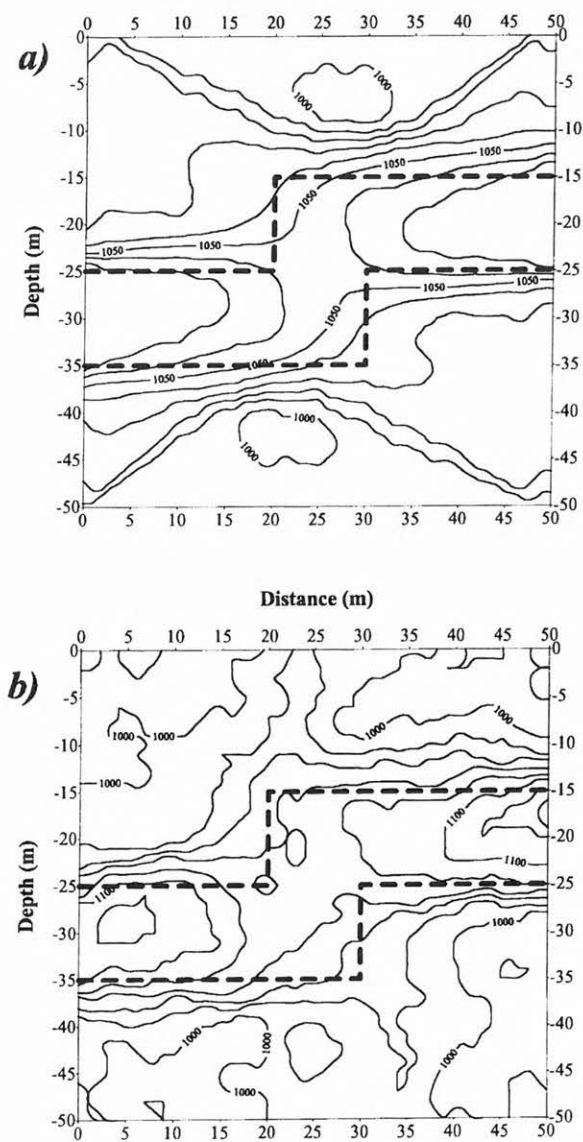
6. Az eredmények hasznosításának lehetőségei

Az általunk kidolgozott számítógépes programcsomag elsősorban fúrások közötti, illetve fúrás és felszín közötti szeizmikus mérések első beérkezési időinek tomográfias inverziójára alkalmas. Hasznosan lehet tehát alkalmazni a vízkutatásban, mérnökszeizmológiai, környezetvédelmi feladatok megoldásában, bányákban végzett szeizmikus mérések inverziójában, offszetes vertikális szeizmikus szelvények feldolgozásában, de könnyen adaptálható a

földrengéshullámok beérkezési időinek inverziójára is (kéreg- és litoszféra-kutatás).

HIVATKOZÁSOK

- GYŐRI E. 1994: Az első beérkezési idők kijelölésének vizsgálata a szeizmikus tomográfiai kutatásokban. *Magyar Geofizika* **35**, 83–89
- WÉBER Z. 1993a: Direkt feladat megoldási algoritmusok a szeizmikus tomográfiában. *Magyar Geofizika* **34**, 70–78
- WÉBER Z. 1993b: Comparison of some forward modelling algorithms in seismic tomography. *Acta Geod., Geoph. et Mont. Hung.* **28**, 373–388
- WÉBER Z. 1995: Some improvement of the shortest path ray tracing algorithm. *In: O. DIACHOK et al. (Eds), Full Field Inversion Methods in Ocean and Seismo-Acoustics. Kluwer Academic Publishers, 51–56*



2. ábra. Tomográfias inverzió által nyújtott sebességeloszlások: a) SIRT, ill. b) "Simulated Annualing" módszerrel kapott eredmények. (Valódi sebességek: a középső rétegben 1100, máshol 1000 m/s)

