

A digitális szeizmikus adatfeldolgozás néhány általános problémája

MESKÓ ATTILA – RÁDLER BÉLA

A dolgozat röviden áttekinti a digitális szeizmikus kiértékelés fejlődését és a jelenlegi fejlesztés főbb irányait. Beszámol az OKGT Geofizikai Kutatói Üzemében, a kiértékelési osztályon az utóbbi években végzett munkáról. Részletesebben foglalkozik a szűrők hatásosságvizsgálatának általános elveivel. A szűrők hatásossága a paraméterek kis hibái esetén is számottevően csökken. Emiatt igen lényeges az előzetes analízis a paraméterek tényleges értékeinek megállapítására, illetve a különböző korrekciók gondos végrehajtása.

В настоящей работе рассматривается развитие цифровой обработки сейсмических данных и главные направления дальнейшего развития. Дается отчет о работах проведенных в Геофизическом Предприятии Треста Нефтяной и Газовой промышленности за последние годы. Подробно рассматриваются общие принципы определения эффективности фильтров. Эффективность фильтров значительно снижается даже при несольших ошибках заданных параметров. Поэтому особое значение придается предварительному анализу при определении точных значений параметров и точному вычислению поправок.

Die Entwicklung der digitalen seismischen Datenverarbeitung wird kurz dargestellt und die Hauptrichtungen der heutigen Entwicklungsarbeit besprochen. Dabei werden die beim Geophysikalischen Forschungsbetrieb des OKGT in den letzten Jahren vorgenommenen Auswertungsarbeiten beschrieben.

Weiter werden die allgemeinen Prinzipien der Effektivitätskontrolle der Filter ausführlich behandelt und es wird darauf hingewiesen, dass die Effektivität der Filter schon im Falle kleiner Fehler der Parameter bedeutend vermindert wird. Es ist daher wichtig, dass eine sorgfältige vorherige Analyse vorgenommen und der wirkliche Wert der Parameter richtig bestimmt werde, bzw. die nötigen Korrekturen angebracht werden sollen.

Bevezetés

A digitális feldolgozás egy évtizeddel ezelőtt még kísérleti stádiumban volt. A hatalmas fejlődést érzékelteti néhány adat, melyet L. R. Tucker publikált a *Geophysics* 1968 decemberi számában. 1967-ben az Egyesült Államokban a tengeri szeizmikus felvételek 88%-át, a szárazföldi felvételek 32%-át digitálisan dolgozták fel, Kanadában ezek a mutatók: 100%, illetve 30%. Ugyanez a gyors térhódítás jellemzi a bonyolultabb felvételezési és feldolgozási – bár nem szükségképpen digitális – eljárásokat is. 1967-ben, ugyancsak Tucker adatai szerint az Egyesült Államokban a tengeri szeizmikus kutatások 95%-át, a szárazföldi kutatások 90%-át többszörös fedésű rendszerekkel végezték. 1968-ról és 1969-ről adatok még nem állnak rendelkezésre, de a változások trendje alapján a digitális feldolgozás és többszörös fedésű rendszerek százalékos arányának további növekedését várhatjuk.

Valóban túlzás nélkül nevezik az utóbbi évtizedet a geofizikában a digitális forradalom időszakának és tekintik a digitális feldolgozás bevezetését a reflexiós szeizmika kialakulásával azonos jelentőségű fejlődésnek.

Ezt a fejlődést az olajipar fokozódó igényei tették indokolttá és szükség-szerűvé. Világosan látható, hogy a hazai igényeket és követelményeket csak akkor elégíthetjük ki, ha hazánkban is minél gyorsabban és minél szélesebb körben bevezetjük a digitális szeizmikus feldolgozást, és ezzel a leghatásosabb geofizikai kutatómódszer pontosságát és felbontóképességét az új és egyre nehezebb földtani problémák megoldásához szükséges szintre emeljük. Csak a

digitális feldolgozás biztosíthatja a szeizmikus adatok információtartalmának szükséges hasznosítását és fejlettebb, bonyolultabb feldolgozási eljárások megvalósítását.

A szakirodalom tükrözi a digitális feldolgozási eljárások gyors elterjedését. Igen sok dolgozat foglalkozik különböző részletproblémákkal, egyes műveletek elveivel vagy alkalmazásuk eredményeivel és értelmezésével. Jelentős számú algoritmust, illetve ALGOL és FORTRAN nyelven írt programot is közöltek. Néhány könyv is megjelent, amely közvetlenül a digitális szeizmikus feldolgozás problémáival foglalkozik. Helytelen volna azonban levonni azt a következtetést, hogy a digitális feldolgozásra kellőképpen felkészülhetünk pusztán a szakirodalom gondos tanulmányozásával. A szakirodalom ugyanis nem mentes az ellentmondásoktól és még a legjobb dolgozatok sem adhatják – a terjedelmességszerű korlátai miatt – a vizsgált műveletek teljes analizisét. Megfontolandó továbbá az, hogy valamilyen új művelet kidolgozása, alkalmazása és publikálása között több éves késés figyelhető meg. Ez nem kis részben üzleti érdekek következménye s emiatt ezen a téren jelentős javulás a jövőben sem várható. Kiforratlan a digitális feldolgozás nevezéktana. Például a dekonvolúciót 8 különböző értelemben, a „*differential normal moveout*” kifejezést 3 különböző értelemben használják [Sheriff: Glossary of terms, 1968]. Az idézett Glossary is regisztrálja a ténytet, hogy a dekonvolúció eredményei jelentősen változnak, ha különböző feltevéseket teszünk a fázisspektrumra vonatkozóan, illetve, ha különböző időkapukat vagy operátor hosszúságokat alkalmazunk. Mindez világosan mutatja, hogy a műveletek halmaza sok heurisztikus levezetést, meg nem vizsgált közelítést és módszert tartalmaz. A szakirodalom feldolgozása elengedhetetlen, de önmagában nem elegendő. Nem helyettesíthetjük saját vizsgálatainkat programok vagy programrendszerek megvásárlásával sem. Közismert ezek magas ára és az a tény, hogy a legújabb eljárások programjai nem kaphatók meg. Amellett a programok szabad paramétereit a hazai szeizmogeológiai viszonyok analizisével kell meghatározni. Az analizishez vagy kisebb részfeladatokhoz mindenképpen önálló programok szükségesek. A rutin jellegű digitális feldolgozás csak akkor lehet eredményes, ha a műveletek sokoldalú, rendszeres vizsgálatát már előzetesen elvégezzük. E szükségszerűség felismerése nyomán az OKGT Geofizikai Kutatási Üzemében, a kiértékelési osztályon, megkezdődött a legfontosabb műveletek elemzése. A programok jelentős részét a gépi adatfeldolgozási csoport matematikusai írták.

Az OKGT Geofizikai Kutatási Üzemében végzett vizsgálatok

Munkánk kezdetén az analóg feldolgozás egyes lépéseinek végrehajtását, az analóg és digitális feldolgozás közötti kapcsolatokat vizsgáltuk: mintavételezést, az adatrendszer sűrítését (interpolációt) és ritkítását, egyszerű alulvágó-, felülvágó- és sávszűrők tervezését és alkalmazását. Később a szeizmikus csatornák egyszerű modelljeit állítottuk elő és ezek felhasználásával vizsgáltunk néhány műveletet: autokorrelációs függvény számítását és felhasználását ghost-detektálásra, sebességszűrést, optimális simitószűrést. 1968-ban kezdtük meg a többesatornás szűrés részletes vizsgálatát. 1969-ben a munka nagyobb lehetőségekkel és megnövekedett létszámmal új lendületet kapott. A többváltozós szűrési műveletek vizsgálata folytatódott, intenzíven foglalkoztunk a ghost-detektálás és eltávolítás műveletével és egyszerűbb egyváltozós szűrők működésének javításával. Az utóbbi vizsgálatok célja részben a műveletek számának

és ezzel a számítási időnek a csökkentése, részben kedvező átviteli tulajdonságok biztosítása volt. Emellett foglalkoztunk dekonvolúciós szűrők tervezésével, a különböző megfontolásokkal tervezett dekonvolúciós szűrők összehasonlításával és néhány korrekciós problémával.

A munka objektív értékelése és a további feladatok objektív felmérése szükségessé teszi, hogy egy pillantást vessünk a digitális szeizmikában a legutóbbi években — nemzetközi szinten — elért eredményekre és a jelenlegi fejlődés irányaira. Wuenschel et al. (1969) összefoglalója szerint a legfontosabb eredmények a javított dekonvolúciós operátorok, időben változó szűrők és optimum többcsatornás szűrők tervezése és alkalmazása. A fejlesztés alatti területek — melyeken azonban jelentős haladást is elértek — az automatikus statikus korrekciók, az NMO-meghatározás dinamikus korrelációs analízissel, automatikus mélységtranszformációk, sebességanalízis és automatikus reflexiódetektálás.

Irodalmi tanulmányaink alapján megállapíthattuk, hogy nagy szükség van gondos és kimerítő részletességű saját vizsgálatokra, mert az irodalmi közlések szükségszerűen hiányosak és emellett sokszor egyoldalú képet adnak. Néhány szerző hajlik arra, hogy egy-egy módszer jel/zaj-arány javító hatását a legkedvezőbb esetben mutassa be és a valóságos viszonyokhoz közelebb álló modellek esetén a hatásosság jóval kisebb. Néhány fontos paraméter meghatározásával, vagy a meghatározás hibáival az irodalom nem foglalkozik. Egyszerű esetekre vonatkozó modellvizsgálatainkból is megállapíthattuk, hogy a paraméterek kis hibái is jelentős hatásosság csökkenést okoznak [Meskó — Rádler 1969/b, 1970]. Ilyen esetben célszerű a pontos paraméterekkel elérhető hatásosság optimalizálása helyett a hatásosság várható értékének optimalizálására törekedni. Néhány gondolatot ezekről a vizsgálatokról a következő pontban ismertetünk.

A hatásosságvizsgálatok általános elvei

Vezessük be a következő jelöléseket. A szűrőtervezésben szereplő paraméterek legyenek: α_i ($i = 1, 2, \dots, n$); függvények: β_j ($j = 1, 2, \dots, m$). Például a kétszatornás OVS szűrő tervezési modelljében szereplő paraméterek: a valódi reflexiók időkülönbsége (a két összegezendő csatorna között), a ghost-reflexiók időkülönbsége; a szűrőtervezésben szereplő függvények: a valódi reflexiók, a ghostok és a rendezetlen zaj teljesítményspektrumai. Összesen két paraméterrel és három függvénnyel kellene számolnunk. A levezetés egyszerűsítése céljából közelítő feltevéseket alkalmazva a függvények kiküszöbölhetők. Ha feltesszük, hogy az amplitúdóspektrumok csak konstans szorzóban térnek el egymástól, a három függvény helyett 2 új paramétert alkalmazhatunk: ezek a ghost és valódi reflexiók teljesítményaránya, illetve a rendezetlen zaj és valódi reflexiók teljesítményaránya [Schneider et al., 1964]. Természetesen meg kellene vizsgálni, milyen esetekben engedhető meg ez az egyszerűsítés, hiszen nyilvánvaló, hogy pontos egyenlőségről nem lehet szó. A közelítések pontosságának vizsgálatához mért szeizmikus anyag feldolgozására volna szükség. Egyelőre azonban elfogadhatjuk a közelítés helyességét.

A szűrőtervezési modellnek megfelelően a szűrők súlyfüggvényei is tartalmazni fogják az összes paramétereket. (Példánkban négyet.) Azaz:

$$\begin{aligned} S_1 &= S_1(\alpha_i) \\ S_2 &= S_2(\alpha_i), \quad (i = 1, 2, 3, 4). \end{aligned} \quad (1)$$

A súlyfüggvények ismeretében számítható a kimenet és (esetleg további közelítések alkalmazásával) a kimeneti jel/zaj-arány. A jel/zaj-arány – jelöljük η -val! – szintén tartalmazza a paraméterek értékeit, hiszen számításában felhasználjuk a paramétereket tartalmazó súlyfüggvényeket is. Az α_i paraméterekhez azonban mérésekkel és számításokkal jutottunk. A mérések hibái, a számításokban alkalmazott közelítések és a zajok miatt a szűrőtervezésben alkalmazott paraméterek nem egyeznek meg a bemeneteket ténylegesen leíró paraméterek értékeivel. Jelöljük a tényleges paraméterek értékeit α'_i -vel. Az α'_i -k az α_i -ik becsült értékei, a becslés helyességét egy konkrét esetben nem lehet ellenőrizni és a becsült értékeket kell a szűrőtervezésben szerepeltetni. A hatáosság függvénye lesz mind a tényleges, mind a becsült paramétereknek, azaz

$$\eta = \eta(\alpha_i, \alpha'_i), \quad (i = 1, 2, \dots) \quad (2)$$

A hatáosság felméréshez meg kell állapítani az értékek lehetséges eltéréseit az α_i értékektől és ezen eltérések gyakoriságát. Másképpen: meg kell határozni (szükség esetén: becsülni) a $p(\alpha'_i)$ valószínűségi sűrűségfüggvényeket. Ha az α_i várható értéke, $E[\alpha'_i]$, az α_i -től eltér, a szűrőtervezésben durva hibát követünk el. A hibáról sajnos, egy konkrét esetben nem győződhetünk meg – hiszen konkrét esetben α'_i ismeretlen. A becslési módszert azonban modellszámításokkal ellenőrizhetjük és azokat a becslési eljárásokat, melyekre $E[\alpha_i] \neq \alpha'_i$ elvethetjük. Ha több becslési eljárás felel meg az $E[\alpha'_i] = \alpha_i$ követelménynek, azt kell alkalmazni, amelynek kisebb a szórása.

Ha az α_i -ket már rögzítettük, a tényleges paraméterek tekinthetők valószínűségi változóknak.

Térjünk most vissza a hatáosságot leíró függvényhez. Ez többváltozós függvény – az OVS esetén nyoleváltozós. Nyilvánvaló, hogy ilyen formában kezelhetetlen. Ha az eloszlásokat függetlennek tekinthetjük és a $p(\alpha'_i)$ sűrűségfüggvények ismertek, számíthatjuk az $\alpha_i = c_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) rögzített szűrőparaméterekre vonatkozó várható értékét:

$$E[\eta(\alpha_i = c_i, \alpha'_i)] \int_I \eta(\alpha_i = c_i, \alpha'_i) p(\alpha'_1) \dots p(\alpha'_n) d\alpha'_1 \dots d\alpha'_n \quad (3)$$

– ahol I n dimenziós intervallum, melyet az α'_i lehetséges változásának határai jelölnek ki. Pl. ha megállapodunk abban, hogy az első paraméter a valódi reflexiók „illesztési” hibája és megállapítottuk, hogy ez -2 ms és $+2$ ms között változik, az α'_i szerinti integrálás határai -2 ms, $+2$ ms. (Az integrálás elvégzése után kapott függvény már csak az α_i paraméterektől függ.

$$E[\eta(\alpha_i = c_i; \alpha'_i)] = \nu(c_i). \quad (4)$$

A függvény jelentése a következő: ha az α'_i paraméterek eloszlását valóban a használt sűrűségfüggvények írják le, a szűrő hatáosságának várható értéke az alkalmazott tényleges $\alpha_i = c_i$ ($i = 1, 2, \dots$) kombinációra a (4) alatti $\nu(\alpha_i)$ függvény $\alpha_i = c_i$ helyettesítési értéke. A szűrés eredményessége ezek szerint a bemenet paramétereitől függ, másképpen fogalmazva – ahogyan ez a szemléletből is következik – különböző szituációkban különböző. Ugyanaz az optimumszűrő bizonyos esetekben $20-30$ dB javulást okoz, más esetben – helyes optimalizálás ellenére is – csak $5-10$ dB-t. Például várhatjuk, hogy kis energiájú rendezetlen zaj esetén az OVS hatáossága növekszik. Mivel a (4) függvény még mindig többváltozós, az eredmények így sem könnyen áttekinthetők. Ha azonban a körvonalazott műveletek elvégzését is programozzuk, a szűrőtervezés

mellé beiktatott szubrutinként a gyakorlati feldolgozásban a művelet elvégzése előtt tájékozódhatunk, hogy a konkrét paramatéter-kombinációban mit várhatunk a szűréstől.

A szűrő javításának egy lehetősége a $p(\alpha'_i)$ sűrűségfüggvények beépítése a súlyfüggvény számításába. Ekkor várhatjuk, hogy az $E[\eta]$ várható értéke nagyobb lesz, mintha ezt nem tettük volna, mert így a szűrő optimalizálásakor figyelembe vesszük a paraméterek változásának lehetséges tartományát.

Sok esetben lényeges ismeret a szűrő hatásosságának csökkenése a paraméter hibáinak függvényében. Ha a (2) függvényben – kettő kivételével – az összes paraméter értékét rögzítjük, ábrázolható hatásosságfüggvényhez jutunk. Így szemléletes képet nyerünk arról, hogyan befolyásolják a nem rögzített két paraméter hibái a szűrők hatásosságát. Néhány eddigi vizsgálat azt mutatta, hogy már kis hibák esetén is számottevően csökkenhet a hatásosság. Az ilyen típusú vizsgálatok kijelölik, melyik paraméter az, amelynek hibáira a szűrő különösen érzékeny vagy majdnem közömbös stb. Tisztázhatjuk, milyen pontosságot kell elérnünk a paraméterek analízisében, illetve milyen előzetes műveleteket kell végezni annak érdekében, hogy a szűrőtervezésben alkalmazott (becsült) paraméterek jó közelítései legyenek a ténylegeseknek. Az a benyomásunk, hogy a digitális szeizmikus feldolgozás teljesítőképességének kihasználásához az előzetes műveletek, ha lehet, még fontosabbak, mint a hajlékony többváltós, időtől függő stb. szűrési eljárások. Másiképpen fogalmazva: a finomabb módszerhez még gondosabb felvételezés, előzetes javítások, nagyobb körültekintés szükséges, mint a konvencionális feldolgozáshoz. Csak így remélhetjük, hogy hasznosítani tudjuk a digitális feldolgozás hajlékonyságát, lehetőségeit a szeizmikus és ennek segítségével a geológiai értelmezés pontosabbá, megbízhatóbbá tételében, hatékonyságának fokozásában.

IRODALOM

- Meskó A. A., 1967/1968: Sebességszűrés matematikai alapjai, digitális megvalósítása és közelítésének lehetőségei. MAGYAR GEOFIZIKA I. rész: VIII. kötet 5–6 szám, 165–189. old. II. rész: IX. kötet 1. szám, 1–19. old.
- Meskó A., 1968: Digitális adatrendszer sűrítése és ritkítása. Geofizikai Közlemények, XVII. kötet, 1–2. szám, 121–126. old.
- Meskó A., 1968: Notes on detection and elimination of ghost reflections by means of single channel filters. Annales Univ. Tom. XI. p. 69–82.
- Meskó A. – Rádlér B., 1968: Modellszámítások alkalmazása a szeizmikus adatfeldolgozás és értelmezés előkészítésében. MAGYAR GEOFIZIKA, IX. kötet, 3. szám, 152–163. old.
- Meskó A. – Rádlér B., 1969/a: A jel és koherens zaj NMO-jai eloszlásának szerepe többsatornás optimumszűrők tervezésében. Geofizikai Közlemények. XVIII. kötet, 4. szám, 69–77. old.
- Meskó A. – Rádlér B., 1969/b: Statistical investigations on detection and elimination of ghost arrivals (előadás az EAEG Velencei Szimpóziumán).
- Meskó A. – Rádlér B., 1970: Szeizmikus adatok feldolgozásában alkalmazott digitális szűrők hatásosságának statisztikus vizsgálata. MAGYAR GEOFIZIKA, XI. kötet, 1. szám (megjelenőben).
- Schneider, W. A. – Larner, K. A. – Burg, J. P. – Backus, M. M. 1964: A new data processing technique for the elimination of ghost arrivals on reflection seismograms. Geophysics, Vol. 29, No. 5, p. 783–806.
- Sheriff, R. E., 1968: Glossary of terms used in geophysical exploration, Geophysics, Vol. 33, No. 1. p. 181–228.
- Tucker, L. R., 1968: Geophysical activity in 1967 applied to petroleum exploration, Geophysics, Vol. 33, No. 6, p. 885–903.
- Wuenschel, P. C. – Treitel, S. – Flinn, E. A. – Keller, G. V. – Pickett, G. R., 1969: Geophysical research and progress in exploration, 1965–1968. Geophysics, Vol. 43, No. 2, p. 145–155.