

Modellszámítások alkalmazása a szeizmikus adatfeldolgozás és értelmezés előkészítésében^{*2}

MESKÓ ATTILA – RÁDLER BÉLA

A szeizmikus adatfeldolgozásban a modellszámítások két helyen kaphatnak szerepet:

1. rutinprogramok kipróbálásában,
2. rutinprogramoktól független elvi és technikai modellkísérletekben

Az első csoportban felülvágó szűrősorozat, optimum simítószűrő és sebességszűrő programjainak ellenőrzését mutatjuk be. A felülvágó sorozat tervezésében gazdaságossági szempontokat is figyelembe vettünk, a szűrést néhány egyúttartó álló súlyfüggvény valósítja meg. Hangsúlyozzuk a sebességszűrővel kapcsolatban a felülvágó utószűrés szükségességét.

A második csoport technikai példája: mintavételi távolság és dinamikai tartomány hatása az autokorrelációs függvényre.

Elvi modellvizsgálataink közül a ghost-tevékenység paramétereinek az autokorrelációs függvény alapján történő meghatározását mutatjuk be.

Megállapítottuk, hogy a ghost jelentkezésének helye és a reflexiók egyúttartó bizonyos hibával határozható meg. (3. táblázat).

При обработке сейсмических данных расчеты на моделях могут иметь место:

1. в опробовании производственных программ;
2. в теоретическом и техническом моделировании, независящем от производственных программ.

В первой группе излагается способ проверки программ фильтра высоких частот, а также оптимального сглаживающего и скоростного фильтров.

При создании фильтров высоких частот была принята во внимание экономичность расчетов; фильтрация осуществляется весовой функцией с несколькими коэффициентами.

В связи со скоростной фильтрацией подчеркивается необходимость дополнительной фильтрации верхних частот.

Во второй группе дается технический пример влияния расстояний отсчетов и динамического диапазона на функцию автокорреляции.

Из теоретических исследований излагаются работы по определению параметров отражений-спутников на основании функции автокорреляции.

Установлено, что место прихода спутника и коэффициент отражения определяются с некоторой погрешностью (см. таблицу 3).

Die Modellrechnungen können in der digitalen Verarbeitung der seismischen Daten an zwei Stellen eine Rolle spielen, und zwar,

1. bei der Kontrolle der Routine-Programme, und
2. bei theoretischen und technischen Modellversuchen, die von Routine-Programmen unabhängig sind.

In der ersten Gruppe behandeln wir die Kontrolle der Programme des Tiefpass-, Optimum-Glättung- und Geschwindigkeitsfilters.

Bei der Berechnung der Tiefpassfilter wurden auch die ökonomischen Gesichtspunkte in Betracht gezogen, die Filtration wird durch eine nur einige Koeffizienten enthaltende Gewichtsfunktion verwirklicht. Wir betonen die Notwendigkeit der Anwendung eines Tiefpassfilters als „Nachfilter“ im Zusammenhang mit dem suboptimalen Geschwindigkeitsfilter.

Das Beispiel zu technischen Modellrechnungen der zweiten Gruppe ist die Untersuchung des Einflusses des Auswahlspunktabstandes und der Dynamik auf die Autokorrelationsfunktion.

Wir zeigen von unseren theoretischen Untersuchungen mit Modellrechnungen das Bestimmen der „Ghost“-Parameter aufgrund der Autokorrelationsfunktion.

Wir stellen fest, dass der Ort und der Reflexionskoeffizient der Ghostreflexion sich nur mit einem gewissen Fehler bestimmen lassen (Tabelle 3.)

1. Bevezetés

Az utóbbi 6–8 évben kifejlesztett digitális feldolgozás gyökeres változásokat hozott a szeizmikában. Olyan átalakítási lehetőségeket tett reálissá, melyek-

re a hagyományos feldolgozás során – gyakorlati okokból – gondolni sem lehetett. A feldolgozási program kialakításában a hullámterjedés reális modelljét vehetjük alapul. Tudatos törekvésünk minden egyes zavaró hullámtípus felismerése és eltávolítása, hogy a réteghatárookra jellemző valódi reflexiók végül tisztán álljanak az értelmezés rendelkezésére.

A digitális feldolgozás jóval több lehetőséggel rendelkezik a jel/zaj arány javításában, mint a hagyományos. A legegyszerűbb példa erre az időbeli szűrés. Az analóg feldolgozásban a szűrők: *sávszűrők*, melyeknek meredeksége, illetve áteresztési tartománya változtatható. A digitális szűrők karakterisztikája szinte tetszőleges alakú, és ennek megfelelően a sávszűrők mellett ismerünk és használunk

- alakszűrőt (shaping filter)
- illesztett szűrőt (matched filter)
- simító szűrőt (smoothing filter)
- detektáló szűrőt (detecting filter)
- inverz vagy dekonvolúciós szűrőt.

A feldolgozás egyes lépései számítógéppel végzett matematikai műveletek során valósulnak meg. A műveleteket a számítási program írja elő és rendszerezi. A program *érdemi* része az, hogy milyen műveleteket és milyen sorrendben kell elvégezni. Ez – a kiemelő, illetve eltávolítandó komponensek definiálása után – a jelenségek leírásának modelljéből vezethető le. A program *technikai* része a műveleteknek a konkrét, számítógép követelményeitől függő formában utasítássorozatként való megadása.

A matematikai modellezés a számítási folyamatban két különböző szerepet tölt be:

1. A programokat célszerű konkrét matematikai modellen *kipróbálni*. Ezzel ellenőrizzük a programnak mind érdemi, mind technikai helyességét. A modellszámítások egy csoportja tehát szorosan kapcsolódik a feldolgozási programokhoz.

2. A modellszámítások egy másik csoportja a rutinszerűen alkalmazott számítási programoktól független, és a hullámterjedés tárgyalásában, vagy a szeizmogram szerkezetének leírásában alkalmazott feltevések helyességét ellenőrzi. Végül a digitális feldolgozásnak jelen, kezdeti, kísérleti stádiumában szükség volt olyan modellszámításokra is, amikkel technikai korlátaink okozta hibák hatását becsültük meg. Az utóbbi műveletek célja szintén a tényleges bemenet tulajdonságainak analízise. Emiatt nem láttuk szükségesnek az elvi és technikai részletek elválasztását és ezeket is a második csoportba soroltuk.

A dolgozatban, az OKGT Szeizmikus Kutatási Üzem-ben 1967-ben végzett vizsgálatok közül néhányat kiemelve, példákat mutatunk be mindkét csoportra. Az első csoport példái:

- a) Egyváltozós szűrés: felülvágó szűrők-
optimum simító szűrők-
- b) Kétváltozós szűrés: sebességszűrő kipróbálása modellen-

A második csoport példái:

- a) Technikai jellegű modellkísérlet: mintavételi távolság és dinamika-tartomány hatása az autokorrelációs függvényre-
- b) Elvi jellegű modellszámítás: ghost jelenség paramétereinek meghatározhatósága az autokorrelációs függvényből-

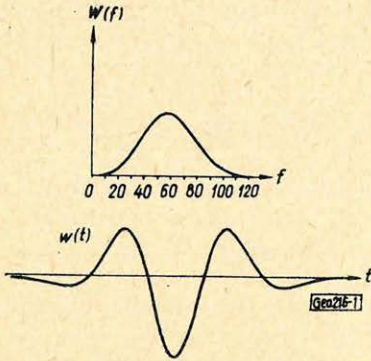
Több ismertetendő modellszámításban kapott szerepet szintetizált szeizmikus csatorna. Emiatt ennek előállítását a példák felsorolása előtt kiemelve írjuk le.

2. Szeizmikus csatorna szintézise

Kiindulópontunk a szeizmikus csatorna szerkezetének wavelet-elmélete volt. Számítottunk néhány szimmetrikus waveletet és spektrumaikat. Ezek közül az 1. ábra mutat be egyet. A szintetikus csatorna felépítésében ezt a közelítőleg 50 Hz csúcsfrekvenciájú waveletet használtuk a következő módon;

$$g(t) = \sum_i a_i w \left(t - \sum_{j=1}^i \tau_j \right), \quad (1)$$

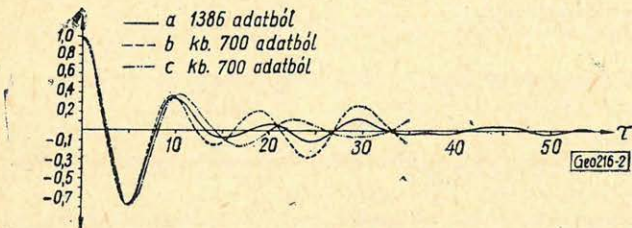
ahol az a_i amplitúdók és a τ_j egymást követő időeltolások egyenletes eloszlású rendezetlen változók, melyeket véletlenszám táblázatból vettünk, $w(t)$ a waveletet (elemi hullámot) leíró függvény. A mintavételi távolságot 1 ms-nek választottuk, egy wavelet hossza 50 ms, a teljes szintetizált csatorna hossza mintegy 1400 ms.



1. ábra. Szimmetrikus wavelet $w(t)$ és spektruma $W(f)$

Фиг. 1. Симметричный „wavelet” $w(t)$ и его спектр $W(f)$

Fig. 1. Das symmetrische „wavelet” $W(t)$ und sein Spektrum $W(f)$



2. ábra. Szintetizált zajcsatorna autokorrelációs függvénye különböző mennyiségű adatból számítva

Фиг. 2. Автокорреляционная функция синтетического канала, подсчитанная по различному количеству данных

Fig. 2. Autokorrelations-Funktion eines synthetischen Kanals berechnet aus verschiedenen Datenmengen

Számítottuk a csatorna spektrumát (3. ábra). A spektrum eltér a szintetizálásban használt wavelet spektrumától, bár annak alapvető tendenciáját tükrözi. A jelentős mértékű gyors ingadozások reális csatornából számított spektrumban is megtalálhatók. Esetünkben világos, hogy az ingadozások *nem* a jel spektrumára jellemzők. Ez a részeredmény összhangban van azzal a gyakorlati tapasztalattal, hogy tényleges csatorna felhasználásával végzett jelalak számításában a csatorna *simított spektrumát* célszerű használni. A csatornát leíró függvény (1), a $w(t)$ jel és az a_i amplitúdójú, τ_j eltolásoknak megfelelő időpillanatokba helyezett Dirac- δ -k konvolúciója. Emiatt a csatorna spektruma a konvolúció tétel szerint így írható

$$G(f) = \mathcal{F} \left[\sum_i a_i \delta \left(t - \sum_j \tau_j \right) \right] \cdot W(f). \quad (2)$$

A $G(f)$ spektrum alakja akkor egyezhet meg a $W(f)$ -el, ha az első tényező az f -től nem függ, azaz konstans. Az a_i -re és τ_j -re más típusú eloszlást felvéve, vagy az egyenletes eloszlást megtartva, de több értéket használva, esetleg kedvezőbb eredményekre jutnánk. Azonban – mint említettük – reális csatornák spektruma hasonló tulajdonságokat mutat. Emiatt a modell és a tényleges viszonyok kapcsolatát kielégítőnek tartottuk.

3. Programok ellenőrzésével kapcsolatos matematikai modellek

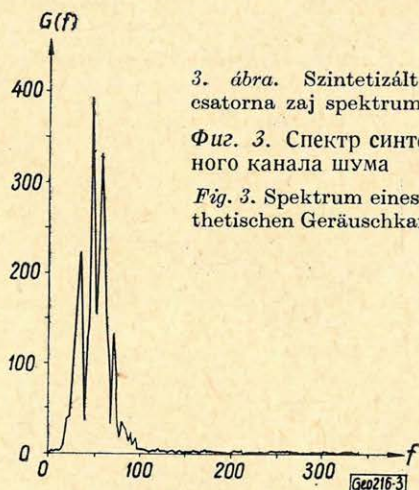
Ebben az esetben a modelleket a tervezett művelet bemeneteként használjuk. Céljuk a program helyességének ellenőrzése vagy teljesítőképességének vizsgálata.

A feladat természetéből adódóan a modelleknek egyszerűeknek, könnyen áttekinthetőeknek kell lenniük.

3.1 Egyváltozós szűrés: felülvágó szűrés és optimum szűrés

A 4. ábra szintetizált csatorna különböző felülvágó szűrőkkel átalakított változatait mutatja be. Az m a szűrők paramétere. Az $m = 9, 8, \dots, 1$ számokkal jelölt szűrők 3 dB-es pontjai – az ábrán felülről lefelé haladva; 104 Hz, 92,4 Hz, 80,9 Hz, 69,4 Hz, 57,8 Hz, 46,1 Hz, 34,4 Hz, 22,7 Hz, 10,3 Hz. A szűrők zérus fázistolásúak. A használt súlyfüggvények hossza: 11, 13, 13, 19, 21, 25, 25, 27, 37 adat.

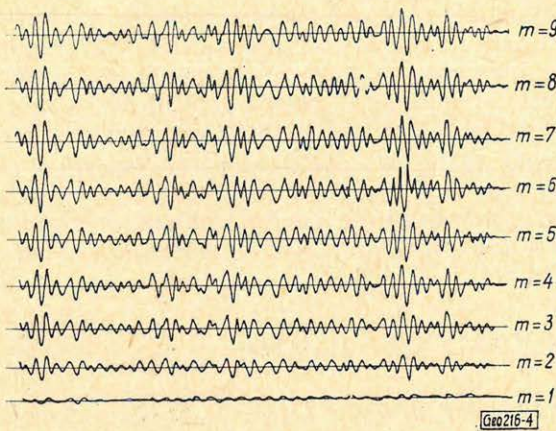
Az ábra a szűrők hatását az időtartományban jellemzi. Az optimum simítószűrő hatását a frekvencia tartományban mutatjuk be az 5. ábrán. A zajt a szintetizált csatorna modellezi: $n(t) = g(t)$, a jelet pedig egy $w_2(t) = s(t)$ wavelet, melynek spektruma eltér a zajétól. A példában a jel csúcsfrekvenciája a zaj csúcsfrekvenciájának a fele. A szintetizált csatorna spektrumát a szűrőtervezésben a $w(t)$ spektrumával azonosítottuk. Az 5. ábra felső része mutatja a



3. ábra. Szintetizált csatorna zaj spektruma

Фиг. 3. Спектр синтетического канала шума

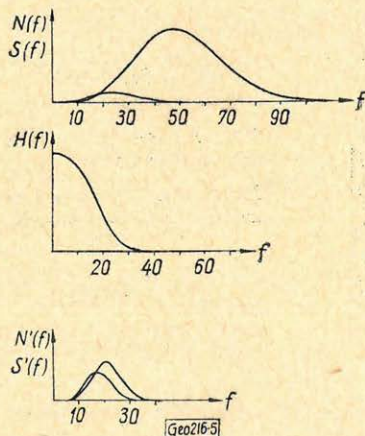
Fig. 3. Spektrum eines synthetischen Geräuschkanals



4. ábra. Felülvágó szűrőkkel átalakított zajesatorna

Фиг. 4. Канал шума, преобразованный с применением фильтров высоких частот

Fig. 4. Ein mit Tiefpassfiltern transformierter Geräuschkanal



5. ábra. Optimum simítószűrő hatása a jel és a zaj spektrumára

Фиг. 5. Влияние оптимального сглаживающего фильтра на спектры сигнала и шума

Fig. 5. Einfluss eines Optimal-Glättungs-filters auf das Spektrum des Signals und des Geräusches

kimeneti csatorna előállítására. A $h_i(t)$ súlyfüggvényeket kell úgy megválasztani, hogy a kimeneten csak adott sebességtartományba eső beérkezések ma-

jel- és zaj-spektrumokat. A számított optimum szűrő $H(f)$ átviteli függvénye az ábra középső részében szerepel. A szűrő alkalmazása után a jel és zaj $S(f)$ és $N(f)$ spektrumai az ábra alsó részén látható módon alakulnak. A jel/zaj arány javulás a bemutatott ábrán mintegy 20 dB.

A bemeneti -21 dB körüli jel/zaj arányt az optimumszűrő közelítőleg egységnyivé teszi.

Ha az optimumszűrő helyett felülvágó szűrőt használunk, mely a jelet torzítatlanul átengedi, a jel/zaj arány javulás mindössze 4 dB.

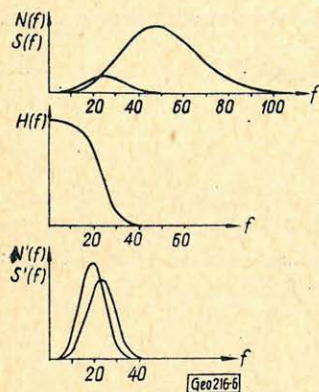
Az optimumszűrő átviteli függvénye, illetve a jel/zaj arány javulás mértéke természetesen függ a bemeneti jel/zaj aránytól. Néhány további példát adunk a 6. és 7. ábrákon, ahol más a bemeneti jel/zaj arány, illetve más spektrumú jelet használunk az optimumszűrő tervezésében. A bemeneti jel/zaj arány növelésével a javulás mértéke kisebb lesz, illetve a sávszűrő és optimumszűrő közötti különbség is fokozatosan csökken.

3.2 Sebességszűrés modellvizsgálata

A digitális feldolgozás egyik standard művelete a sebességszűrés alkalmazása (Embree, Burg, 1963). A módszer a jelek és zajok frekvencia – hullámszám síkon elfoglalt tartományainak helyzetéből indul ki. A jeltartományt – mely az f tengely környezetébe eső ék alakú területre – teljesebben és kevesebb veszteséggel tudja elválasztani a zajoktól, mint a hagyományos geofon csoport – időbeli szűrés kombináció. Az eljárás blokk-sémája a 8. ábrán látható: a $g_i(t)$ csatornákat különböző $h_i(t)$ súlyfüggvényű szűrőkkel alakítjuk át, majd a kimeneteket összegezzük. Rendszerint 12 csatornát használunk fel egy

radjanak meg. A tervezett sebességszűrők közül annak kipróbálását mutatjuk be, melynél az áteresztett tartomány alsó határát a

$$V_1 \cong \frac{d \text{ méter}}{1 \text{ ms}} \quad (d = a \text{ geofontávolság})$$



6. ábra. Optimum simítószűrő hatása a jel és zaj spektrumára

Фиг. 6. Влияние оптимального сглаживающего фильтра на спектры сигнала и шума

Fig. 6. Einfluss eines Optimal-Glättungsfilters auf das Spektrum der Signals und des Geräusches

pontú felülvágó szűrőt alkalmazva, a nagy dőlésű események amplitúdói jelentősen csökkenthetők.

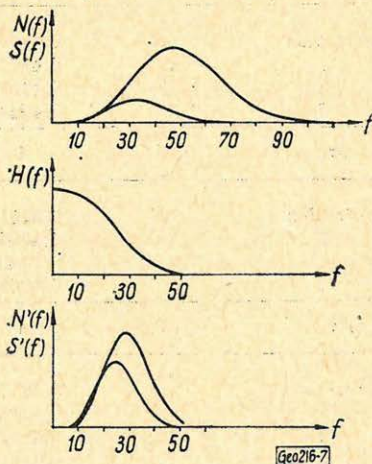
Az alkalmazott szűrők átviteli függvényeinek levágási pontjai közelítőleg 180 130, illetve 100 Hz-nél helyezkednek el. A 130 Hz levágási frekvenciájú szűrővel átalakított sebességszűrő kimenetét a 10. ábra tünteti fel. Látható a jel/zaj

látszólagos sebesség jelöli ki, a szűrő a csatornánként 1 ms, vagy ennél kisebb dőlésű eseményeket eresztí át. A szűrő bemenetétől szolgáló modellünk különböző látszólagos sebességű beérkezéseket tartalmaz, melyek a csatornánként 0, +1, +2, +3 és +4 ms dőléseknek felelnek meg. A különböző látszólagos sebességű beérkezések amplitúdó-változásait kívánjuk bemutatni, illetve összehasonlítani, emiatt a 9. ábrán az átalakított szeizmogramoknak csak egy-egy kimeneti csatornáját tüntettük fel egymás alatt. Frekvenciaszűrést itt még nem alkalmaztunk. A bemutatott ábra 12 csatornás sebességszűrő kimenete, de végrehajtottuk a műveletet 10, illetve 8 csatornás sebességszűrővel is. Az eredmények között nem volt lényeges eltérés. Feltűnő azonban, hogy a 2, 3 és 4 ms dőlésű beérkezések amplitúdóját a sebességszűrő nem csökkentette megfelelően. Ennek oka a spektrumismétlődés. A javítás módja felülvágóval végzett „utószűrés”. Különböző, egyre alacsonyabb frekvenciákhoz eltolt levágási

7. ábra. Optimum simítószűrő hatása a jel és zaj spektrumára

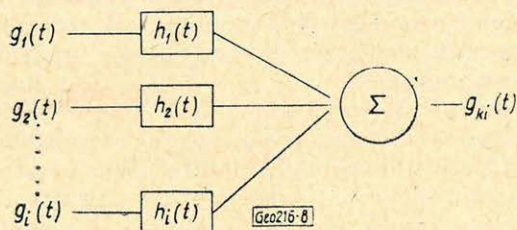
Фиг. 7. Влияние оптимального сглаживающего фильтра на спектры сигнала и шума

Fig. 7. Einfluss eines Optimal-Glättungsfilters auf das Spektrum des Signals und des Geräusches



arány jelentős javulása. A számítássorozat eredményeit az 1. táblázatban foglaljuk össze. Az m a sebességszűrésben használt csatornák száma, 1, 2, 3 az alkalmazott frekvencia szűrőket jelöli, $\frac{\tau}{\Delta x} = 0, 1, 2, 3$ és 4 a dőléseket adja meg. A táblázatban szereplő értékek a kimenet egyszeres amplitúdói normálás után.

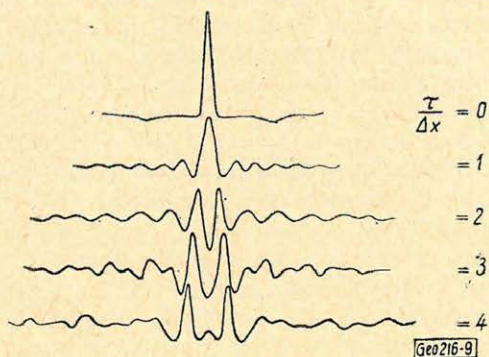
Látható, hogy az utószűrő alkalmazása jelentős javulást eredményez, míg a csatornaszám kevésbé befolyásolja az eredményeket.



8. ábra. Sebességszűrés bloksémája

Фиг. 8. Схема скоростной фильтрации

Fig. 8. Blokschema einer Geschwindigkeitsfilterung



9. ábra.

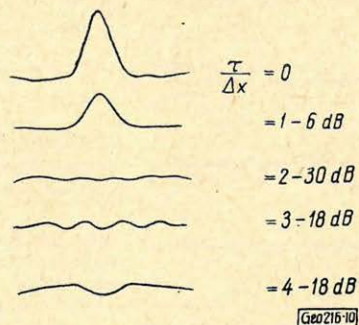
12 csatornás sebességszűrő kimenete

Фиг. 9. Выход 12-канального скоростного фильтра

Fig. 9. Ausgang eines Geschwindigkeitsfilters mit 12 Kanälen

1. táblázat

$\Delta\tau$	0	1	2	3	4	
szűretlen	1,0	0,3206	0,3310	0,3823	0,4016	
1	1,0	0,4371	0,0806	0,1875	0,2486	$m = 12$
2	1,0	0,4731	0,623	0,0943	0,1691	
3	1,0	0,4924	0,0758	0,0580	0,1627	
$\Delta\tau$	0	1	2	3	4	
szűretlen	1,0	0,3211	0,3333	0,3850	0,4044	
1	1,0	0,4399	0,0989	0,1903	0,2523	$m = 10$
2	1,0	0,7482	0,0818	0,0962	0,1726	
3	1,0	0,4998	0,0868	0,0596	0,1179	
$\Delta\tau$	0	1	2	3	4	d
szűretlen	1,0	0,3219	0,3333	0,3890	0,4089	
1	1,0	0,4443	0,1152	0,1946	0,2581	$m = 8$
2	1,0	0,4856	0,0947	0,0996	0,1783	
3	1,0	0,5102	0,0983	0,0670	0,1311	



10. ábra. 12 csatornás sebességszűrő kimenete utószűrővel átalakítva

Фиг. 10. Выход 12-канального скоростного фильтра, преобразованного с применением дополнительного фильтра

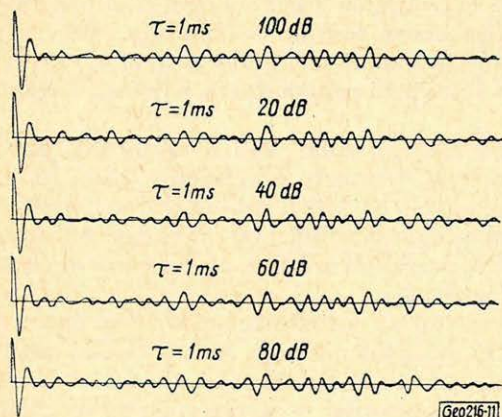
Fig. 10. Ausgang eines zwölfkanaligen Geschwindigkeitsfilters modifiziert durch ein Nachfilter

4. A feldolgozás technikáját és elméletét vizsgáló modellszámítások

A csoportba sorolt modellszámítások nem kapcsolódnak közvetlenül a feldolgozás rutinprogramjaihoz. Segítségükkel alkalmazott feltevéseink realizását ellenőrizhetjük vagy technikai korlátainknak az eredményekre gyakorolt befolyását kontrollálhatjuk.

4.1. Mintavételi távolság és dinamikartomány hatása az autokorrelációs függvényre

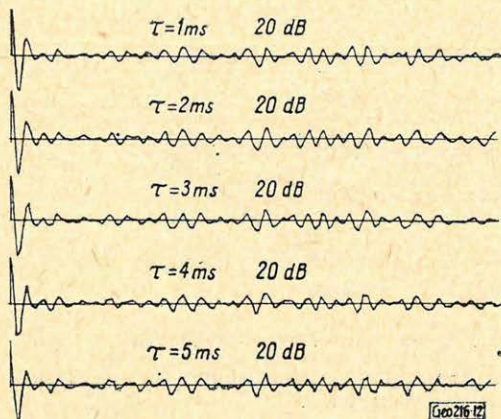
Az autokorrelációs függvény nemcsak számos további művelet kiindulópontja, hanem az értelmezés önálló segédeszköze is (Anstey, 1964, 1966). Felmerült az igény gyakorlati használatára a többszörös reflexiók felismerésében. Mivel csak félautomatikus analóg-digitális átalakító áll rendelkezésünkre, a mintavételi távolság csökkentésének korlátai vannak, illetve a berendezés jellegéből adódóan az átfogott dinamika-tartomány csupán mintegy 30 dB lehet. Felvetődött a kérdés, vajon érdemes-e ilyen korlátok esetén a félautomatikus AD konverterrel előállított csatornákból autokorrelációs függvényt számítani.



11. ábra. Zajcsatorna autokorrelációs függvénye rögzített mintavételi távolság és változó dinamikartomány esetében

Фиг. 11 Автокорреляционная функция канала шума при постоянном интервале отсчета и при изменяющемся динамическом диапазоне

Fig. 11. Autokorrelationsfunktion eines Geräuschkanals bei fixiertem Auswahlpunktabstand und veränderlichem Dynamikbereich.



12. ábra Zajcsatorna autokorrelációs függvénye rögzített dinamikatartomány és változó mintavételi távolság esetében

Фиг. 12. Автокорреляционная функция канала шума при постоянном динамическом диапазоне и изменяющемся интервале отсчета

Fig. 12. Autokorrelationsfunktion eines Geräuschkanals bei fixiertem Dynamikbereich und veränderlichem Auswahlpunktabstand

Ennek eldöntésére a szintetizált csatorna rendelkezésre álló, mintegy 100 dB tartományt átfogó és 1 ms mintavételi távolságú adatrendszeréből számított autokorrelációs függvényt összehasonlítottuk csökkentett dinamikájú, illetve növekvő mintavételi távolságú adatrendszerből számított autokorrelációs függvénnyel.

A számítás-sorozatban a dinamikatartományok: 100 dB, 80 dB, 60 dB, 40 dB, 20 dB; a mintavételi távolságok értékei: 1, 2, 3, 4 és 5 ms voltak.

A számított autokorrelációs függvények közül két sorozatot mutatunk be. Az elsőn (11. ábra) a mintavételi távolság rögzített, $\tau_m = 1$ ms, a dinamikatartomány változik. A második ábraszorozaton (12. ábra) a dinamikatartomány rögzített és a mintavételi távolság növekszik.

A vizsgálatok szerint — legalábbis az általunk vizsgálthoz hasonló: 200 — 1000 adatot tartalmazó, 50 Hz csúcsfrekvenciájú csatornát használva — a konverter mintegy 30 dB dinamikája és 2,5 vagy 3 ms mintavételi távolsága az autokorrelációs függvény számításában elegendő.

4.2. Elvi modellvizsgálat: ghost modell

A digitális feldolgozás egyik szűrési művelete a ghostok kiküszöbölése. A leghatásosabb eljárás erre a célra az optimum vertikális stacking (Backus, Burg, 1965). Ezt az eljárást — egyelőre — technikai okokból nem alkalmazhatjuk. Tervezhetőek azonban egycsatornás ghost szűrők is (Lindsey, 1960). A szűrők paramétere a τ_k követési távolság (a valódi és a ghost reflexiók közötti beérkezési idő különbség) és a ghostot létrehozó réteghatárra jellemző c reflexiók együttható.

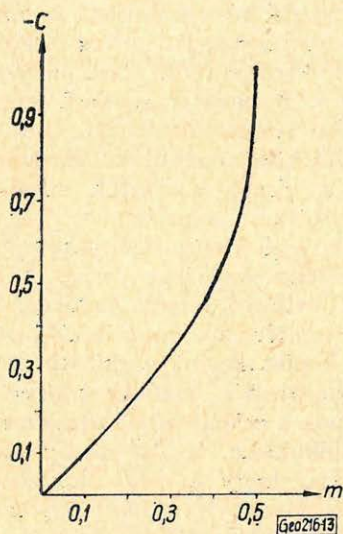
A ghost szűrő tervezése előtt „diagnosztizálnunk” kell a csatornát, azaz meg kell határozni a τ_k és c értékeket. A τ_k -t, amely a kétszeres felidő (ha a ghostot létrehozó réteghatár a felszín), számíthatjuk a robbantási mélységből és a robbantópont feletti rétegek sebesség-adataiból. De a csatorna autokorrelációs függvénye is felhasználható τ_k meghatározására, a c reflexiók együttható értéke pedig egyedül így becsülhető meg.

Ha a csatornán ghost tevékenység van, az autokorrelációs függvényen a követési időnek megfelelő helyen negatív csúcs jelenik meg. Az amplitúdó nagysága kapcsolatba hozható a c reflexiók együttható számértékével. A kiolvasott amplitúdóérték, m és a reflexiók együttható közötti — egyszerűen levezethető

közelítő összefüggés:

$$c = \frac{1 - \sqrt{1 - 4m^2}}{2m} \quad (3)$$

Ezt a kapcsolatot mutatja be a 13. ábra grafikonja. A kapcsolat számszerű értékeit a 2. táblázat tartalmazza.



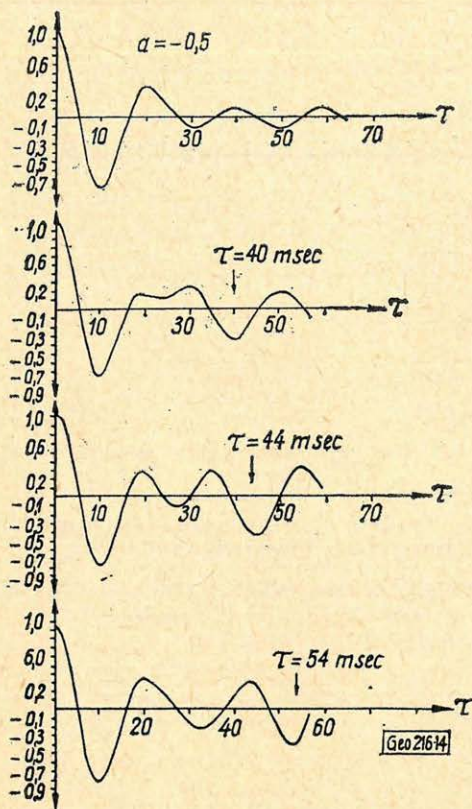
13. ábra. Reflexiós együttható és ghost amplitúdójának grafikonja

Фиг. 13. График коэффициента отражения и амплитуды отражения-спутника

Fig. 13. Diagramm des Reflexionskoeffizienten und der Amplitude der „Ghost“-Parameter

2. táblázat

m	c	m	c
0,00	0,00	0,26	0,28
0,01	0,01	0,27	0,29
0,02	0,02	0,28	0,31
0,03	0,03	0,29	0,32
0,04	0,04	0,30	0,33
0,05	0,05	0,31	0,35
0,06	0,06	0,32	0,36
0,07	0,07	0,33	0,38
0,08	0,08	0,34	0,39
0,09	0,09	0,35	0,41
0,10	0,10	0,36	0,43
0,11	0,11	0,37	0,44
0,12	0,12	0,38	0,46
0,13	0,13	0,39	0,48
0,14	0,14	0,40	0,50
0,15	0,15	0,41	0,52
0,16	0,16	0,42	0,54
0,17	0,18	0,43	0,57
0,18	0,19	0,44	0,60
0,19	0,20	0,45	0,63
0,20	0,21	0,46	0,66
0,21	0,22	0,47	0,70
0,22	0,23	0,48	0,75
0,23	0,24	0,49	0,82
0,24	0,26	0,50	1,00
0,25	0,27		



14. ábra. Az autokorrelációs függvény változása különböző követési távolságnál megjelenő ghost esetében. Reflexiók együttható egységeseen 0,5

Фиг. 14. Изменение автокорреляционной функции в случае отражений-спутников, появляющихся при различных расстояниях преследования. Величина коэффициента отражения постоянна и равна 0,5

Fig. 14. Variation der Autokorrelationsfunktion im Falle von sich bei verschiedenen Verfolgungsabständen einstellenden „Ghost“-s. Größe des Reflexionskoeffizienten einheitlich: 0,5

Modelleztük a ghost jelenséget és vizsgáltuk az autokorrelációs függvény változását A c értékét $-0,1$ -től, $-0,1$ értékű lépésenként $-0,7$ -ig változtattuk. A számításokat az összes c értékekkel és $\tau_k = 40$ ms, $\tau_k = 44$ ms és $\tau_k = 54$ ms követési távolságokkal végeztük el. A változás jellegét és mértékét illusztrálja a 14. ábra, melyen $c = 0,5$. A negatív csúcsok megjelenése világosan látható, amplitúdóik közel egyenlők. Ez várható is, hiszen a c-érték mindegyik esetben ugyanaz.

A részletes eredményeket a 3. táblázatban foglaltuk össze. A c_f az együttható felvett értékét, a c_{sz} a negatív csúcs amplitúdójából a (3) képlet szerint számított értéket jelenti. A c_{sz} értékeket követő oszlopok a relatív hibát adják meg százalékokban, a $\Delta\tau_k$ pedig azt mutatja, hogy a csúcs követési időhöz viszonyítva hány ms-mal előbb (negatív előjelű $\Delta\tau_k$) vagy később (pozitív előjelű $\Delta\tau_k$) jelentkezik. A τ_k a követési távolság értéke ms-ban.

A táblázatból kitűnik, hogy a τ_k , de különösen c meghatározását hiba terheli. A hiba a második oszlopban mindig negatív, a harmadikban végig pozitív előjelű. A szisztematikus előjelviszonyok oka az, hogy a $\tau_k = 44$ ms értéknél az eredeti autokorrelációs függvény pozitív értékből negatívba vált, míg a $\tau_k = 54$ ms ér-

3. táblázat

C_f	τ_k								
	40 ms			44 ms			54 ms		
	C_{sz}	hiba	$\Delta\tau$	C_{sz}	hiba	$\Delta\tau$	C_{sz}	hiba	$\Delta\tau$
-0,1	-0,0489	51,1%	+8	-0,1589	58,9%	+3	-0,1630	63,0%	-3
-0,2	-0,1306	34,7%	+0	-0,2423	21,1%	+2	-0,2433	21,6%	-2
-0,3	-0,2237	25,4%	+0	-0,3443	14,7%	+1	-0,3350	11,7%	-1
-0,4	-0,3145	21,4%	+0	-0,4549	13,7%	+1	-0,4369	9,2%	-1
-0,5	-0,4000	20,0%	+0	-0,5720	14,4%	+2	-0,541	8,2%	-1
-0,6	-0,4771	20,5%	+0	-0,7102	18,3%	+1	-0,6581	9,7%	-1
-0,7	-0,5444	22,2%	+0	-0,9802	40,0%	+1	-0,7877	12,5%	-1

ték negatívból pozitívba való áthaladással kapcsolatos. Végül $\tau_k = 40$ ms egy (egyébként pozitív értékű) csúcsra esik. Emiatt az első esetben szisztematikus siettetés, a másodikban késleltetés lépett fel, míg az utolsó esetben (eltekintve a $c = -0,1$ reflexiók együttthától) fázistolás nem volt.

A c meghatározásának hibája csökken, ha a τ_k nő, illetve a $c - 0,5$ értékig csökken. A $c = -0,5$ érték után újból rosszabbodást tapasztalunk. Ennek oka az m és c kapcsolatának jellege (lásd: 13. ábra). A $-0,4$ és $-0,5$ értékek között az m változása igen érzékenyen befolyásolja a c értéket, mely akkor $0,5$ és $1,0$ között mozog. Emiatt az m ($m > 0,4$) meghatározásának hibája itt jelentősebben befolyásolja a c értékét, mint ugyanakkora hiba, ha az m $0,0$ és $0,4$ közé esik.

A c és τ_k meghatározásának hibáját tovább növeli zaj jelenléte.

A most bemutatott helyzeten javít, ha a csatorna spektrumában több nagyfrekvenciás komponens szerepel, és a spektrumcsúcs 50 Hz-nél nagyobb frekvenciákhoz kerül. Ekkor ugyanis az autokorrelációs függvény főmaximuma keskenyebb és a függvény gyorsabban lecseng. Így az eredeti autokorrelációs függvény a τ_k -nál kisebb értéket vesz fel. További javítási lehetőség a τ_k követési távolság növelése. Mivel a sebesség adott és a robbantási mélység is csak szűk határok között változhat, az utóbbi módszernek nyilvánvaló technikai korlátai vannak.

Összegezés

A jelen rövid összefoglalás, mely különböző típusú modellszámításokból igyekezett izelítőt adni, remélhetőleg megmutatta széleskörű alkalmazhatóságukat és a számítási folyamatban betöltött szerepüket.

Nem térhetünk ki a további modellszámításokra, melyek a többszörösökkel, a stacking módszerekkel, vagy dekonvolúciós analízissel kapcsolatosak.

Az egyes példák részleteibe sem merülhettünk el. Talán így is sikerült megmutatni, hogy a matematikai modellezés a modern szeizmikus vizsgálatokban lényeges szerepet kap és a kutató geofizikus fontos segédeszköze.

IRODALOM

- Anstey, N. A. 1966: The sectional auto-correlogram and the sectional retro-correlogram Geophys. Prosp., Vol. 14. No. 4. 389–427 old.
- Backus, M. M. – Burg, J. P. et al, 1964: A new data processing technique for the elimination of ghost arrivals on reflection seismograms Geophysics, Vol. 29, No. 5. 783–806 old.
- Embree, P. – Burg, J. P. and Backus, M. M.: 1963: Wide-band velocity filtering the pie-slice process Geophysics, Vol. 28, No. 4. 948–974 old.
- Lindsey, J. P. 1960: Elimination of Seismic ghost reflections by means of a linear filter Geophysics, Vol. 25, No. 1. 130–141 old.
- Meskó A., 1967: A sebességszűrés matematikai alapjai, digitális megvalósítása és közelítésének lehetőségei I. rész Magyar Geofizika Vol. 8. 5–6 sz. 165–190 old.
- Meskó A., 1968: II. rész Magyar Geofizika Vol. 9. 1. sz. 1–19 old.