

A JEL ÉS KOHERENS ZAJ NMO-JAI ELOSZLÁSÁNAK SZEREPE TÖBBSZATORNÁS SZEIZMIKUS OPTIMUMSZŰRŐK TERVEZÉSÉBEN

MESKÓ ATTILA – RÁDLER BÉLA

A. MESKÓ – B. RÁDLER

THE ROLE OF THE DISTRIBUTION OF THE NMO OF THE SIGNAL AND OF THE COHERENT NOISE IN THE DESIGN OF MULTICHANNEL SEISMIC OPTIMUM FILTERS

The paper discusses some problems of optimum filter design by applying the known matrix equation related to the multi channel optimum filter. The *OVS* optimum filter is presented in detail, but the train of thoughts outlined here may be applied to *OHS* and velocity filtering without essential change.

The basis of the working of the filter is the difference of the residual *NMO*-s of the signal and the noise. Besides the uniform distribution for the *NMO*, discussed in literature, other distributions are investigated as well.

The effect of filters designed in this way and of those known from literature are compared concerning their sensitivity against *NMO* errors, with model calculations.

A. МЕШКО – Б. РАДЛЕР

РОЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОПРАВК СИГНАЛОВ И КОГЕРЕНТНЫХ ШУМОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ОПТИМАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

В работе рассматриваются некоторые проблемы разработки оптимальных фильтров с использованием известного матричного уравнения, действительного для многоканальных оптимальных фильтров. Более подробно анализируются фильтры для оптимального вертикального накопления, но излагаемые соображения могут использоваться без значительных изменений и применительно к оптимальному горизонтальному накоплению и к скоростной фильтрации.

В основе принципа работы фильтра лежит разность остаточных динамических поправок сигнала и шумов. Помимо равномерного распределения динамических поправок, известного из литературы, рассматриваются и другие варианты их распределения.

Эффективность разработанных таким образом фильтров и описанных в литературе фильтров, а также чувствительность их к погрешностям нормальных поправок, сопоставляются с результатами модельных исследований.

Bevezetés

A reflexió szeizmika az utóbbi években egyre finomabb és hatásosabb módszereket alkalmaz a jel/zaj arány növelésére. Ezek között szerepelnek a sebességszűrés, az optimum horizontális és optimum vertikális stacking (a továbbiakban rövidítve: az *OHS* és *OVS*; EMBREE – BURG – BACKUS, 1963., FAIL – GRAU, 1963, MAYNE, 1962, SCHNEIDER – LARNER – BURG – BACKUS, 1964, SCHNEIDER – PRINCE – GILES, 1965).

Megvalósításukat a digitális adatfeldolgozás tette lehetővé. A módszerek többé-kevésbé egymástól függetlenül fejlődtek. Célkitűzésük is különböző: a nagysebességű zaj, a többszörösök és a ghost minél tökéletesebb eltávolítása.

A látszólag kevés rokonságot mutató célkitűzések ellenére egységes tárgyalásuk is lehetséges. Mindegyik művelet többszűrűs szűrés, a szűrők tervezésének alapja pedig minden esetben a jel és a rendezett zaj reziduális normal moveout-jainak (továbbiakban: RNMO) különbsége. Utóbbi definícióját ld. például MAYNE, 1962.

Az OKGT Szeizmikus Kutatási Üzemében végzett tevékenységünk során – amelynek célja a digitális szeizmikus feldolgozás bizonyos programjainak és gazdaságos program-rendszereinek kidolgozása – a közelmúltban vált aktuálissá a többszűrűs szűrési műveletek vizsgálata és a programrendszerbe való beillesztése.

Jelen dolgozatban, a terjedelem szükségszerű korlátai miatt, részletesen a vertikális stacking módszert tárgyaljuk. Mielőtt azonban vizsgálataink ismertetésére rátérnénk, rövid történeti áttekintést adunk. Célszerűnek tartottuk ezt általánosabb alakban megfogalmazni.

Számításaink minden esetben szintetikus csatornákra vonatkoznak. Ennek előnyei és hátrányai egyaránt vannak. Előny, hogy a jel- és (rendezett és rendezetlen) zaj-spektrumok pontosan ismertek; a jel/zaj arányának javulása pontosan számítható és kapcsolatba hozható a szereplő paraméterekkel és függvényekkel. Hátrány, hogy a modellek a leggyondosabb tervezésnél is csak megközelíthetik a tényleges, bonyolult szeizmikus szituációkat.

A módszerek kialakulásának és fejlődésének rövid összefoglalása

Bizonyos egyszerűsítésekkel, amelyeket a jobb áttekinthetőség érdekében alkalmazunk a módszerek fejlődésében a következő szakaszokat különböztethetjük meg:

1. Egyszerű stacking

A jel/zaj arányának javítására a megfelelő csatornák egyszerű összegzése szolgál. Szűrőket az összegzés előtt nem alkalmazunk. A módszerek közös alap gondolata az, hogy a jelek közel azonos fázisban összegeződnek, a zajok azonban nem. Emiatt az összegzés (stacking) a jel/zaj arányt növeli. A horizontális stackinget a többszűrűs, a vertikális stackinget a ghostok csökkentésére használják. A sebességszűrés stacking „ősének” az RNP tekinthető, ahol egy-egy résállással készített összeg adott sebességsávot emel ki (részletesebb elemzés MESKÓ, 1967).

2. Stacking determinisztikus RNMO modell szerint tervezett optimumszűrőkkel

Az összegzés előtt az egyes csatornákat megfelelő optimumszűrőkkel alakítják át. A szűrők tervezésében a jelek (valódi reflexiók) és az eltávolítandó rendezett zaj (többszűrűs vagy ghostok) RNMO-i közötti különbségek pontos ismeretét tételezzük fel (SCHNEIDER et al., 1964). A horizontális illetve vertikális stacking módszernél – ha az időkorrekciókat helyesen végeztük – a jelek RNMO különbsége az egyes csatornák között zérus: $T_{ij}^S = 0$. Az egyes

csatornákon a rendezett zaj jelentkezései közötti RNMO különbségek a T_{ij}^N értékek, amelyek a sebességadatokból számíthatók és a zérustól különböznek.

A sebességszűrésnél ezek az adatok úgy módosulnak, hogy a jel RNMO-ja nem nagyobb egy adott felső határnál, az összes többi, ennél nagyobb RNMO-val érkező beérkezést zajnak tekintjük.

3. Stacking statisztikus RNMO modell szerint tervezett optimumszűrőkkel

Az összegzés előtt a csatornákat szintén optimumszűrőkkel alakítjuk át. A jelek és a koherens zajok RNMO-i közötti különbségeket azonban most nem egyetlen értékkel jellemezzük. Azt adjuk meg, hogy a jelek és rendezetlen zajok RNMO-i milyen intervallumokba eshetnek. Az intervallum hosszára és a beérkezések intervallumbeli eloszlására vonatkozóan valamilyen feltételezéssel élünk. A $T_{ij}^S = 0$ érték helyét az i -edik csatornára vonatkozóan a $\pm \Delta T_{ij}^S$ intervallum, a T_{ij}^N helyét a $T_{ij}^N - \Delta T_{ij}^N$, $T_{ij}^N + \Delta T_{ij}^N$ intervallum veszi át. Az intervallumon belül a szakirodalomban eddig mindig egyenletes valószínűség sűrűségfüggvényt alkalmaztak (SCHNEIDER et. al., 1965). Eszerint a kijelölt intervallum bármely helyére azonos, az intervallumon kívülre zérus valószínűséggel esik beérkezés.

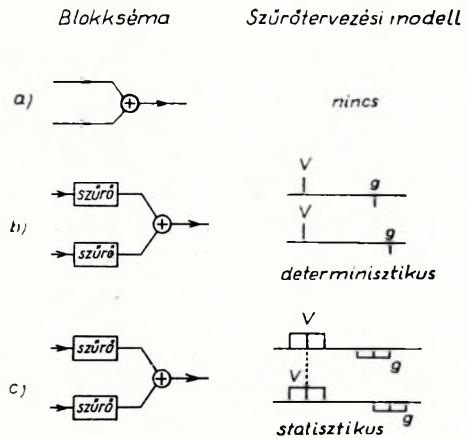
A szemléletbeli fejlődést az illusztratív példának választott OVS módszernél az 1. ábra szemlélteti.

A $b)$ és $c)$ modellek okvetlenül jobban megfelelnek a célnak, mint az $a)$. A szűrők alkalmazása ezenkívül – különösen az OHS-nél – a felvételezést is egyszerűbbé és gazdaságosabbá teszi. A 9- illetve 12-szeres fedés helyett elegendő a 3-szoros fedés alkalmazása.

A $b)$ modell jelentős jel/zaj arány javulást szolgáltat, ha a tényleges és a tervezett RNMO különbségek megegyeznek. Ha a tényleges RNMO különbségek a tervezettől eltérnek, a jel/zaj arány javulása csökken.

A $c)$ megközelítés modelljében a jel/zaj arány javulása várhatóan hosszabb RNMO tartományon megfelelő. A maximális jel/zaj arány növelése azonban kisebb, mint a $b)$ modell legkedvezőbb esetében (amikor a tervezett RNMO = tényleges RNMO).

A statisztikus modell nyilván kompromisszumos megoldás. A maximális jel/zaj arány javulása kisebb, de ha a tervezett RNMO eltér a ténylegestől, akkor a romlás kisebb, mint a determinisztikus modellnél. Ha azonban a kijelölt intervallum „széleinek” megfelelő beérkezés nagyon kis valószínűségű, a maximális növekedésből feleslegesen pazaroltunk el egy részt. Hiszen a kis



1. ábra. A sebességszűrés és stacking módszerek fejlődésének blokkémája

Fig. 1 Block diagram of the development of velocity filtering and stacking methods

Фиг. 1. Схема развития методов скоростной фильтрации и накопления

valószínűség miatt ritka eset az, amikor a maximális jel/zaj arány növelés értékének rovására a „szélek erősítéséből” tényleges hasznunk van. Kérdéses az is, hogy a statisztikus modell valóban jelentősen kiszélesíti-e a jel/zaj arány változását leíró görbét.

A statisztikus modell továbbfejlesztése: a jel/zaj arány, mint a rendezett zaj tényleges RNMO-jának függvénye

Világos, hogy a *b*) modell a *c*) speciális esetének tekinthető, amelyben $\Delta T_i^S \rightarrow 0$ és $T_i^N \rightarrow 0$, tehát az intervallum egyetlen ponttá zsugorodik. A sűrűségfüggvény négyzögalakú függvényből Dirac- δ -vá lesz. Világos, hogy a szűrő átviteli függvénye a felvett valószínűség sűrűségfüggvény alakjától is függ. Minden felvett sűrűségfüggvényhez meghatározhatók az optimumszűrők. Általánosan a

$$\sum_{j=1}^n [\overline{S_{ij}(f)} + \overline{N_{ij}(f)}] Y_j(f) = \overline{S_{i0}(f)} \quad (1)$$

($i = 1, 2, \dots, n$)

egyenletrendszerrel kell megoldani, amelyben

$S_{ij}(f)$ és $N_{ij}(f)$	az <i>i</i> -edik, illetve <i>j</i> -edik csatornán levő jelek és zajok keresztspéktruma;
$Y_j(f)$	a <i>j</i> -edik csatornára alkalmazott optimumszűrő átviteli függvénye;
$S_{i0}(f)$	a kívánt kimenet és az <i>i</i> -edik csatornán levő jel keresztspéktruma; a felülvonás a komplex konjugált képzését jelenti.

Tételezzük fel, hogy a jel és a rendezett zaj (többszörös vagy ghost) minden csatornán azonos alakú és autokorrelációs függvénye: $\varphi_{SS}(t)$ illetve $\varphi_{mm}(t)$; továbbá a rendezetlen zaj autokorrelációs függvénye bármely csatornából számítva: $\varphi_{rr}(t)$; végül, hogy a zajok *i* és *j* csatornákra vonatkozó eloszlásai függetlenek. A keresztspéktrumok közötti eltéréseket tehát csak a jel és a rendezett zaj beérkezési idői közötti eltérések hozzák létre. Tételezzük fel, hogy a várt jel autokorrelációs függvénye is: $\varphi_{SS}(t)$. Beérkezési időpillanata határozza meg az időorigót (ettől az időpillanattól mérjük a többi csatornák RNMO-it, azaz a T_{ij}^N , ΔT_i^S , ΔT_i^N stb. értékeket).

Ezekkel a feltevésekkel;

$$S_{ij}(f) = \Phi_{SS}(f)P(f, \Delta T_i^S)P(f, \Delta T_j^S) \quad (2)$$

$$S_{ii}(f) = \Phi_{SS}(f) \quad (3)$$

$$N_{ij}(f) = \Phi_{mm}(f)P(f, \Delta T_i^N, T_{ij}^N)P(f, \Delta T_j^N, T_{ij}^N) \quad (4)$$

$$N_{ii}(f) = \Phi_{mm}(f) + \Phi_{rr}(f) \quad (5)$$

$$S_{i0}(f) = \Phi_{SS}(f)P(f, T_i^S) \quad (6)$$

A $P(f, \Delta T_i^S)$, $P(f, \Delta T_i^N)$ stb. függvények a használt valószínűségi sűrűség-függvény, a $\Phi_{SS}(f)$, $\Phi_{mm}(f)$ stb. függvények a $\varphi_{SS}(t)$, $\varphi_{mm}(t)$ stb. autokorrelációs függvények Fourier transzformáltjai. A sűrűségfüggvény Fourier transzformáltjai paraméterként tartalmazzák a ΔT_i^S , ΔT_i^N és az *RNMO* értékeket. Adott sűrűségfüggvényekkel számíthatók a (2)–(6) spektrumok, majd ezekből az (1) egyenletrendszer segítségével meghatározhatók az átviteli függvények. A súlyfüggvényeket inverz Fourier transzformációval kapjuk (a levezetés részleteit ld. SCHNEIDER – PRINCE – GILES, 1965 Appendix).

A számított súlyfüggvényeket szintetikus csatornára alkalmazva megállapítható a jel/zaj arányának javulása. A szintetikus csatornákon különböző tényleges *RNMO* értékeket használva vizsgálhatjuk a jel/zaj arány változását, mint a tényleges T_{ij}^N függvényét. A vizsgálatokban – amelyek a kétszatornás stacking-re vonatkoztak – a T_{12}^S értékét rögzítettük: $T_{12}^S = 0$ msec. A tervezett $T_{12}^N = 10$ msec. A tényleges T_{12}^N értékét a tervezett érték környezetébe eső értékeken változtattuk, 0 msec és 20 msec között.

A következő sűrűségfüggvényekkel végzett vizsgálatok eredményeit mutatjuk be;

Dirac- δ (amely a determinisztikus modellnek felel meg),
egyenletes (a szakirodalomban ismertett modell),
az intervallum határai felé lineárisan csökkenő és a normális (Gauss) eloszláshoz tartozó sűrűségfüggvény (várható értéke az intervallum közép-pontja).

A két utóbbi az irodalomban ismertett statisztikus modell továbbfejlesztésének tekinthető.

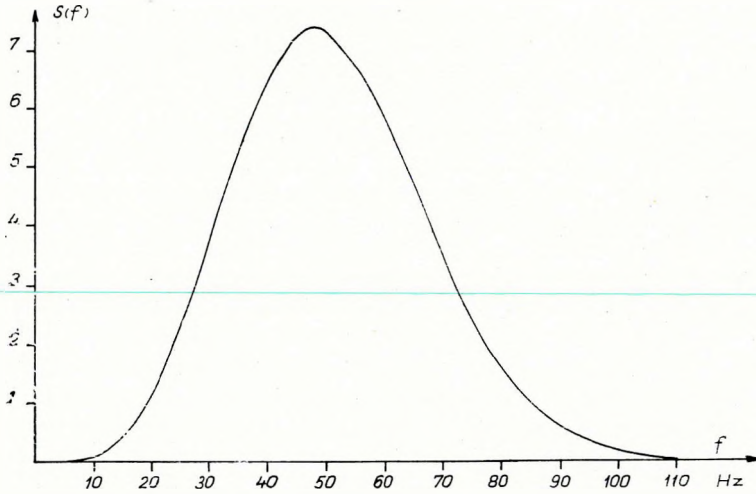
Megjegyezzük, hogy a jel/zaj arány javulása, mint a rendezett zaj tényleges *RNMO*-jának függvénye, önmagában is vizsgálatra érdemes. Bármelyik modellt is használjuk később, a dinamikus és statikus korrekciók hibáinak hatása, a jel/zaj arány javulására érdekes és lényeges ismeret, amelyet hasznosan alkalmazhatunk mind a művelet tervezésében, mind az eredmények értelmezésében.

A modellszámítások eredményeit a 3. – 6. ábrákon mutatjuk be.

A jel/zaj arány alakulását a jel (valódi reflexió) és a rendezett zaj (itt ghost) spektruma is befolyásolja. Mindkettőt a 2. ábrán bemutatott alakúnak vettük fel. Ez közelítés, hiszen a ghost spektruma elvileg eltér a jelétől. Nincs természetesen akadálya annak, hogy az (1)–(6) egyenletek olyan megoldásait számítsuk, amelyekben a ghost spektruma valóban különbözik a jelétől. A jel/zaj arány alakulására kapott és bemutatott eredmények azonban így is kifejezőek; a különbséget igen sok esetben elhanyagolhatjuk. A rendezetlen zaj a modellszámításokban fehérspektrumú, teljesítménye a jel-teljesítmény 10%-a.

Az ábrákból kitűnik, hogy a jel/zaj arány alakulása a legkedvezőtlenebb a négyszög alakú sűrűségfüggvény használatánál. A maximális jel/zaj arány javulása – a $T_{12}^N = 10$ ms-re vonatkozó javulás – a determinisztikus modellhez képest jelentősen csökkent, az S/N arány változását leíró görbe pedig számottevően nem „szélesedett”. Kedvezőbb eredményeket szolgáltatnak a háromszög alakú és a Gauss-eloszlásnak megfelelő sűrűségfüggvények.

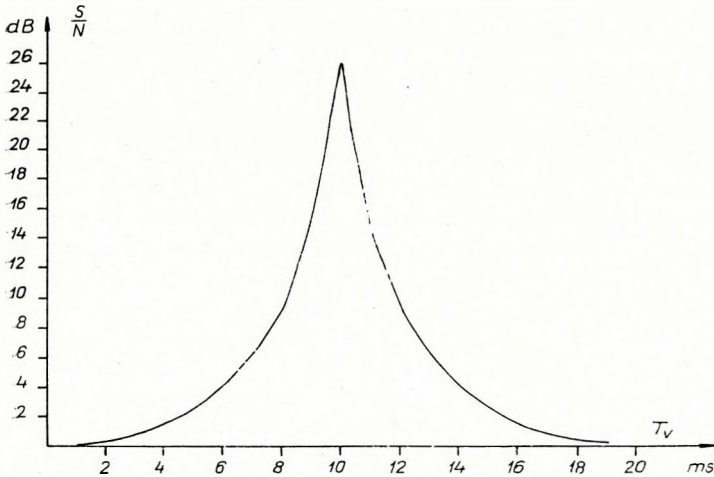
Az ábrákból látszik, hogy milyen határok alá kell leszorítani a statikus és dinamikus hibákat, hogy a jel/zaj arány növekedése ne romolják egy adott határ alá. Az eltérés, a tervezett és tényleges *RNMO* érték között, valószínűségi



2. ábra. Kísérleti számításokban használt wavelet spektruma

Fig. 2 Spectrum of the wavelet used in experimental computations

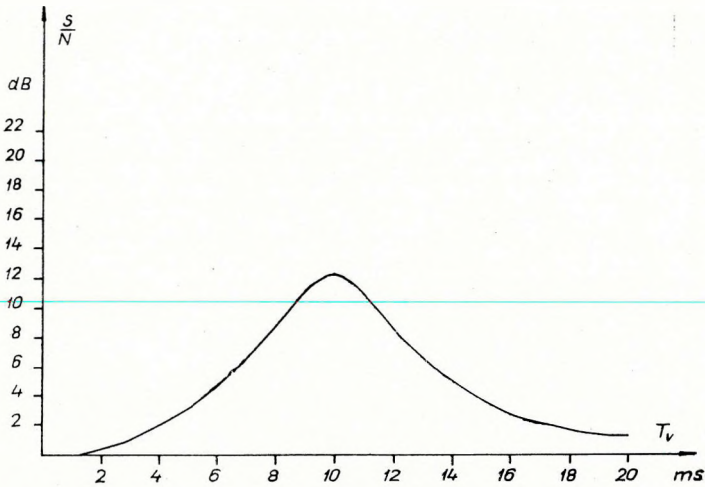
Фиг. 2. Спектр волн, применявшихся для экспериментальных расчетов



3. ábra. Jel/zaj arány, mint a tényleges T_{12}^N függvénye (determinisztikus modell)

Fig. 3 Signal-to-noise ratio, vs. the actual T_{12}^N (deterministic model)

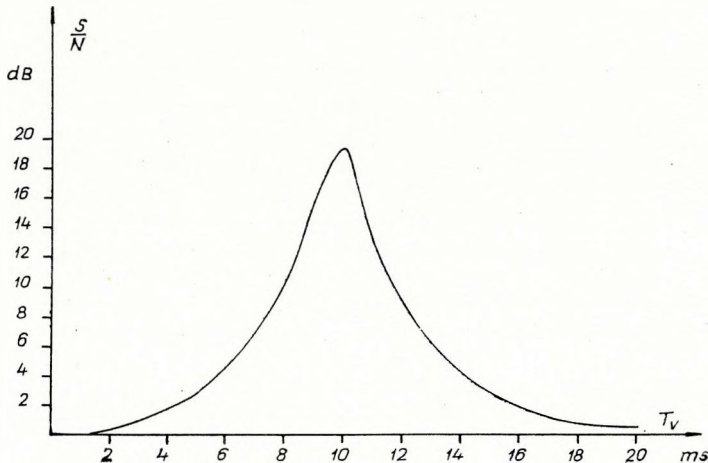
Фиг. 3. Отношение сигнал/ушм, как функция фактического T_{12}^N (детерминистическая модель)



4. ábra. Jel/zaj arány, mint a tényleges T_{12}^N függvénye (statisztikus modell, egyenletes eloszlás sűrűség-függvénye)

Fig. 4 Signal-to-noise ratio, vs. the actual T_{12}^N (statistical model, probability density function of a uniform distribution)

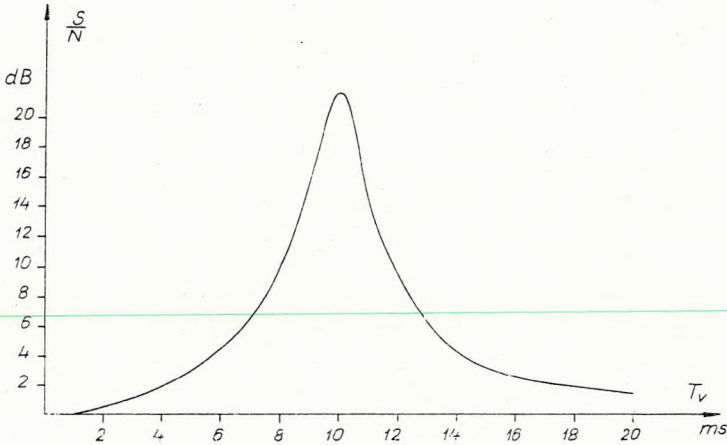
Фиг. 4. Отношение сигнал/шум, как функция фактического T_{12}^N (статистическая модель, функция плотности для равномерного распределения)



5. ábra. Jel/zaj arány, mint a tényleges T_{12}^N függvénye (statisztikus modell, háromszög-alakú sűrűség-függvény)

Fig. 5 Signal-to-noise ratio, vs. the actual T_{12}^N (statistical model, triangular probability density function)

Фиг. 5. Отношение сигнал/шум, как функция фактического T_{12}^N (статистическая модель, треугольная функция плотности)



6. ábra. Jel/zaj arány, mint a tényleges T_{12}^N függvénye (statistikus modell, normális eloszlás sűrűség-függvénye)

Fig. 6 Signal-to-noise ratio vs. the actual T_{12}^N (statistical model, probability density function of a normal distribution)

Фиг. 6. Отношение сигнал/шум, функция фактического T_{12}^N (статистическая модель, функция плотности для нормального распределения)

változó. Emiatt a jel/zaj arány növekedése is, — amely a különbség függvényének is felfogható — szintén valószínűségi változó és nem adható meg pontosan, hogy egy-egy sűrűségfüggvénnyel milyen jel/zaj arány növelés érhető el. A jel/zaj arány növelésének várható értéke csak akkor volna számítható, ha ismernénk a beérkezések *RNMO* hibáinak tényleges eloszlását. Az átlagosan legjobb (vagy várható értékben legjobb) eredményeket akkor kapjuk, ha a felvett sűrűségfüggvény a beérkezések tényleges eloszlását tükrözi. Azonban a tényleges viszonyokhoz mindenesetre közelebb áll egy olyan függvény, amely a szakirodalomban eddig ismertett két szélesőséges eset között áll. Joggal feltekezhethetjük, hogy a hiba eloszlása nem egyenletes, nagyobb számítási vagy korrekciós hibának kisebb a valószínűsége. Az alkalmazandó sűrűségfüggvénynek olyannak kell lennie, amely a $T_{ij}^S = 0$ környezetében, illetve a T_{ij}^N tervezett helyen maximális értékű, a $(-\Delta T_{ij}^S, +\Delta T_{ij}^S)$, $(T_{ij}^N - \Delta T_{ij}^N, T_{ij}^N + \Delta T_{ij}^N)$ intervallum határokra pedig zérus vagy közel zérus. Továbbá a centrális határeloszlástételre hivatkozva, a mérési hibákról (ha azok sok rendezetlen „elemi” hiba összegeként adódnak) feltekezhethetjük, hogy normális (Gauss) eloszlásúak. Ennek az esetnek felel meg az utolsó sűrűségfüggvény. A jel/zaj arány alakulása is kedvezőnek mutatkozik a modellel végzett számításokban (6. ábra). Remélhetjük, hogy ez a modell átlagosan kedvezőbb átvitelt biztosít, mintegy egyesíti a determinisztikus és statisztikus modellek előnyeit.

IRODALOM

- EMBREE, P. – BURG, J. – BACKUS, M., 1963: Wide band velocity filtering. The pie-slice process. *Geophysics*, Vol. 28.
- FAIL, M. D. – GRAU, G., 1963: Le filters en eventail. *Geophysical Prospecting* Vol. 11. No 2.
- KASZÁS M. – KORVIN G. – SÁGHY, Gy., 1968: Tanulmányúti jelentés. OKGT Szeizmikus Kutatási Üzem és ELGI Adattára.
- MAYNE, H. W., 1962: Common reflection point horizontal data stacking techniques. *Geophysics*, Vol. 27.
- MESKÓ A., 1967: A sebességszűrés matematikai alapjai, digitális megvalósítása és közelítésének lehetőségei. *Magyar Geofizika*, Vol. 9. 1. szám.
- MESKÓ A. – RÁDLER B., 1968.: Modellszámítások alkalmazása a digitális szeizmikus kiértékelésben. *Magyar Geofizika*, Vol. 10.
- SCHNEIDER, W. A. – LARNER, L. K. – BURG, J. – BACKUS, M., 1964: A new data processing technique for the elimination of ghost arrivals on reflection seismograms. *Geophysics*, Vol. 29.
- SCHNEIDER, W. A. – PRINCE, jun. F. R. GILES, B. F., 1965: A new data processing technique for multiple attenuation exploiting differential normal moveout. *Geophysics*, Vol. 30.

