

# Automatikus sebességanalízis

MÁRLE ROBERT\*

*A dolgozat egy olyan automatikus sebesség meghatározó eljárást ír le, amelyik iteratív stackinget használ fel. Az eljárás az iteratív stacking a sebesség meghatározás szempontjából előnyös tulajdonságain és a stackingsebesség általános jellemzőin alapul.*

*В статье описывается использующий итеративное суммирование способ автоматического определения скоростей. Способ основан на преимуществах итеративного суммирования с точки зрения определения скоростей и на общих характерных особенностях скоростей ОГТ.*

*An automatic method based on the iterative stacking for velocity determination is described.*

*The suggested method exploits that properties of the iterative stacking which are advantageous in use of velocity determination.*

## Bevezetés

A dolgozat az automatikus sebességmeghatározás egy általam kidolgozott módját írja le.

Többféle kísérletet találhatunk a probléma megoldására a szakirodalomban. Ezeket három csoportra oszthatjuk. Az egyik lényege a következő. Modellt készítünk a mért szelvény alapján és ebből a modelltől szintetikus szeizmogramot. Az így létrehozott és a mért szeizmogram közötti különbség alapján módosítjuk a modellt. Ezt addig ismételjük amíg a kétféle szeizmogram elég hasonló nem lesz. Ez az eljárás bonyolult és lassú. Van olyan kísérlet is, ahol tipikus sebességfüggvény ismeretében próbálják megállapítani a pontos sebességfüggvényt. Ezt a módszert nem lehet egészen automatikusnak tekinteni, hiszen a tipikus sebességfüggvényt valahogyan meg kell határozni.

A harmadik lehetőség számítógéppel szimulálni az emberi kiértékelést. Az ismert módszeren úgy változtattam, hogy a hagyományos *velocity spectra* helyett egy javított változatot használok. A sebesség meghatározás alapja tulajdonképpen egy jelfelismerési eljárás. Az algoritmus azt a sebességet választja ki, amelyiknél a legvalószínűbb a jel beérkezése. A jel beérkezés tényének eldöntésére a statisztikai hipotézisvizsgálat elvét használjuk. Kiszámolunk egy  $S$  hasonlósági mértéket és eldöntjük, hogy egy adott  $S_0$  küszöbnél  $S$  nagyobb vagy sem. Ha  $S > S_0$  akkor elfogadjuk a hipotézist, hogy jel érkezett be és meghatározzuk a sebességet.

A hasonlósági mértéket iteratív stacking kiszámításával határozzuk meg (Naess, 1979). Ez az iteratív eljárás javítja a jel zaj viszonyt és ezáltal megkönnyíti a sebesség meghatározást (Naess, Bruland 1981). Az iteratív stacking tulajdonságairól a Függelékben írok.

A teljes sebességfüggvény meghatározást a stacking sebesség tulajdonságainak felhasználásával fejezzük be (Cochran 1973).

\* MAELGI, Budapest

Az algoritmus inputját statikusan és dinamikusan korrigált, azonos mélységhoz tartozó csatornák azonos időpontjához tartozó amplitúdói alkotják. Vezessük be a következő jelöléseket:

- $a_i$  az  $i$ -edik pozitív amplitúdó
- $b_j$  a  $j$ -edik negatív amplitúdó
- $m$  a pozitív amplitúdók száma
- $n$  a negatív amplitúdók száma
- $M$  a fedésszám

Legyen  $S = S_+ + S_-$  a hagyományos stacking, ahol:

$$S_+ = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^m a_i$$

$$S_- = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^n b_j. \quad (1)$$

A következő lépésben definiáljuk az  $a_i'$  és  $b_j'$  amplitúdókat a következő módon:

- ha  $a_i > S_+$  akkor  $a_i' = S_+$
  - ha  $a_i \leq S_+$  akkor  $a_i' = a_i$
  - ha  $b_j < S_-$  akkor  $b_j' = S_-$
  - ha  $b_j \geq S_-$  akkor  $b_j' = b_j$ .
- (2)

Az új amplitúdókból megkaphatjuk a következő stackinget:

$$S' = S'_+ + S'_- \quad (3)$$

ahol

$$S'_+ = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^m a_i'$$

$$S'_- = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^n b_j'. \quad (4)$$

Ezzel leírtunk egy iterációs lépést, az általános alak a  $q$ -edik iteráció után:

$$S^{(q)} = S_+^{(q)} + S_-^{(q)} \quad (5)$$

ahol:

$$S_+^{(q)} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^m a_i^{(q)}$$

$$S_-^{(q)} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^n b_j^{(q)}. \quad (6)$$

Az  $a_i^{(q)}$  és  $b_j^{(q)}$  amplitúdókat a következőképpen kapjuk:

ha  $a_i^{(p)} > S_+^{(p)}$  akkor  $a_i^{(p+1)} = S_+^{(p)}$

ha  $a_i^{(p)} \leq S_+^{(p)}$  akkor  $a_i^{(p+1)} = a_i^{(p)}$

ha  $b_j^{(p)} < S_-^{(p)}$  akkor  $b_j^{(p+1)} = S_-^{(p)}$

ha  $b_j^{(p)} \geq S_-^{(p)}$  akkor  $b_j^{(p+1)} = b_j^{(p)}$

(7)

ahol  $p = 1, 2, \dots, q-1$ .

A  $q$  felső index azt jelenti, hogy legfeljebb  $(q-1)$ -szer változtattuk az amplitúdókat. Ezáltal az amplitúdók egyre közelebb kerülnek egymáshoz és javul a jel-zaj viszony.

### A sebességmeghatározás algoritmus

A sebesség meghatározás problémáját jelfelismerési feladatként fogjuk fel. A jelfelismerés statisztikai elmélete ezt a feladatot a következőképpen fogalmazza meg. A jelfelismerési probléma a statisztikai hipotézisvizsgálat körébe tartozik. Két hipotézis között kell választani,  $H_0$ : nincs jel,  $H_1$ : van jel. A döntést úgy végezzük el, hogy kiszámítunk egy  $r$  statisztikát, és összehasonlítjuk egy előre megadott  $r_0$  szinttel. Ha  $r > r_0$  akkor elfogadjuk a hipotézist. Részletesen tárgyalja ezt a problémakört *Helstrom (1968)*.

A sebességanalízisnél ez a statisztika az  $S(t_0, v)$  hasonlósági függvény. Ha  $S(t_0, v) \geq S_0$ , akkor elfogadjuk a  $H_1$  hipotézist, ha  $S(t_0, v) < S_0$ , akkor  $H_0$ -t fogadjuk el.  $S_0$  értékének megválasztásáról a Függelékben lesz szó.

Nyilvánvaló, hogy  $S(t_0, v)$  minél nagyobb, annál valószínűbb, hogy jel érkezett be. Ezért azt, hogy melyik  $t$ -ben és milyen sebességű jel érkezett be azt úgy döntjük el, hogy kiválasztjuk az  $S(t_0, v)$  függvény lokális maximumait, amelyek nagyobbak mint az előre kiválasztott  $S_0$ .

A hagyományos velocity spectra kiértékelésnél a következő hasonlósági függvény lokális maximumait keressük:

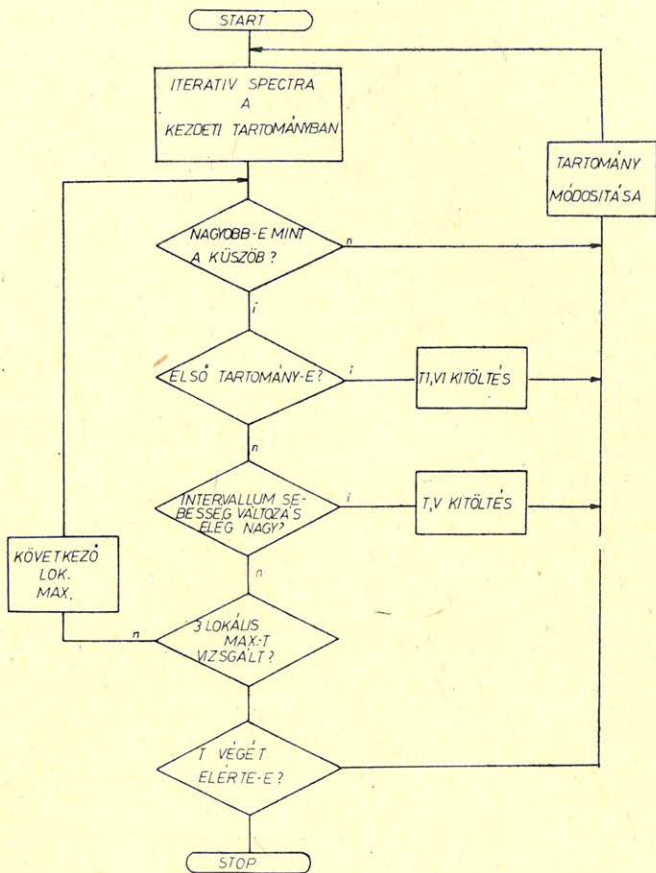
$$S(t_0, v) = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \sum_{j=1}^M a_{ij} \right)^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M a_{ij}^2} \quad (8)$$

ahol  $M$  a fedésszám,  $N$  a kapuhossz (*Taner és Koehler 1969*). Látható, hogy ez a kifejezés tulajdonképpen a stacking csatorna energiája, osztva az eredeti csatornák energiájának átlagával. Az iteratív stacking előnyös tulajdonságai miatt, ha a  $\sum a_{ij}$  hagyományos összeg helyett a számlálóban az iteratív stacking  $M$ -szeresét használjuk, akkor az  $S(t_0, v)$  függvény lokális maximumai élesebbek lesznek, ezért szemmel és automatikusan is könnyebb azokat megtalálni.

Az algoritmus lényege az, hogy az adott terepi anyagra jellemző, de elég tág határok között keressük a sebesség értékeket. Az  $S(t_0, v)$  függvény lokális maximumait úgy válogatjuk ki, hogy a következő tulajdonságoknak feleljen meg a kapott sebességfüggvény (*Cochran 1973*):

I. Azért, hogy az intervallum sebességek becslése megbízható legyen, két reflexió között egy adott (például 100 msec) időkülönbség kell, hogy legyen az időszelvényen.

2. Az intervallum sebesség fizikailag reális határok között változik. (Például nem kisebb  $1500 \text{ m/s}$ -nál és nem nagyobb  $10\,000 \text{ m/s}$ -nál, de ez területtől függő érték).
3. Reflexió akkor várható, ha az intervallum sebességek között legalább  $2\%$  különbség van.
4. Tetszőleges reflexió  $t_0$  idejének kétszeresénél kb. ugyanazzal a sebességgel jelentkező reflexiót többszörös reflexiónak tekintünk.



Geo 84/8-1

1. ábra. Puc.1. Fig. 1.

Ezen tulajdonságok mellett csak akkor vesszük figyelembe egy lokális maximumot, ha egy előre megadott értéknél nagyobb. Ez a küszöb erősen függ az iteratív stack iterációs számától.

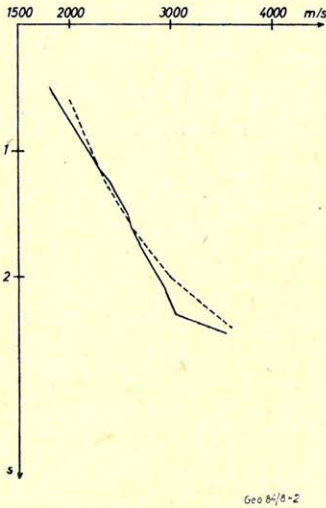
Az 1. ábra az algoritmus blokkvázlatát mutatja.

#### Példák

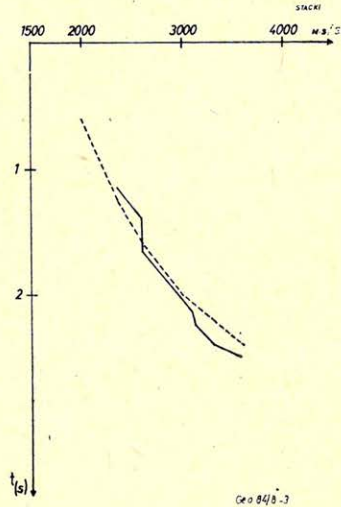
Két szelvényen végzett kísérleteket mutatunk be.

Az első szelvényen a jel-zaj viszony kisebb, mint a másodikon.

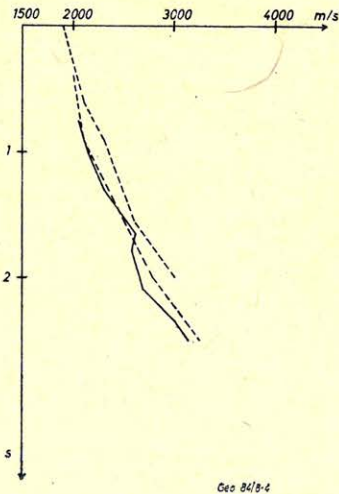
A 2. és 3. ábrán az első szelvényen meghatározott sebességfüggvények vannak felrajzolva. Szaggatott vonallal jelöltük a hagyományosan kiértékeléssel kapott sebességfüggvényt, folytonos vonallal az automatikusan meghatározottat. A 4., 5. ábrán a második szelvényen meghatározott sebességfüggvények láthatók kétféle küszöb alapján és két geofizikus értékelte ki a hagyományosan meg-



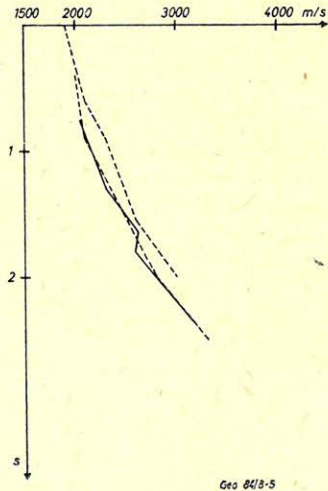
2. ábra.  
Puc. 2.  
Fig. 2.



3. ábra.  
Puc. 3.  
Fig. 3.



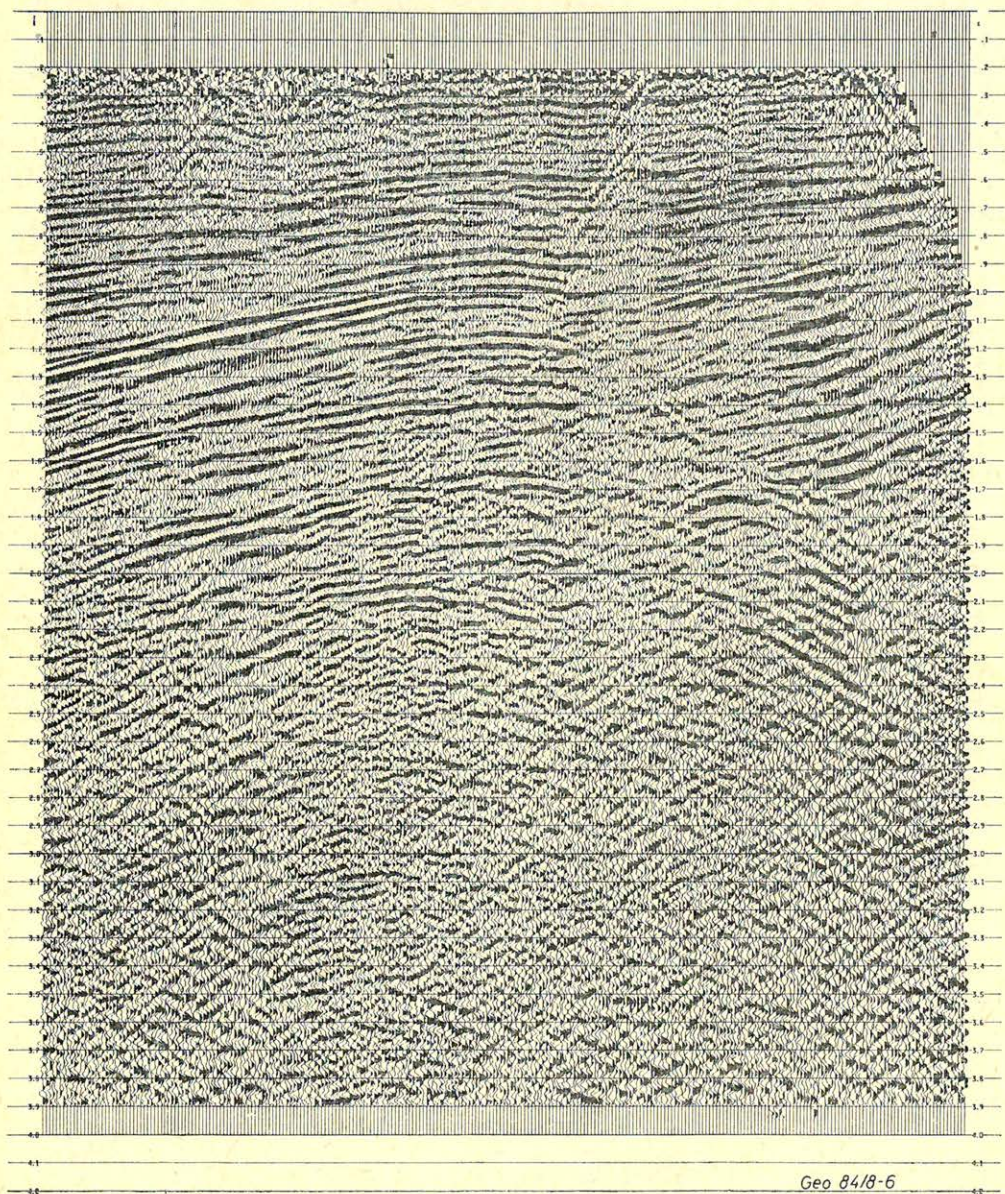
4. ábra.  
Puc. 4.  
Fig. 4.



5. ábra.  
Puc. 5.  
Fig. 5.

határozottakat. A 4. ábrán kisebb a küszöb. Ezen két ábrán is szaggatott vonal jelzi a hagyományos kiértékelést. A 6. és 7. ábrán a második szelvény található a kétféle sebességfüggvénnyel feldolgozva.

A 6. ábrán a hagyományos kiértékeléssel készített szelvény látható.

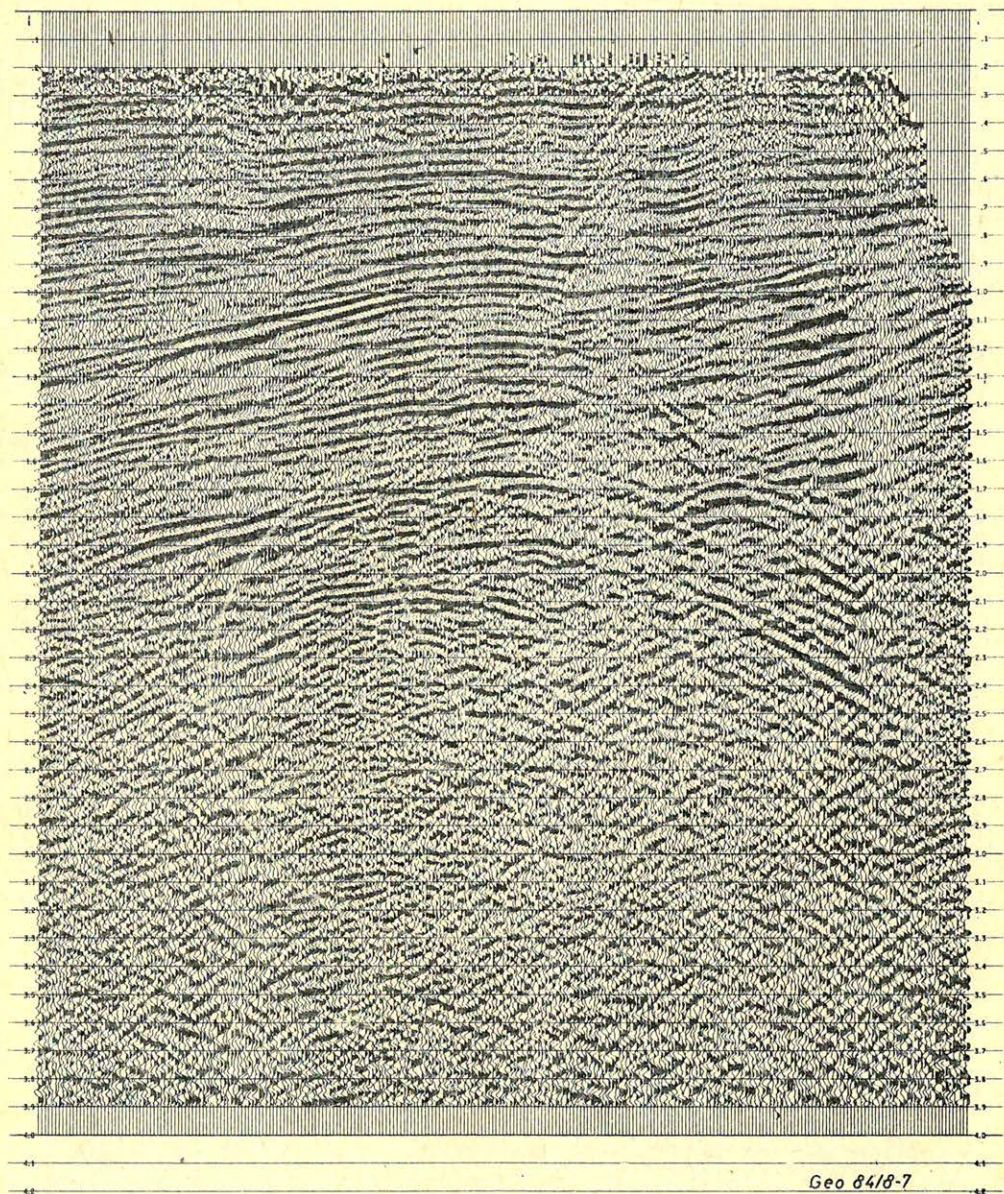


Geo 84/8-6

6. ábra.

Puc, 6.

Fig. 6.



Geo 84/8-7

7. ábra.

Рис. 7.

Fig. 7.

Az eredmények azt mutatják, hogy az eljárás elég megbízható.

A Szerző köszönetét fejezi ki az Országos Kőolaj és Gázipari Trösztnek, hogy a megbízásukból mért és feldolgozott szelvények közléséhez hozzájárultak.

## Függelék

Az iteratív stack tulajdonságairól.

A következőkben egy egyszerű esetre, amikor csak zaj van, levezetem az iteratív stack várható értékét és szórását. Ezzel érzékeltetem előnyét a hagyományos stackinggel szemben.

Tegyük fel, hogy  $N$  db csatornán csak zaj van, amely a  $+1$  és  $-1$  értékeket veheti fel és az eloszlása binomiális eloszlás. Ebben az esetben ha  $p$  körülbelül  $1/2$ , akkor 2 iteráció után a szórás kisebb, mint a hagyományos stack szórása.

Tegyük fel, hogy az  $N$  csatornán  $k$  db  $+1$ ,  $N-k$  db  $-1$  értékű adat van.

Ennek  $\binom{N}{k} p^k q^{N-k}$  a valószínűsége ( $p+q=1$ ).

A hagyományos stack értéke ebben az esetben  $\frac{2k}{N}-1$ , a várható értéke:

$$M(S) = \sum_{k=0}^N \left( \frac{2k}{N} - 1 \right) \binom{N}{k} p^k \cdot q^{N-k} = 2p - 1,$$

a szórásnégyzete:

$$D^2(S) = \sum_{k=0}^N \left( \frac{2k}{N} - 1 \right)^2 \binom{N}{k} p^k \cdot q^{N-k} - (2p-1)^2 = \frac{4pq}{N}.$$

Nézzük az iteratív stack alakulását:

$$S_{+}^{(0)} = \frac{k}{N} \quad S_{-}^{(0)} = -\frac{N-k}{N}$$

$$a_i^{(1)} = \frac{k}{N} \quad b_j^{(1)} = -\frac{N-k}{N}$$

$$S_{+}^{(1)} = \frac{k^2}{N^2} \quad S_{-}^{(1)} = -\frac{(N-k)^2}{N^2}$$

$$a_i^{(2)} = \frac{k^2}{N^2} \quad b_j^{(2)} = -\frac{(N-k)^2}{N^2}$$

$$S_{+}^{(2)} = \frac{k^3}{N^3} \quad S_{-}^{(2)} = -\frac{(N-k)^3}{N^3}$$

$$S^{(3)} = \frac{k^3 - (N-k)^3}{N^3} = \frac{2k^3 + 3N^2k - 3Nk^2 - N^3}{N^3}.$$

Ennek a várható értéke

$$\begin{aligned} M(S^{(3)}) &= \sum_{k=0}^N \frac{2k^3 + 3N^2k - 3Nk^2 - N^3}{N^3} \binom{N}{k} p^k \cdot q^{N-k} = \\ &= 2p^3 + \frac{6p^2q}{N} + 3pq - \frac{3pq}{N} - 1 + O(N^{-2}). \end{aligned}$$



A szórásnégyzete:

$$D^2(S^{(3)}) = \frac{9pq + 36(p^3q^3 - p^2q^2)}{N} + O(N^{-2}).$$

Ezek alapján  $D^2(S^{(3)}) < D^2(S)$  ha  $\frac{1}{4} < p < \frac{3}{4}$ .

Ez azt jelenti, hogy azokban az esetekben, amelyek a valóságot leírják, az iteratív stack szórása kisebb, mint a hagyományos stackinggé.

A küszöb megállapításánál figyelembe vesszük azt a közismert tényt, hogy annak a valószínűsége, hogy nincs jel és a statisztikai abszolút értéke nagyobb

mint a szórása háromszorosa, elég kicsi. Így például, ha  $p = \frac{1}{2}$  és  $N = 12$ , akkor

0.05 megfelelő érték a küszöbnek. Sokkal nagyobbra nem érdemes választani, mert akkor növekszik annak valószínűsége, hogy nem ismerünk fel egy jelet, amelyik valójában beérkezett.

#### IRODALOM

- Cochran, M. D.* 1973: Seismic signal detection using sign bit *Geophysics* v. 38 p 1042–1052  
*Helstrom, C. W.* 1968: Statistical theory of signal detection New York Pergamon Press  
*Naess, O. E.* 1979: Superstack – an iterative stacking algorithm *Geophysical Prospecting* 27 p 16–28  
*Naess, O. E. and Bruland, L.* 1981: Velocity Analysis using Iterative Stacking *Geophysical Prospecting* 29 p 1–20  
*Taner, M. T. and Koehler, F.* 1969: Velocity spectra – Digital computer derivation and applications of velocity functions *Geophysics* v. 34 p 859–881