

Optimális kvantálás additív zajszűrés esetén

ETO 621.372.54: 621.376.5: 621.391.82

Az additív zajszűrés vagy jelátlagolás elterjedten alkalmazott mérés-technikai eljárás periodikusan ismétlődő vagy triggerelhető zajos jelek mérésére. A digitális jelátlagoló berendezések arát és a jel felső határfrekvenciáját alapvetően befolyásolja a bemeneten levő A/D átalakító egység. A következőkben megvizsgáljuk az A/D átalakító paraméterei és az elérhető jel/zaj viszony növekedés közti összefüggést és a paraméterek optimális kiválasztásának feltételeit.

1. Az optimális kvantálás megfogalmazása

Analóg jelek digitális csatornán történő továbbításánál, digitális mérés- és adatfeldolgozásnál az idő- és amplitúdókvantálás segítségével úgy redukáljuk az analóg jel információtartalmát, hogy illeszkedjék a véges kapacitású digitális csatorna átviteli tulajdonságaihoz, illetve a digitális adatfeldolgozó rendszer megkívánt adatpontosságához.

Az időbeli kvantálást végző mintavételező egység az X analóg forrás kimenőjelét, az $x(t)$ sztochasztikus folyamatot egy $\{x(t_i)\}$ sorozattá alakítja át, amire teljesül, hogy

$$x(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} x(t_i) \frac{\sin(\omega_0 t - i\pi)}{\omega_0 t - i\pi}; \quad x(t) = x(iT) \quad (1)$$

ha $x(t)$ sávkorlátozott és T kielégíti a mintavételi tételt.

A továbbiakban a mintavételi tétel teljesülésével, illetve a véges mintavételi számból eredő approximációs hibával nem foglalkozunk.

Az $\{x(t_i)\}$ sorozat felfogható egy jeltér \bar{x} vektorként is. A kvantáló a jeltér folytonos koordinátáihoz (a mintavételi értékekhez) diszkrét értékeket rendel, azaz a jeltérre leképez egy diszkrét jeltérre. Ha az összes mintavételi értéket ugyanazzal az eszközzel kvantáljuk, a nemlineáris leképezést egyértelműen leírhatjuk a kvantálási szintek $\{x_i\}$ és a kimeneti értékek $\{y_i\}$ halmazának megadásával (1. ábra).

A továbbiakban az $\{x_i\}$ és $\{y_i\}$ halmazokat tekintjük a kvantáló paramétereinek.

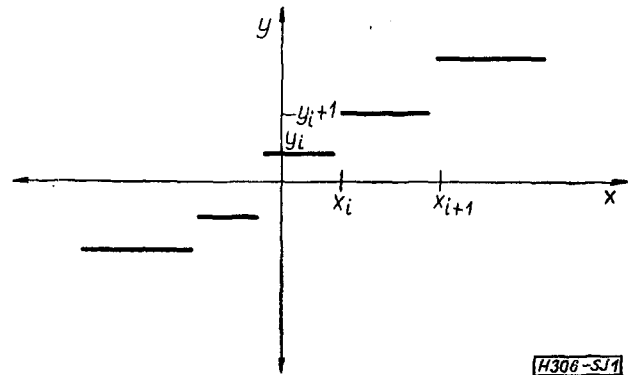
Az optimális kvantálás problémája ezek után a következőképpen fogalmazható meg:

Legyen $s(t)$ és $x(t)$ két sztochasztikus folyamat, amiket az \bar{s} és \bar{x} vektorokkal írunk le. Tekintsük az $s(t)$ folyamatot jelnek, az $x(t)$ folyamatot a mérhető adatnak. A digitális mérő- és adatfeldolgozó berendezéssel vagy a jeltől származtatható

$$\bar{u} = \mathbf{O}[\bar{s}] \quad (2)$$

vektort vagy az

$$y = \mathbf{F}[\bar{s}]$$



1. ábra

jellemzőt akarjuk meghatározni, ahol $\mathbf{O}[x]$ egy operátor és $\mathbf{F}[\bar{x}]$ egy funkcionál. Az adatfeldolgozás elvégzésére rendelkezésünkre áll az \bar{x} vektor, ami valamilyen statisztikai kapcsolatban van \bar{s} -sel. Az adatfeldolgozás során az

$$\hat{y} = \mathbf{O}[\bar{x}]$$

$$\hat{y} = \mathbf{F}[\bar{x}] \quad (3)$$

eljárásokkal \bar{y} és y becslését hozzuk létre, ahol az $\mathbf{O}[\bar{x}]$ operátor és $\mathbf{F}[\bar{x}]$ funkcionál általában nem egyezik meg $\mathbf{O}[\bar{x}]$ és $\mathbf{F}[\bar{x}]$ -szel.

Az $\mathbf{O}[\bar{x}]$ és $\mathbf{F}[\bar{x}]$ meghatározását úgy kell elvégezni, hogy \hat{y} és \hat{y} valamilyen értelemben optimális becslések legyenek [1].

Ha az adatfeldolgozást a kvantált \bar{x}_Q adatvektorokon hajtjuk végre, természetesen:

$$\begin{aligned} \hat{y}_Q &= \mathbf{O}[\bar{x}_Q] \neq \hat{y} = \mathbf{O}[\bar{x}] \\ \hat{y}_Q &= \mathbf{F}[\bar{x}_Q] \neq \hat{y} = \mathbf{F}[\bar{x}]. \end{aligned} \quad (4)$$

A kvantáló optimalizálás célja, hogy rögzített N kvantumszám mellett úgy válasszuk meg a kvantáló $\{x_i\}$ és $\{y_i\}$ paramétereit, hogy az

$$\begin{aligned} \bar{y} \text{ és } \hat{y}_Q \text{ vagy} \\ y \text{ és } \hat{y}_Q \end{aligned}$$

közötti eltérés minimális legyen. Az eltérés, illetve a kvantáló teljesítőképességének mértéke leggyakrabban

$$\epsilon_h = \mathbf{E}\{h(\bar{y} - \hat{y}_Q)\} \quad (5)$$

ahol ϵ_h = a teljesítőképesség $h(\bar{x})$ -ra vonatkoztatott mértéke

$h(\bar{x})$ = skalár-vektor súlyfüggvény

$\bar{y} - \hat{y}_Q = \bar{\Delta}_y$ = hibavektor

$\mathbf{E}[\bar{x}]$ = a súlyfüggvénnyel képzett várható érték s szerint.

Látható, hogy az (5) szerinti optimalizálás nem foglalkozik a kvantáló paramétereinek és az $O'[\bar{x}]$ operátornak, illetve $F'[\bar{x}]$ funkcionálnak együttes optimalizálásával, ami a kvantáló nemlinearitása miatt igen bonyolult lenne.

Az optimális kvantálás legjobban kidolgozott területe az

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \bar{s} \quad \text{és} \\ \bar{x} &= \bar{s} \end{aligned} \quad (6)$$

eset, azaz mikor a feladat, a jel optimális kvantálásának elvégzése. Ekkor:

$$\epsilon_n = E\{h(\bar{s} - \hat{s}_Q)\}. \quad (7)$$

A (7) eltérési mérték szerinti optimalizálást végezte el J. O., Max [2] arra az esetre, mikor a mintavételi értékek függetlenek és azonos valószínűség-sűrűségfüggvénnyel rendelkeznek.

Ha teljesülnek az

$$\begin{aligned} y &= \bar{s} \quad \text{és} \\ \bar{x} &= \bar{s} + \bar{n} \end{aligned} \quad (8)$$

összefüggések, ahol \bar{n} valamilyen additív zaj, akkor $O[\bar{x}]$ optimalizálása az optimális zajszűrés témakörhöz tartozik [1]. Abban az esetben, ha

$$\hat{y}(t_i) = \hat{s}(t_i) = O'[x(t_i)_Q] = x(t_i)_Q \quad (9)$$

tehát $y(t_i) = s(t_i)$ becslését az $\{x(t_i)\}$ adatoknak csak a t_i időpontban felvett értéke alapján végezzük el, az optimális becslést létrehozó kvantáló felfogható egy optimális, zéró memóriájú szűrőnek, aminek $\{x_i\}$, $\{y_i\}$ paramétereit az

$$\epsilon_n = E\{h(s(t_i) - x(t_i)_Q)\} \quad (10)$$

átlagos eltérés alapján optimalizáljuk. Ilyen optimalizálási problémával foglalkozott L. I. Bluestein [3] a

$$h(x) = |x| \quad (11)$$

súlyfüggvény mellett.

2. Az optimális kvantálás problémája additív zajszűrésnél

Vizsgáljuk a (8) összefüggés szerinti esetet, mikor a feladat egy $s(t)$ jel mérése, valamilyen $n(t)$ additív zajjal terhelt $x(t)$ folyamat alapján. A becslés elvégzéséhez rendelkezésünkre álló adathalmaz:

$$\{\bar{x}_i\} = \{\bar{s}_i + \bar{n}_i\}; \quad i = 1, \dots, M \quad (12)$$

A becslést, az

$$\hat{s} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \bar{x}_i \quad (13)$$

egyszerű lineáris operációval végezzük el. Az operátor tulajdonságainak vizsgálata történhet frekvenciatartománybeli leírással [4], illetve statisztikai

módszerekkel [5]. Ha az átlagolást digitális berendezéssel végezzük:

$$\hat{s}_Q = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \bar{x}_{iQ} \neq \hat{s} \quad (14)$$

és a két becslő közötti eltérés függ a kvantáló paramétereitől. Mivel a kvantáló nemlineáris elem, a frekvenciatartománybeli vizsgálatnak nincs értelme, így a továbbiakban statisztikai módszereket használunk.

Legyen a kvantáló teljesítőképességének mértéke az átlagos négyzetes eltérés:

$$\epsilon_2 = E\{(\bar{s} - \hat{s}_Q)^2\} \quad (15)$$

és optimalizáljuk a kvantáló paramétereit a (15) összefüggés szerint.

Rögzítsük a jelek statisztikai tulajdonságait az alábbi módon:

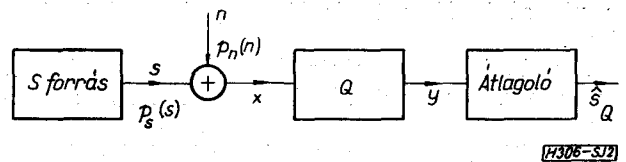
$$\text{Az } \{\bar{x}_i\} = \{\bar{s}_i + \bar{n}_i\} \text{ adathalmazban} \\ \bar{s}_i = s, \quad \bar{n}_i = n$$

az (\bar{n}_i) zajok függetlenek egymástól és az \bar{s} jeltől, és várható értékük nulla. Mivel a gyakorlatban alkalmazott additív zajszűrőknél, valamennyi mintavételi értéket ugyanaz a kvantáló kvantálja, a mintavételi értékek eloszlását egy közös $p_s(s)$ valószínűség-sűrűségfüggvénnyel jellemezve a (15) összefüggést egydimenziósra redukálhatjuk:

$$\epsilon_2 = E\{(s - \hat{s}_Q)^2\} \quad (16)$$

Legyen $p_s(s)$ folytonos, ekkor

$$\epsilon_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (s - \hat{s}_Q)^2 p_s(s) ds \quad (17)$$



2. ábra

A vizsgált rendszer modellje a fentiek alapján a 2. ábrán látható, ahol

$$x = s + n$$

$$y = x_Q$$

$$\hat{s}_Q = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_i$$

Vizsgáljuk meg részletesebben a (16) összefüggést, a 2. ábra szerinti modellre alkalmazva:

$$\epsilon_2 = E\{s^2\} - 2E\{s \cdot \hat{s}_Q\} + E\{\hat{s}_Q^2\} \quad (18)$$

ahol

$$E\{s \cdot \hat{s}_Q\} = E\left\{s \cdot \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_i\right\} = E\{s \cdot y\} \quad \text{és} \quad (19)$$

$$E\{\hat{s}_Q^2\} = E\left\{\left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_i\right]^2\right\} \quad (20)$$

tehát az átlagolások számától a (18) összefüggésnek csak a harmadik tagja függ. Mivel \hat{s}_Q az $\{y_i\}$ diszkrét valószínűségi változók összegéből nyert valószínűségi változó, és y_i -k egy adott s -nél azonos eloszlásúak és függetlenek, a becslő feltételes négyzetes középértéke, ha az átlagolások száma M :

$$\mathbf{E}\{\hat{s}_Q^2 | s\} = \mathbf{E}^2\{y | s\} + \frac{1}{M} [\mathbf{E}\{y^2 | s\} - \mathbf{E}^2\{y | s\}], \quad (21)$$

Így az átlagos négyzetes eltérés M átlagolásszám esetén:

$$\varepsilon_{2M} = \mathbf{E}\{s^2\} - 2\mathbf{E}\{sy\} + \mathbf{E}\{\mathbf{E}\{\hat{s}_Q^2 | s\}\}. \quad (22)$$

Ha az átlagolások száma 1:

$$\varepsilon_{21} = \mathbf{E}\{(s-y)^2\} = \mathbf{E}\{s^2\} - 2\mathbf{E}\{sy\} + \mathbf{E}\{y^2\}. \quad (23)$$

Ha az átlagolások száma tart a végtelenhez:

$$\varepsilon_{2H} = \lim_{M \rightarrow \infty} \varepsilon_{2M} = \mathbf{E}\{s^2\} - 2\mathbf{E}\{sy\} + \mathbf{E}\{\mathbf{E}^2\{y\}\}. \quad (24)$$

A (21), (22), (23) és (24) összefüggések egybevetéséből megállapítható, hogy tetszőleges M -hez tartozó átlagos négyzetes eltérés meghatározható ε_{21} és ε_{2H} segítségével:

$$\varepsilon_{2M} = \varepsilon_{2H} + \frac{1}{M} (\varepsilon_{21} - \varepsilon_{2H}). \quad (25)$$

Ez az összefüggés igen fontos a továbbiak szempontjából, hiszen azt jelenti, hogy elég az ε_{2H} és ε_{21} átlagos négyzetes eltéréseket vizsgálnunk.

Ha a kvantáló az 1. ábrán látható átviteli karakterisztikával rendelkezik, az $\{x_i\}$ és $\{y_i\}$ paraméterekkel a (23) és (24) összefüggésben szereplő tagok:

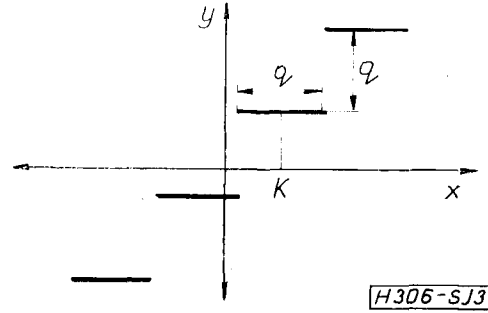
$$\begin{aligned} \mathbf{E}\{s^2\} &= \int_{-\infty}^{+\infty} s^2 p_s(s) ds \\ \mathbf{E}\{s \cdot y\} &= \int_{-\infty}^{+\infty} s \cdot p_s(s) \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N y_i \cdot \int_{x_i}^{x_{i+1}} p_n(n-s) dn \right\} ds \\ \mathbf{E}\{y^2\} &= \int_{-\infty}^{+\infty} p_s(s) \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N y_i^2 \int_{x_i}^{x_{i+1}} p_n(n-s) dn \right\} ds \\ \mathbf{E}\{\mathbf{E}^2\{y\}\} &= \int_{-\infty}^{+\infty} p_s(s) \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N y_i \cdot \int_{x_i}^{x_{i+1}} p_n(n-s) dn \right\}^2 ds \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{21} &= \int_{-\infty}^{+\infty} p_s(s) \left\{ \sum_{i=2}^{N-1} \left[s - \left(i - \frac{N+1}{2} \right) q - K \right]^2 \int_{\left(i - \frac{N}{2} \right) q + K}^{\left(i - \frac{N-1}{2} \right) q + K} p_n(n-s) dn + \right. \\ &\quad \left. + \left[s - \left(\frac{1-N}{2} \right) q - K \right]^2 \int_{-\infty}^{\left(1 - \frac{N}{2} \right) q + K} p_n(n-s) dn + \left[s - \left(\frac{N-1}{2} \right) q - K \right]^2 \int_{\left(\frac{N}{2} - 1 \right) q + K}^{+\infty} p_n(n-s) dn \right\} ds \end{aligned} \quad (29)$$

Mivel az additív zajszűrők túlnyomórészt egyenletes kvantálót tartalmaznak, további vizsgálatainkat egyenletes kvantálóra végezzük el.

3. Az egyenletes kvantáló optimális paraméterei

Legyen az egyenletes kvantáló átviteli karakterisztikája a 3. ábrán látható szokásos A/D átalakító karakterisztika.



3. ábra

A kvantálási szintek N kvantumszámmal:

$$\begin{aligned} x_i &= \left(i - \frac{2+N}{2} \right) q + K \quad i=2, \dots, N \\ x_1 &= -\infty \\ x_{N+1} &= +\infty \end{aligned} \quad (27)$$

ahol K = a kvantáló mérési tartományának középértéke,

q = a kvantumnagyság

és a mérési tartományból felfelé vagy lefelé kieső jeleket az első, illetve az utolsó kvantumba soroljuk.

A kimeneti értékek:

$$y_i = \left(i - \frac{1+N}{2} \right) q + K \quad i=1, \dots, N \quad (28)$$

tehát minden kvantumhoz (az első és az utolsó kivételével) a középértékét rendelik hozzá.

Behelyettesítve a (26) összefüggésekbe az egyenletes kvantáló paramétereit az átlagos négyzetes eltérésekre az alábbi összefüggéseket kapjuk:

$$\begin{aligned} \epsilon_{2H} = & \int_{-\infty}^{+\infty} p_s(s) \cdot \left\{ s - \sum_{i=2}^{N-1} \left[\left(i - \frac{N+1}{2} \right) q + K \right] \int_{\left(i-1-\frac{N}{2} \right) q+K}^{\left(i-\frac{N}{2} \right) q+K} p_n(n-s) \, dn - \right. \\ & \left. - \left[\left(\frac{1-N}{2} \right) q + K \right] \int_{-\infty}^{\left(1-\frac{N}{2} \right) q+K} p_n(n-s) \, dn - \left[\left(\frac{N-1}{2} \right) q + K \right] \int_{\left(\frac{N}{2}-1 \right) q+K}^{+\infty} p_n(n-s) \, dn \right\}^2 ds. \end{aligned} \quad (30)$$

A (29) összefüggésbe behelyettesítve a zajmentes esetnek megfelelő $p_n(n) = \delta(n)$ valószínűség-sűrűség-függvényt (ahol $\delta(x)$ a Dirac-operátor):

$$\begin{aligned} \epsilon_{21} = & \sum_{i=2}^{N-1} \int_{\left(i-1-\frac{N}{2} \right) q+K}^{\left(i-\frac{N}{2} \right) q+N} \left[s - \left(i - \frac{N+1}{2} \right) q - K \right]^2 p_s(s) \, ds + \int_{-\infty}^{\left(1-\frac{N}{2} \right) q+K} \left[s - \left(\frac{1-N}{2} \right) q - K \right]^2 p_s(s) \, ds + \\ & + \int_{\left(\frac{N}{2}-1 \right) q+K}^{+\infty} \left[s - \left(\frac{N-1}{2} \right) q - K \right]^2 p_s(s) \, ds \end{aligned} \quad (31)$$

a Max-féle egyenletes kvantáló átlagos négyzetes eltérést kapjuk.

A (29) és (30) összefüggésekből látszik, hogy ϵ_{21} és ϵ_{2H} rögzített N kvantumszám mellett, az egyenletes kvantáló q és K paramétereinek függvényei, a paraméterek optimalizálása tehát kétváltozós szélsőérték-keresést jelent.

Tételezzük fel, hogy a jel $p_s(s)$ és a zaj $p_n(n)$ sűrűségfüggvénye a várható értékre szimmetrikus és egy csúcsa van. Igazolható, hogy ϵ_{21} és ϵ_{2H} abszolút minimuma a

$$K = \int_{-\infty}^{+\infty} s p(s) \, ds = \mathbf{E}\{s\} \quad (32)$$

helyen található, ami azt a szemléletesen is kézenfekvő tényt jelenti, hogy a legkisebb átlagos négyzetes eltérést a kvantálási tartománynak, a jel várható értékére szimmetrikus elhelyezésével lehet elérni. A (25) összefüggés értelmében viszont az összes átlagolásszámra is teljesülnie kell a (32) feltételnek, tehát szimmetrikus sűrűségfüggvények esetén a kétváltozós szélsőérték-keresés egyváltozósra redukálható.

Egy adott N kvantumszám melletti optimális kvantumnagyságot meghatározhatjuk a (29) és (30) összefüggés q szerinti differenciálásából nyert, q -ra implicit egyenlet megoldásával vagy közvetlenül az átlagos négyzetes eltérésfüggvények paraméterezett vizsgálatával. Mivel a kvantumnagyság és az átlagos négyzetes eltérések közötti összefüggés a szélsőérték-helyének meghatározásain kívül is lényeges eredményeket ad, célszerű az utóbbi módszert választani.

A vizsgálat eredményeiből a következő kérdésekre akarunk választ kapni:

- Egy adott jel/zaj viszonynál milyen kvantumszámú kvantálót érdemes használni ahhoz, hogy egy adott additív zajsűrítő berendezéssel maximális jel/zaj viszony javulást tudjunk elérni?
- Mi az optimális kvantálási tartománybeállítás?

Ahhoz, hogy áttekinthető, jól értékelhető eredményeket kapjunk, az ϵ_{21} és ϵ_{2H} átlagos négyzetes eltéréseket egy adott jel/zaj viszonynál (J), a kvantumszám (N) és a kvantumnagyság (q) függvényében határozzuk meg. A közölt példában a zajt Gauss-eloszlásúnak és a jelet egyenletes eloszlásúnak tételezzük fel. (A kiszámítást végző számítógépprogram természetesen más jel és zaj sűrűségfüggvények vizsgálatára is alkalmas).

Az adott esetben tehát:

$$\begin{aligned} p_s(s) = & \begin{cases} \frac{1}{2S} & \text{ha } -S \leq s \leq S \\ 0 & \text{máshol.} \end{cases} \\ p_n(n) = & \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_n} \exp \left[-\frac{n^2}{2\sigma_n^2} \right] \end{aligned} \quad (33)$$

A jel/zaj viszony

$$J = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} = \frac{S^2}{3\sigma_n^2}.$$

A σ_n^2 -re normált $\epsilon'_{21}(N, q')$, és $\epsilon'_{2H}(N, q')$, felületek egyenlete a (32) feltétel behelyettesítése után:

$$\varepsilon'_{21}(N, q') = \frac{\varepsilon_{21}(N, q)}{\sigma_n^2} = \frac{1}{2S'\sqrt{2\pi}} \int_{-S'}^{+S'} \left\{ \sum_{i=2}^{N-1} \left[s' - \left(i - \frac{N+1}{2} \right) q' \right]^2 \int_{\left(i - \frac{N}{2} \right) q' - s'}^{\left(i - \frac{N}{2} \right) q' - s'} \exp - \left(\frac{n'^2}{2} \right) dn' + \right. \\ \left. + \left[s' - \left(\frac{1-N}{2} \right) q' \right]^2 \int_{-\infty}^{\left(\frac{1-N}{2} \right) q' - s'} \exp - \left(\frac{n'^2}{2} \right) dn' + \left[s' - \left(\frac{N-1}{2} \right) q' \right]^2 \int_{\left(\frac{N}{2} - 1 \right) q' - s'}^{+\infty} \exp - \left(\frac{n'^2}{2} \right) dn' \right\} ds' \quad (34)$$

$$\varepsilon'_{2H}(N, q') = \frac{\varepsilon_{2H}(N, q')}{\sigma_n^2} = \frac{1}{2S'\sqrt{2\pi}} \int_{-S'}^{+S'} \left\{ s' - \sum_{i=2}^{N-1} \left[\left(i - \frac{N+1}{2} \right) q' \right] \int_{\left(i - \frac{N}{2} \right) q' - s'}^{\left(i - \frac{N}{2} \right) q' - s'} \exp - \left(\frac{n'^2}{2} \right) dn' - \right. \\ \left. - \left[\left(\frac{1-N}{2} \right) q' \right] \int_{-\infty}^{\left(\frac{1-N}{2} \right) q' - s'} \exp - \left(\frac{n'^2}{2} \right) dn' - \left[\left(\frac{N-1}{2} \right) q' \right] \int_{\left(\frac{N}{2} - 1 \right) q' - s'}^{+\infty} \exp - \left(\frac{n'^2}{2} \right) dn' \right\} ds' \quad (35)$$

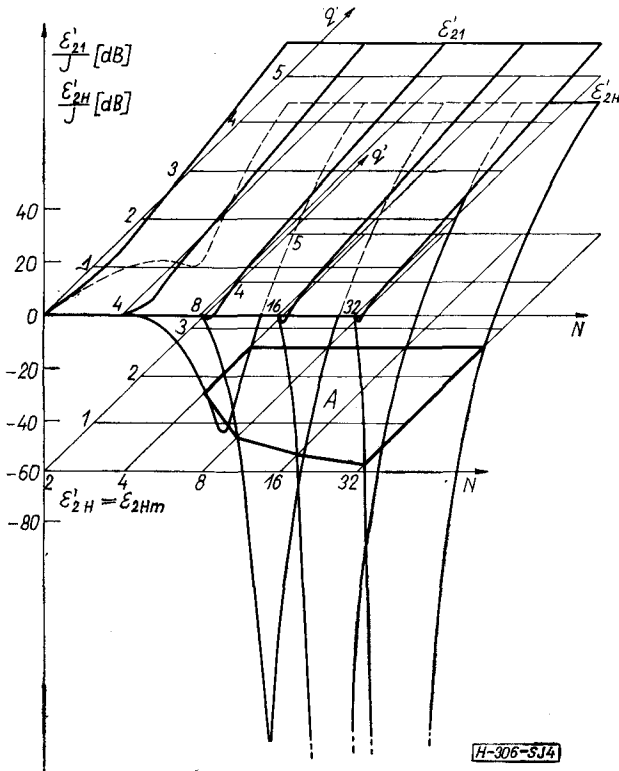
ahol rendre elvégeztük az

$$s' = \frac{s}{\sigma_n}, \quad S' = \frac{S}{\sigma_n} \\ n' = \frac{n}{\sigma_n}, \quad q' = \frac{q}{\sigma_n} \quad (36)$$

helyettesítéseket.

A (34) és (35) összefüggésekkel meghatározott felületek láthatók a 4. ábrán. $J=1$ esetben.

Egy realizált additív zajszűrő berendezéssel el-



4. ábra

érhető maximális jel/zaj viszony javulást természetesen nemcsak a kvantálásból eredő torzítás korlátozza, hanem a mintavételezési idő, a bemeneti erősítés stb. bizonytalansága is [5]. Jelöljük ε_{2Hm} -mel azt az átlagos négyzetes eltérést, amit egy adott berendezéssel, valamilyen kezdeti jel/zaj viszonyból el lehet érni, ahol ε_{2Hm} nem tartalmazza a kvantálási torzítást. (Az elérhető maximális jel/zaj viszony javulás az additív zajszűrők specifikációjához tartozik, a HP 5480 A típusú jelanalizátornál ez az érték ~ 60 dB [6].) Ha berajzoljuk a 4. ábrába az adott ε_{2Hm} -hez tartozó $\varepsilon'_{2H} = \varepsilon_{2Hm}$ síkot, közvetlenül összehasonlíthatjuk a különböző (N, q') paraméterű kvantálókkal elérhető minimális átlagos négyzetes eltérést (ε'_{2H}) az adott berendezéssel elérhető átlagos négyzetes eltéréssel (ε_{2Hm}).

Legyen feltételünk a kvantáló paramétereinek kiválasztásánál, hogy

$$\varepsilon'_{2H} \ll \varepsilon_{2Hm} \quad (37)$$

azaz a kvantáló ne korlátozza számottevően az elérhető jel/zaj viszony javulás nagyságát. Az $\varepsilon'_{2H} = \varepsilon_{2Hm}$ síkból az $\varepsilon'_{2H}(N, q')$ felülettel kimetszett A tartomány foglalja magában azokat az (N, q') paramétereket, amik mellett a (37) feltétel teljesül. (A választható (N, q') paramétereknek az A tartomány széléitől való távolsága az $\varepsilon_{2Hm} - \varepsilon'_{2H}$ különbségtől függ.)

Az ábra alapján tehát a következő kérdésekre kapunk választ:

- Mekkora a minimális kvantumszám, ami mellett a (37) feltétel teljesülhet?
- Egy adott kvantumszám mellett milyen határok között változtathatjuk a kvantum nagyságot, azaz milyen érzékeny az átlagos négyzetes eltérés a méréshatár beállítására!

A vizsgálat különböző jel/zaj viszonyok és különböző $p_s(s)$ sűrűségfüggvények melletti elvégzésével átfogó képet nyerhetünk az additív zajszűrőkben alkalmazott kvantálók tulajdonságairól.

I R O D A L O M

- [1] *Athanasios Papoulis*: Probability Random Variables and Stochastic Processes. New York: McGraw-Hill, 1965.
- [2] *Joel Max*: Quantizing for Minimum Distortion. IRE Trans. Inform. Theory, vol. IT—6, March 1960, pp. 7—12.
- [3] *L. I. Bluestin*: Asymptotically Optimum Quantizers and Optimum Analog to Digital Converters for Continuous Signals. IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT—10, April 1964, pp. 242—246.
- [4] *C. R. Trimble*: What is Signal Averaging? Hewlett-Packard Journal, April 1968, pp. 2—7.
- [5] *J. Bodo*: Response Averaging Methods their Effectiveness and Limitations. Proceedings of the 1961 Data Acquisition and Processing in Biology and Medicine Rochester Conference Vol. 2. Pergamon Press.
- [6] *Hewlett-Packard* 1970 Electronics for Measurement Analysis Computation pp. 42—43.
-