

MTA SZTAKI, POTE Élettani Intézet

Kiváltott potenciálok meghatározása utólagos
jelszűrés segítségével

Csáki Péter, Copf János

A kiváltott potenciálok számítógépes analizisében eddigi munkánk során a regisztrátumok statisztikai leírásával, összehasonlításával és csoportképzési módszerekkel foglalkoztunk. Ezekről a munkákról többek között az előző évi Kollokviumon is beszámoltunk /Copf és Csáki, 1972/. Ott részben azzal a kérdéssel is foglalkoztunk, hogy a szokásos átlagolási technikát milyen mértékben szükséges módosítani annak érdekében, hogy a valódi jelre becslést kaphassunk a zaj által torzított regisztrátumokból.

Ebben a problémakörben magát a kiválasztott választ jelnek, a háttéraktivitást zajnak tekinthetjük. A jel meghatározása, illetve becslése nem egyszerű probléma, mivel a zaj-folyamat matematikai leírására nem állnak rendelkezésre az összes szükséges ismeretek. A szokásos átlagolási technika a jel-zaj viszony javításának egyik lehetséges /és sokszor bevált/ módja. Ehhez azonban szükséges, hogy a kiváltott jelsorozat aránylag hosszú ideig homogén legyen, és pedig minél nagyobb a zaj szórása, annál hosszabb ideig ui. az átlagpotenciálban a jel-zaj viszony a mintanagysággal egyenesen, a zaj-varianciával fordítva arányos:

$$\text{jel-zaj viszony} = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} N.$$

A kiváltások száma azonban nem növelhető tetszőleges mértékben, hiszen a jelalak követheti a vizsgált biológiai rendszer esetleges változását.

Rövid sorozatokban a jelalak átlagolással kapott becslésének javítására többek között a kommunikáció-elméletben ismert szűrési /filterezési/ eljárások is alkalmasak. Ezek azzal növelik a jel-zaj viszonyt, hogy a jelet különböző módszerek segítségével igyekeznek kiszűrni a háttérzajból.

A kiváltott potenciálok problémakörben a szűrési módszerek alkalmazását először Walter /1969/ vetette fel. Az általa javasolt eljárást Nogava és társai /1973/ alkalmazták vizuális ingerekkel kiváltott válaszokra. Szükségesnek tartottuk, hogy ezek hatékonyságát saját vizsgálatainkra is ellenőrizzük. Ebből a célból a számítógépes feldolgozás alapját képező program-csomagunkat kibővitettük filterezési eljárással számított jelbecslést meghatározó programmal.

Röviden ismertetjük az alkalmazott módszer lényegét. A kommunikáció a kapott regisztrátumot, mely additív jelből és zajból tevődik össze, vagyis

$$s(t) + n(t)$$

alaku, egy olyan lineáris szűrőn visszük át, amelynek rendszerfüggvénye

$$H(\omega) = \frac{S_s(\omega)}{S_s(\omega) + S_n(\omega)} \quad |1|$$

ahol $S_s(\omega)$ a jel spektruma, $S_n(\omega)$ pedig a zaj spektruma. Ez a módszer már a kérdéses folyamat egyetlen realizációja esetén is alkalmazható, amennyiben az S_s és S_n spektrumok ismeretesek, vagy legalábbis valamilyen modell alapján feltételezhetők. Ilyen esetben a módszer a realizáló olyan lineáris függvényét adja meg, amely a jelnek legkisebb négyzetes becslését szolgáltatja /ld. pl. Davenport, 1958/.

A kiváltott potenciálok esetében az említett jel-és zaj spektrumokat nem ismerjük, de a többszöri kiváltás révén lehetőségünk van kiszámításukra.

Legyenek az egyes kiváltások /melyek száma N / során kapott realizációk:

$$x_i(t) = s(t) + n_i(t) \quad i=1, \dots, N$$

Feltesszük, hogy az $n_i(t)$ zajok függetlenek egymástól és az $s(t)$ jeltől. Ekkor egyrészt

$$S_{x_i} = S_s + S_{n_i}$$

folytán a spektrumok átlagolásával

$$\bar{S}_x = S_s + \bar{S}_n, \quad |2|$$

másrészt az

$$\bar{x}(t) = s(t) + \bar{n}(t)$$

átlag-realizáció spektruma

$$S_{\bar{x}} = S_s + S_{\bar{n}}.$$

Mivel a feltételek értelmében $S_{\bar{n}} = \bar{S}_N$, ezért

$$S_{\bar{x}} = S_s + \frac{\bar{S}_n}{N}. \quad |3|$$

A |2| és |3| formulákból \bar{S}_n -t kiküszöbölhetjük és S_s -et kifejezhetjük:

$$S_s = \frac{N S_x^- - \bar{S}_x}{N - 1} \quad |4|$$

A mi esetünkben tehát a kívánt lineáris szűrő rendszerfüggvénye

$$H = \frac{N S_x^- - \bar{S}_x}{(N-1) S_x^-} \quad |5|$$

Az |5| formula segítségével a H rendszerfüggvényt megbecsülhetjük, t.i. \bar{S}_x és S_x^- becslései az N regisztrátum alapján megadhatók:

S_x^- becslése az átlag-regisztrátum spektrumának becslése,

\bar{S}_x becslése az egyedi regisztrátumok spektrum-becslésének átlaga.

A |4| formulából látható, hogy itt lényeges, hogy $N > 1$ legyen, t.i. $N=1$ esetén a képletnek nincs értelme. Az is látható, hogy $N \rightarrow \infty$ esetén $S_x^- \rightarrow S_s$.

Tehát ha N nagy, az |5| rendszerfüggvény értéke közel van 1-hez és így lényeges javítást nem ad az átlaghoz képest. Ezzel szemben kis N értékre lényegesen jobb jel-becslést kaphatunk a szűrés segítségével, mint az átlag.

Az $s(t)$ jelnek a szűrés alapján kapható $\hat{s}(t)$ becslését az |5| rendszerfüggvény segítségével Fourier-transzformáció útján számíthatjuk /Davenport, Root. 1958/.

A következőkben összehasonlítjuk az átlaggal, valamint a Wiener-filterrel kapott jelbecslés varianciáit, a hibavarianciákat és a jel-zaj viszonyokat.

Az átlag varianciája:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (NS_s(\omega) + \bar{S}_n(\omega)) d\omega}{N} = \sigma_s^2 + \frac{\sigma_n^2}{N}, \quad |6|$$

a hibavariancia:

$$\frac{\sigma_n^2}{N} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \bar{S}_n(\omega) d\omega}{N}. \quad |7|$$

Az $\hat{s}(t)$ becslés varianciája:

$$\sigma_{\hat{s}}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{NS_s^2(\omega)}{NS_s(\omega) + \bar{S}_n(\omega)} d\omega = \sigma_s^2 - \sigma_e^2, \quad |8|$$

a hibavariancia:

$$N \cdot \frac{\int_{-\infty}^{\infty} H^2(\omega) S_s(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} H^2(\omega) \bar{S}_n(\omega) d\omega} d\omega. \quad |9|$$

Az átlag jel-zaj viszonya: ami egyuttal a

Wiener-filter bemeneti jel-zaj viszonya is. A kiemeneti jel-zaj viszony:

$$N \cdot \frac{\int_{-\infty}^{\infty} H^2(\omega) S_s(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} H^2(\omega) \bar{S}_n(\omega) d\omega} \quad |10|$$

Megvizsgáltuk, hogy konkrét esetekben a varianciák és a jel-zaj viszonyok milyen mértékben javíthatók a Wiener-féle szűrővel. A számításokat koppanó hangingerrel macskán kiváltott potenciálsorozaton /Karmos Gy. anyaga/ végeztük. Az S_s, \bar{S}_n spektrumokat, illetve a H rendszerfüggvényt $N=32$

potenciál alapján becsültük. Ezen becslések segítségével a $|6| - |10|$ formulák alapján a varianciákat és jel-zaj viszonyokat N függvényében vizsgáltuk.

Az alábbi táblázat a kapott eredményeket mutatja néhány N értékre.

N	σ_s^2 / σ_x^2	$N\sigma_e^2 / \sigma_n^2$	átlag	szűrés	jel-zaj viszonyok hányadosa
			jel - zaj viszonya		
2	0,50	0,49	1,9	3,5	1,8
4	0,67	0,59	3,9	6,4	1,6
8	0,81	0,70	7,8	11,7	1,5
16	0,89	0,77	15,6	21,4	1,4
32	0,94	0,85	31,1	39,5	1,3
64	0,97	0,90	62,2	73,4	1,2

Látható, hogy kis N értékek mellett lényegesen jobb eredményt kapunk a filter-módszer segítségével.

I r o d a l o m

- Copf J., Csáki P., Kellényi L.: Kiváltott válaszok számítógépes elemzése. I. 3. Neumann Kollokvium, Szeged 1972.
- Copf J., Csáki P.: Kiváltott válaszok számítógépes elemzése. II. MÉT Vándorgyűlés, Pécs 1973.
- W.D.Davenport, W.L.Root: An introduction to the theory of random signals and noise.
McGraw Hill, 1958.
- Karmos Gy., Martin J., Copf J.: Jel-zaj viszony értékének jelentősége agyi kiváltott potenciálsorozatok számítógépes értékelésénél. Mérés és Automatika 19, /1971/
- T.Nogava et al.: Visual evoked potentials estimated by Wiener Filtering. The 8th Int.Congr. of EEG. 1973.
- D.O.Walter: A posteriori "Wiener Filtering" of average evoked responses.
Electroenceph.clin.Neurophysiol. Suppl. 27, 1969.