

SZOTE Élettani Intézet és Központi Kutató Laboratórium
Számítástechnikai Központ

Különböző matematikai eljárások alkalmazása állatkísérletekben nyert
EEG görbék kiértékelésében

Török Rozália, Benedek György, Szekeres László és Győri István

A Szegedi Orvostudományi Egyetem Élettani Intézetében évek óta foglalkozunk kísérleti állatok magatartását jellemző elektromos paraméterek regisztrálásával és feldolgozásával. A feldolgozás egy része a SZOTE Számítástechnikai Központjában 1972 decemberében felszerelt CII-10010 típusú számítógépen a számítóközpont munkatársainak bevonásával történik.

Az agyi elektromos aktivitás analizálása felfedezése pillanatától kezdve igen komoly nehézségek elé állította a kutatókat. Az EEG görbék hátterében meghúzódó bonyolult fiziológiai jelenségek, valamint a görbe sztochasztikus volta ráirányította a figyelmet a matematikai módszerek alkalmazásának szükségességére. Így pl. Brazier és Casby 1952-ben, majd Brazier és Barlow 1956-ban alkalmazta az autokorreláció és keresztkorreláció számítást ezeknek a görbéknek a kiértékelésére.

Az alkalmazott módszerek majdnem teljes egészükben vagy a hisztogram-módszerek vagy a spektrálanalízis módszerei közé sorolhatók. A hisztogram-módszerek előnye, hogy a spektrálanalízis módszereivel szemben lényegesen kevesebb számítási időt igényelnek, ugyanakkor hátrány, hogy az EEG-nek csak az alapvető komponenseire vonatkozóan adnak információkat. Ugy véljük, hogy csupán az alvás stádiumai jól meghatározhatók az amplitudóértékek statisztikai jellemzőivel, valamint az izomtevékenység és a szemmozgások értékelésével. Viszont ahhoz, hogy az egyes stádiumokon belüli tendenciákat, az alvás mélyülését, vagy felszínesebbé válását felismerjük, szükség van a teljesítménysűrűség-spektrumok meghatározására.

A teljesítménysűrűség-spektrum meghatározása definíció szerint

a jelből számolt autokorrelogram Fourier transzformációjával történik. Ennek az utnak a követése akkor hasznos, amikor az autokorrelogram által szolgáltatott információra szükségünk van a jel analizálása során. Működ van azonban arra is, hogy teljesítménysűrűség-spektrumot kapjunk közvetlenül az EEG jelből. A teljesítménysűrűség-spektrum, mint analizáló módszer csak akkor használható, ha a jel rendelkezik bizonyos karakterisztikus tulajdonságokkal, pl. stacionaritás, ezt azonban rövid időtartamu (max. 1 perces) EEG regisztrátumokról általában feltehetjük.

Annak ellenére, hogy már régen felismerték az EEG görbék kutatásában a teljesítménysűrűség-spektrumok jelentőségét, a frekvencia-analízis szélesebb körű alkalmazása technikai nehézségek miatt korábban nem terjedt el. A problémák feloldását jelentette a rögzített analóg jelek digitalizálási lehetőségének megteremtése, majd a Fourier transzformáció gyorsított módszerének kidolgozása 1967-ben a Cooley és Tukey által kifejlesztett ún. Fast Fourier transzformációval az időfüggvények spektrálanalízise új algoritmikus alapra helyeződött. Az eljárás számítógépre alkalmasabb formáját 1969-ben Bergland adta meg. A Bergland által leírt algoritmus alapján kidolgozott program segítségével alvás közben felvett EEG jelek autokorrelogramjaiból készítettünk teljesítménysűrűség-spektrumokat. Ezzel a feldolgozás során a hagyományos módszernél tetemes időfelhasználás nagymértékben csökkent.

A Fourier transzformáció gyorsított formája azonban csak abban az esetben használható, ha teljesülnek a következő feltételek:

1. $M = N = 2^n$ $n > 0$ egész
2. $\omega_k = \frac{2\pi k}{N \cdot \Delta t}$ $k = 0, 1, \dots, N-1$

Az 1. feltétel nem okozott problémát, bár meg kell jegyezni, hogy ha a mérési pontok M száma nagy, akkor a program a teljesítménysűrűség-spektrumot is M értéknél határozza meg, és ezek egy része már nem is az EEG frekvenciatartományába tartozik.

A 2. feltétel azt mutatja, hogy a frekvenciatartomány felbontása egyenletes, és a lépésköz az $N \Delta t$ szorzattal rögzített. Sűrűbb bontás csak a szorzat értékének növelésével érhető el, ennek azonban korlátai vannak.

Másrészt bizonyos esetekben, pl. alvás közben felvett EEG jelek feldolgozásánál a domináns alacsony frekvenciaértékeknel (1-5 Hz között) igen finom felbontást szeretnénk, nagyobb frekvenciáknál pedig durvább felbontás is elegendő volna. Ezt a frekvenciatartomány logaritmikus lépésközzel való beosztásával elérhetnénk, de a gyors Fourier transzformációnál erre nincs lehetőség.

A memóriaigény a hagyományos és a gyors Fourier transzformáció esetén lényegében azonos, ugyanis az összes mérési pontot egyidejűleg mindkét módszernél tárolni kell. Ezért olyan eljárást kerestünk, amely a rendelkezésünkre álló kis memóriakapacitású számítógépnél előnyösen alkalmazható, és lehetővé teszi hosszabb EEG jelek kiértékelését is.

1973-ban Ahmed, Natarajan és Rao olyan módszert közölt, amelynél a teljesítménysűrűség-spektrum meghatározásához nem szükséges a memóriában tárolni az időfüggvény összes elemét.

A módszer lényege a következő:

Legyenek $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ azok a frekvenciaértékek, amelyeknél a teljesítménysűrűség-spektrumot meg akarjuk határozni. Legyen ω_k egy tetszőleges ezen értékek közül. Az $x(t)$ függvény Fourier transzformáltja $F_x(\omega_k)$ következő integrállal határozható meg:

$$F_x(\omega_k) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega_k t} dt$$

Amennyiben az $x(t)$ bizonyos időközönként vett minták alapján adott, a transzformált függvény értékeit valamilyen integrálközelítő eljárással határozhatjuk meg. Az egyszerű irásmód kedvéért használjuk a téglányösszeges közelítést, ekkor $F_x(\omega_k)$ -ra a következő adódik:

$$F_x(\omega_k) = \Delta t \sum_{m=0}^{N-1} x e^{-im\omega_k \Delta t} .$$

Írjuk ezt a következő alakba:

$$F_x(\omega_k) = \Delta t [1, -i] \begin{bmatrix} R_x(\omega_k) \\ I_x(\omega_k) \end{bmatrix} .$$

Bevezetjük a következő 2x2-es mátrixot :

$$[L(\omega_k)] = \begin{bmatrix} \cos \omega_k \Delta t & -\sin \omega_k \Delta t \\ \sin \omega_k \Delta t & \cos \omega_k \Delta t \end{bmatrix} ,$$

felhasználva ennek azt a tulajdonságát, hogy m. hatványának meghatározása úgy történik, hogy a benne szereplő sin és cos függvények argumentumát m-mel szorozzuk, $F_x(\omega_k)$ -ra a következő adódik :

$$F_x(\omega_k) = \Delta t [1, -i] \sum_{m=0}^{N-1} [L(\omega)]^m \underline{b} x_m , \quad \underline{b} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Tekintsük a következő rekurzív kifejezést:

$$Z(\omega_k, s) = [L(\omega_k)] Z(\omega_k, s-1) + \underline{b} x_s \quad s = 0 \ 1 \ \dots \ N-1$$

$$Z(\omega_k, -1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Belátható, hogy ez olyan ω_k -től függő értéket szolgáltat, amelyből az $F_x(\omega_k)$ egyszerű transzformációval határozható meg.

A memóriaszükséglet a hagyományos módszerhez és a gyors Fourier transzformációhoz viszonyítva lényegesen csökken. Itt ugyanis csak a különböző ω_k frekvenciákhoz tartozó $[L(\omega_k)]$ mátrixokat, a $Z(\omega_k, s)$ közelítő értékét és az éppen aktuális mérési pontot kell tárolni. Mivel a módszer gyors működésű számítógép esetén on-line feldolgozást tesz lehetővé, az irodalomban az on-line Fourier transzformáció elnevezést használják.

A módszer leírásából látható, hogy nincs megkötés a mérési pontok és az ω_k frekvenciák számára vonatkozóan, és a frekvenciatartomány felosztása is tetszőleges lehet. Ezért azokban az esetekben, amikor a gyors Fourier transzformáció feltételei szigorúaknak bizonyulnak, célszerű ezt a módszert használni. Időigénye azonos paraméterek esetén nagyobb a gyors Fourier transzformáció időigényeknél, azonban a hagyományos Fourier transzformáció időszükségletének kb. a fele.

Első ábránkon egy - az ún. on-line Fourier transzformációval meghatározott teljesítménysűrűség-spektrumot mutatunk be. Ezt egy lassu hullámu alvás stádiumában lévő nyul 1 perces EEG jeléből készített autokorrelogramból határoztuk meg. Az abszcisszán a frekvenciákat tüntettük fel Hz-ben. Az 1-30 Hz-es frekvenciatartományt logaritmikus lépésközzel 100 részre osztottuk. A magasabb frekvenciákon a teljesítmény megközelítőleg 0, csak az alacsony frekvenciákon van számottevő teljesítmény.

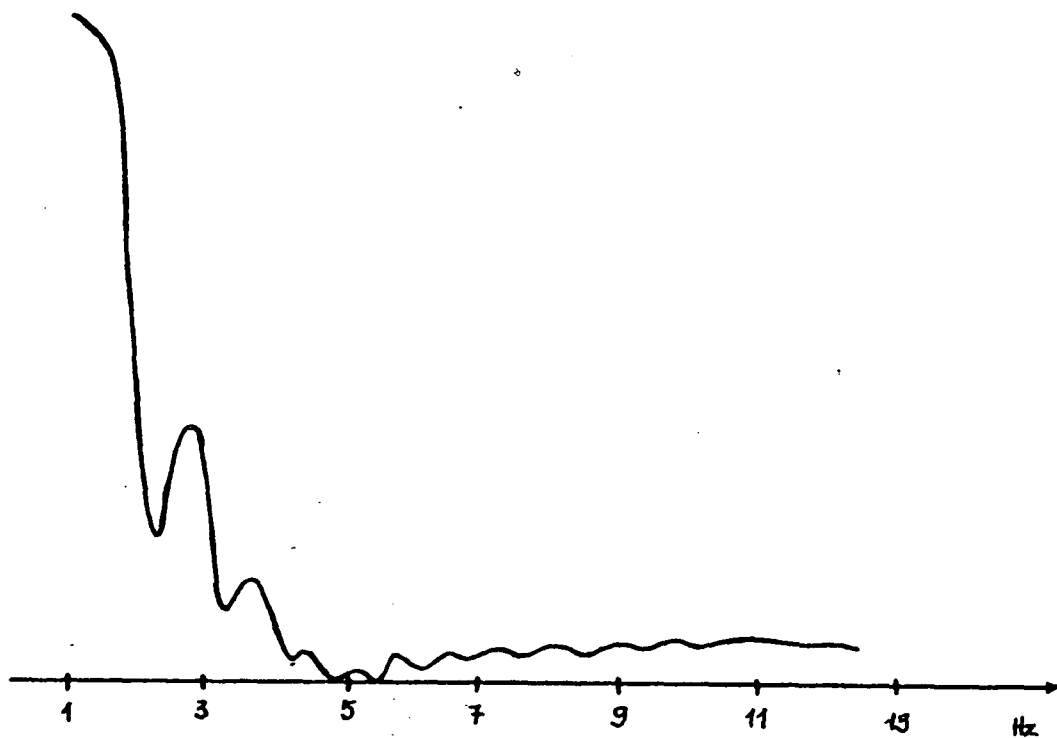
Második ábránk ugyanezen autokorrelogramból a gyors Fourier transzformáció módszerével meghatározott teljesítménysűrűség-spektrumot mutatja. Mivel az autokorrelogram 128 pontból állt, és a mintavételi idő 10 msec volt, a frekvenciatartományban a lépésköz megközelítőleg 0,78.

Egymásra helyezve a két ábrát, látható, hogy ez a görbe jól követi az előző görbe alakját a magas frekvenciákon, az 1-5 Hz-es szakaszon azonban lényegesen kevesebb információt ad.

Végül a módszerek elemzése mellett fontolóra kell vennünk, hogy mennyiben tudjuk hasznosítani a nyert eredményeket EEG analizáló rendszerünkben.

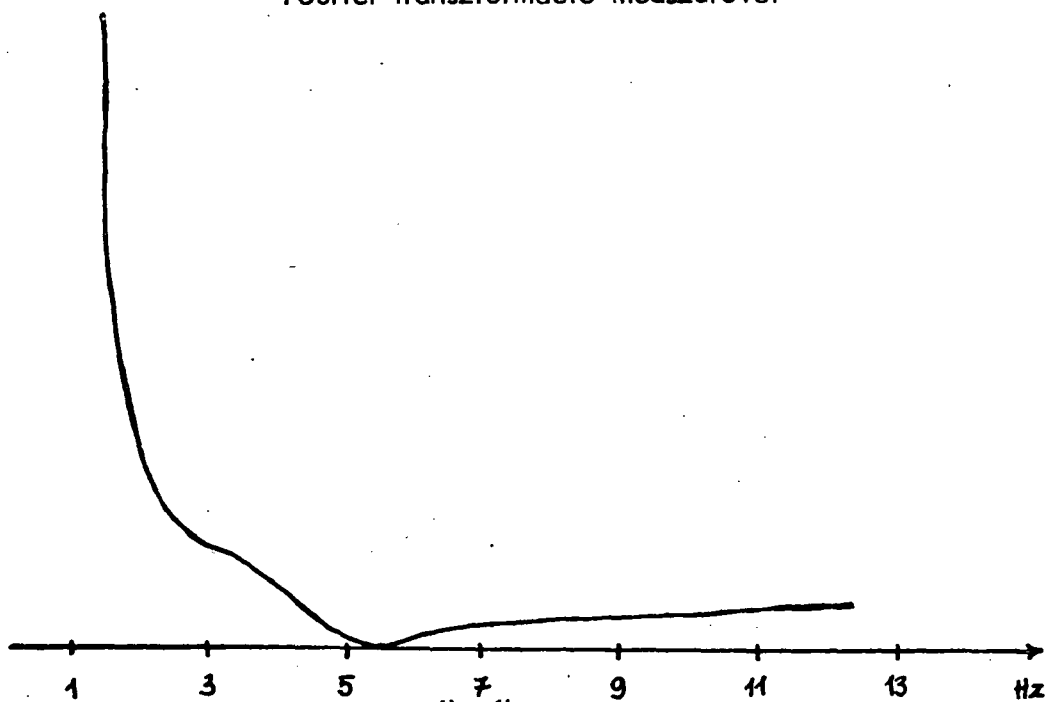
Nyilvánvaló, hogy a jelenlegi feltételek mellett nem lehet az EEG lefutásával egyidőben minden 1 perces szakasról teljesítménysűrűség-spektrumot készíteni.

Célunk, hogy az EEG frekvenciaspektrumának analizálásával olyan következtetéseket nyerjünk, melyek tulmutatnak az alvás-ébrenlét ciklus pusztá stádiumbeosztásán. Azt reméljük, hogy így sikerül tendenciákat meghatározni az egyes stádiumokon belül, és olyan információt nyerni, mely arra mutat, hogy az adott stádiumot egy meghatározott időn belül mely másik stádium váltja fel.



1. ábra

Teljesítménysűrűség-spektrum autokorrelogramból az "on-line" Fourier transzformáció módszerével



2. ábra

Teljesítménysűrűség-spektrum autokorrelogramból a gyors Fourier transzformáció (FFT) módszerével