

## Számítástechnikai Koordinációs Intézet

### Programrendszer sztochasztikus folyamatok vizsgálatára

Czeplédi Péter

Az elektronikus számítógépek elterjedésével egyre szélesebb körben nyílik lehetőség véletlenszerű, vagy annak tekinthető folyamatok kvantitatív leírására. A kísérleti orvostudományban ilyen alkalmazási terület kínálkozik EEG és EMG jelek kiértékelése során, ahol a görbealakok jellemzésére zárt alakú matematikai kifejezések nem alkalmasak, s ezért a matematikai statisztika módszereihez kell folyamodni.

A programrendszer felállításának szükségessége az Erfurti Orvosi Akadémia ERG laboratóriuma és az Ilmenai Műszaki Egyetem Orvosi Technika és Bionika tanszékének az objektív perimetria kifejlesztésére irányuló, több éves együttműködése keretében merült fel, célja az emberi EEG és vizuálisan kiváltott potenciálok vizsgálatának megkönnyítése volt. Az alkalmazási terület tehát már a rendszerterv kialakításakor adott volt, ugyanakkor a követelmények elég tágak voltak ahhoz, hogy olyan általánosan használható programcsomag kerüljön kialakításra, amely mentes az adott kísérleti körülményekből származó korlátozásoktól. E két szempont figyelembe vételével a programok először az Ilmenai Műszaki Egyetem R-300 típusú számítógépére készültek el ALGOL-60 programozási nyelven, s az első számítógépekre is itt került sor. A tervezett átfogó analízishez szükséges számítások nagy száma és a becsült gépidőigény nagysága miatt a programot át kellett tenni a VEB Leuna Werke "Walter Ulbricht" vegyikombinát CDC 3300 típusú számítógépére, ahol a programrendszer tetszőleges eredetű sztochasztikus folyamatok vizsgálatára alkalmas formában készült el az USASI FORTRAN MASTER felhasználásával.

Az első gyakorlati alkalmazást az adott kísérleti körülményeknek megfelelően az Erfurti Orvosi Akadémia ERG laboratóriumában két páciensről nyert megfigyelések analízise jelentette, amelynek célja az alábbi problémák tisztázása volt:

- mennyiben tesz eleget az EEG azoknak a feltételeknek, melyek bizonyos eljárások alapjául szolgálnak (stacionaritás, ergodicitás),
- milyen eredményt szolgáltat az adatelőkészítés vizuálisan kiváltott potenciálok visszanyerésében, s mely módszerekkel lehetséges a hasznos jel kiszűrésének hatékonyságát javítani,
- azonosíthatók-e az EEG-ben a kiváltott potenciálok által létrehozott statisztikai változások, illetve mennyiben alkalmasak kiváltott potenciál jelenlétének az averaging-eljárás nélküli detektálására.

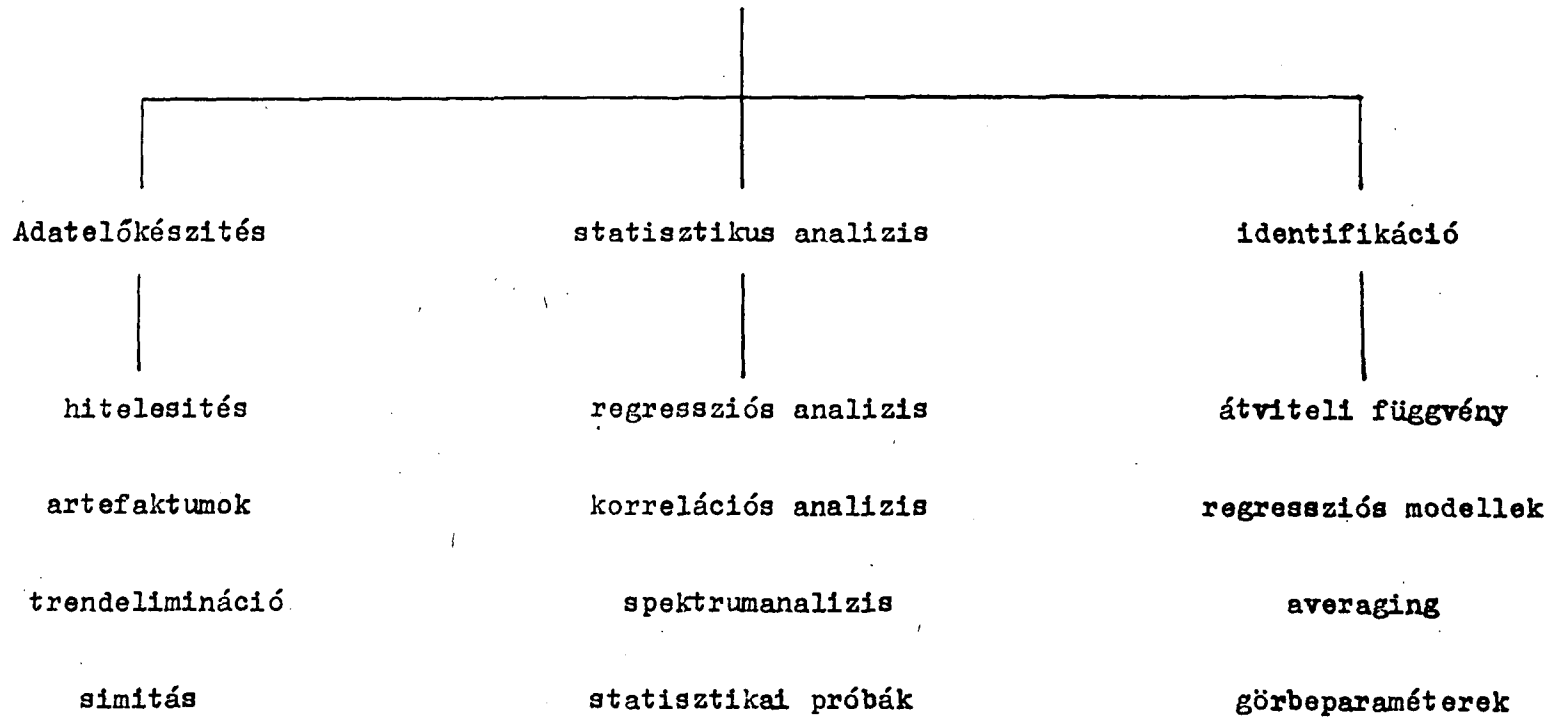
E kérdésekre nem alapvetően új módszerekkel, hanem ismert eljárások ésszerű alkalmazásával igyekeztünk választ adni. A feladat kidolgozásához az alábbi adatelőkészítő és analízáló programok álltak rendelkezésre (1. ábra).

A tulajdonképpeni számítások megkezdése előtt még gondos kísérlettervezés esetében is szükség van a feldolgozandó adatok előkészítésére, hogy a hibás megfigyelések téves következtetésekhez ne vezessenek. Ebben a fázisban gyakran van szükség a mért értékek hitelesítésére, artefaktumok felismerésére és kiküszöbölésére. Abban az esetben, ha a nullaszint változása nem minősül információhordozó paraméternek, vagy kifejezetten külső zavarás eredménye, trendeliminációt kell alkalmazni. Mind a zajos háttérből visszanyert, mind a mérési pontatlanság miatt torzított jelek esetében kívánatos azok tisztázása, melyre simítóprogram használható fel.

A rendszer tulnyomó részét természetesen az analízáló programok képezik, amelyek két csoportra oszthatók. Az első csoport az alábbi statisztikai jellemzők meghatározására alkalmas:

- átlagérték és hibája
- szórás, variancia
- medián
- minimum- és maximumértékek
- lineáris korrelációs koefficiens
- hisztogram (normáleloszlás esetére annak paraméteres jellemzésével)

Programrendszer stohasztikus folyamatok vizsgálatára



1. ábra

- nullátmenet-eloszlás
- autokovariancia- és autokorrelációs függvény hibabecsléssel
- keresztkovariancia- és keresztkorrelációs függvény hibabecsléssel
- spektrális autoteljesítményspektrum
- spektrális keresztteljesítményspektrum
- kovarianciafüggvény
- Fourier - transzformált
- inverz Fourier - transzformált.

A transzformációk elvégzésére a gyors Fourier - transzformáció egy redukált memóriaigényű változata (1) szolgál. A spektrum konzisztens becslésére a számított periodogramot Hamming-szűrő (2) módosítja. Összehasonlító analízis céljaira az alábbi statisztikai próbák állnak rendelkezésre :

- $\bar{U}$ -próba az átlagértékek vizsgálatára
- F-próba a varianciák vizsgálatára
- $\chi^2$  illeszkedésvizsgálat normáeloszlás ellenőrzésére.

Amennyiben a megfigyelések modellezési, vagy rendszeridentifikációs céllal történnek, kiszámíthatók

- a modellparaméterek a lineáris, polinomiális, vagy exponenciális regresszió segítségével
- az átviteli függvény a megfigyelések spektrumanalizise révén.

A zajos háttérből frekvenciaszűréssel el nem különíthető jelek visszanyerésére az

- averaging-eljárás, valamint
- annak egy, a lineáris korrelációs koefficiens felhasználásával továbbfejlesztett változata

használható fel, s ezek a programok alkotják az analizáló programok másik csoportját. Az eredmények interpretálását megkönnyíti, hogy a

kivánt függvények képe sornyomtatón ábrázolható.

A felsorolt számítási módszerek futásra kész gépi program formájában könyvtárként használt, archivált adathordozón kerülnek tárolásra. Az egyes eljárások betöltését és indítását egy keretprogram vezérelte, melyet a kért programok azonosítóinak megadásával lehetett működtetni. Háttérmemóriaként az adatok tárolásának költsége miatt mágnesszalagos periféria szolgált.

A két unipoláris és egy bipoláris csatornán párhuzamosan rögzített emberi EEG regisztrátumok részben nyugalmi állapotban, részben a retina bizonyos pontjainak alacsony intenzitású, adott frekvenciájú fényimpulzusokkal történt ingerlése során keletkeztek. Az aluláteresztő szűrés után analóg-digitál konvertálásnak alávetett megfigyelések a programrendszer igényeinek megfelelően bináris tárkivonat formájában digitális mágnesszalagon kerültek tárolásra és feldolgozásra.

Az ergodicitás vizsgálatánál az a tétel szolgált kiindulásként, miszerint minden központos, stacioner, normáleloszlású sztochasztikus folyamat, melynek autokorrelációs függvénye abszolút integrálható, egyben ergodik is. Mivel az EEG-ben előforduló trend a mérés jellegéből eredően nem információhordozó paraméter, annak eliminálása nemcsak a megfigyelés objektivitását növeli, hanem központos folyamatot is eredményez. A második követelmény, a tágabb értelemben vett stacionaritás csak akkor áll fenn, ha a folyamatot leíró első- és másodrendű statisztikai paraméterek időben nem változnak. A lineáris korrelációs koefficiens, diszperzió, variancia, az eloszlási görbék és az autokorrelogramok értékelése során kitűnt, hogy az EEG ritkán, akkor is legfeljebb néhány másodpercnyi szakaszon tekinthető stacionernek.

Az eloszlás vizsgálata a hisztogramok számítása és  $\chi^2$  illeszkedéspróba segítségével történt. A várt haranggörbe mellett számos többszcusos, valamint egyenletes eloszlásra emlékeztető hisztogram mutatkozott, amelyet feltételezhetően egy zajos és egy periódikus tevékenység szuperponálódása eredményez. A normáleloszlási hipotézis ellenőrzésére 0,999 szignifikanciaszinten végzett  $\chi^2$  illeszkedéspróba két páciens esetében 53, ill. 61 %-ban adott pozitív választ.

Az autokorrelációs függvény abszolút integrálhatóságát nem lehet egzakt módon ellenőrizni. A lefutás alapján alapvetően három típuscsoport

különbözthető meg: erősen korrelált, gyengén korrelált és periódikusan gyengén korrelált csoportok. Az utóbbi két esetben a lecsengő jelleg figyelembevételével értelemszerűen adottnak tekinthető az abszolút integrálhatóság. A frekvenciaanalízis tanúsága szerint a spektrális intenzitás 7-12 Hz között koncentrálódik, de ezen belül az időfüggvényében nagy variabilitást mutat. Megközelítő koherencia két sávban, 0 - 4 és 7 - 12 Hz között adódott.

A számított statisztikai jellemzők alapján megállapítható, hogy az emberi EEG - összhangban az eddigi eredményekkel - sztochasztikus folyamat, amely azonban még nyugalmi állapotban sem mutat egységes jelleget. Ennek következtében statisztikai leírása csak korlátozott intervallumokban lehetséges, s a megfigyelési idő nem növelhető tetszőlegesen a becslés biztonságának növelése érdekében. A stacionaritás, amely több matematikai statisztikai eljárásnak feltétele, legfeljebb igen rövid szakaszokon, néhány másodpercnyi időtartamon belül elfogadható. Az ergodicitás még ritkábban fordul elő, s ezt a körülményt a matematikai statisztika alkalmazásakor alapvetően figyelembe kell venni.

A nyugalmi és ingerelt állapotban felvett EEG összehasonlító analízise az eloszlásfüggetlen F-próba, keresztkorrelációs függvények, keresztspektrumok és koherenciafüggvények segítségével történt, s megerősítette, hogy a statisztikai jellemzők szórását elsődlegesen az EEG spontaneitása határozza meg. Ez a körülmény nem teszi lehetővé, hogy ilyen paraméterek megfigyelésével visszamenően nyugalmi, vagy ingerelt állapot jelenlétére lehessen következtetni. A kiváltott potenciál által létrehozott változás elvész a statisztikai paraméterek spontánaktivitásból eredő szórásában.

A statisztikai analízis mellett a vizuális ingerlés során keletkezett kiváltott potenciálok visszanyerésének és vizsgálatának kérdése is napirendre került. Mivel a szóbanforgó kísérleti körülmények között az egyedi válaszok szubjektív felismerése meglehetősen bizonytalanak mutatkozott, s erre a statisztikai jellemzők alakulása sem szolgáltatott biztos támpontot, szükségessé vált, hogy az averaging eljárással nyert közepelt, kiváltott válasz töltse be az egyedi kiváltott válasz szerepét, s paraméterei egyben annak leírására szolgáljanak. Ez a felfogás azonban feltételezi, hogy a kiváltott válasz visszanyerése során nem szenved torzulást, ami viszont explicit módon nem ellenőrizhető. Törekedni kell tehát minden, a közepelés hatásosságát rontó körülmény kiküszöbölésére.

A számítások első fázisában a közepelések számának meghatározása mutatkozott fontosnak. A közepelés elmélete, mely szerint a jel-zaj viszony a közepelések számának négyzetgyökével arányosan növekszik, azt követelné, hogy az ingerlés a biológiailag maximálisan kivitelezhető ideig történjék. A vizsgálatok azonban ismételtelen igazolták azt az ismert tényt, miszerint kiváltott potenciálok esetében a fenti összefüggés csak egy bizonyos határig érvényes, s a közepelések számának ezen határon túli növelése a kiváltott potenciál amplitudójának csökkenésén keresztül a jel-zaj viszony romlásához vezet. Több más ok mellett ez a jelenség az egyedi válaszok latenciaidejének változásában kereshető, ezért a latenciaidők ingadozását a közepelt és közepelt választ eredményező egyedi válaszok közötti keresztkorrelációs függvény maximumának viselkedésével vizsgáltuk. Ez a maximum a nulla eltolás körül  $\pm 5 - 10$  ms nagyságu diszperziót mutatott, s mivel a kiváltott válaszok frekvenciája általában 10 Hz, a 100 ms-os periódusidő miatt a megfigyelt latenciaváltozás zavaró hatása nem jelentős. A vizsgálati módszer ugyanakkor kimutatta, hogy olyan eset is előfordul, mikor a vizuális rendszer nem ad egyedi választ az ingerre. Az ilyen, egyedi választ nem tartalmazó elvezetés viszont kétségtelenül rontja a közepelés hatásosságát, ezért ezeket a közepelésből ki kell zárni. Ez lehetséges, ha egy, a szokványos eljárással nyert közepelt válasz és az egyedi válaszok között számított korrelációs koefficienseket egy alkalmasan választott küszöbértékhez hasonlítjuk és a megfelelőnek mutatkozó egyedi válaszokat újabb közepelésnek vetjük alá. Ily módon a közepelt kiváltott válasz amplitudójában körülbelül 50 %-os növekedés érhető el, míg a latenciaszakaszon és a kiváltott válasz lecsengése után csak minimális amplitudóemelkedés következik be. A nyert görbe azonban még mindig zavart, parametrizálása és szubjektív értékelése nehézkes, bizonytalan. A kiváltott választ ezért a közepelés után simításnak kell alávetni, mely regressziós polinomokkal elnyomja a zavarást a görbe globális változásainak torzítása nélkül. Ez az eljárás szükséges, mert a közepelés jellegéből eredő zavarást csökkenti, s egyben megengedett is, mivel a közepelt válasz eleve csak egy számítható hibakorlátan belül értelmezhető. A vázolt módszer igazolta az adatelőkészítés és a közepelő eljárások célszerű javításának szükségességét és növelte a kiváltott válasz orvosi értékelésének objektivitását.

A fenti megállapítások mérlegelésénél mindvégig figyelembe kell venni, hogy azok meghatározott kísérleti körülmények között nyert

adatok elemzése során keletkeztek, s ezért csak bizonyos korlátozásokkal általánosíthatók. Kétségtelen eredményként értékelhető azonban, hogy igazolták a matematikai statisztika orvosi alkalmazásának létjogosultságát, s ráirányította a figyelmet annak szükségességére, hogy hiteles vizsgálatok csak a feltételek gondos mérlegelése és hamis tényezők eliminálása után lehetséges.

Az előadás célja a felállított programrendszer ismertetése és az orvosi alkalmazhatóság igazolása: a számítások során kapott eredmények biológiai okainak feltárása a kutató orvos feladatkörébe tartozik. A döntések objektivitását és kvantitatív jellegét a megfelelő adatelőkészítő és kiértékelő eljárások biztosítják. Az ismertetett programrendszer kisebb bővítés, valamint a számítógéprendszerek közötti különbségekből eredő módosítások után FORTRAN IV nyelven a Számítástechnikai Koordinációs Intézet Számítógép Laboratóriumában is kidolgozásra került Siemens 4004 számítógépre és jelenleg a próba futások fázisában van. A programozási nyelv és az adatkezelő rendszer lehetővé teszi a programok R-20, vagy ennél nagyobb ESZR számítógépen történő futtatását is. Az egyes eljárások hívását és indítását vezérlő keretprogram szerepét jelenleg a monitor tölti be. A programrendszer tagjai egymástól függetlenül, önállóan is működőképeseek, s szükség esetén ebben a formában is a felhasználók rendelkezésére állnak.

#### Irodalom

- (1) Weber, K.B.: Numerische Analyse argumentquantisierter Funktionen mit der schnellen Fourier - Transformation. Nachrichtentechnik 21 (1971) 2.
- (2) Blackman, R.B., Tukey, J.W.: The measurement of power spectra. Dover Publications, Inc. New-York 1958.
- (3) Giloi, W.: Simulation und Analyse stochastischer Vorgänge. R. Oldenburg Verlag, München - Wien 1967.



- (4) Schlitt, N.: Systemtheorie für regellose Vorgänge. Springer Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg, 1960.
- (5) Bendat, J.S., Pearsol, A.G.: Measurement and analysis of random data. John Wiley & Sons, Inc. New-York - London - Sidney, 1967.

