

MTA Számítástechnikai Központ, Budapest

Auditív alakfelismerésen alapuló gépi EEG analízis

Sebestyén Ferenc

Az elektroenkefalogram /EEG/ manuális leletezése Függelék 1. és 2./ vizuális alakfelismerésen alapul. A leletezés objektívizálására irányuló törekvések valószínűleg egyidősek magával az EEG-vel. Az első próbálkozás a manuális statisztikai görbe-analízis volt /hisztogram, auto- és keresztkorreláció/, amely azonban egyrészt hallatlanul időigényesnek bizonyult, másrészt pedig a leletezési szempontok Függelék 2./ közül csak az alárendeltebb vizuális amplitudó és frekvencia jellemzők objektív meghatározására alkalmas Függelék 3./. Az EEG-t a specifikus alakjuk révén elkülönülő szakaszok, a grafo-elemek /pl. spike-and-wave/ Függelék 2./ jellemzik döntően, tehát a leletezés teljes objektívizálása csak egyértelmű meghatározásuk útján; a teljes gépesítés pedig a gépi statisztikai analízis és a gépi alakfelismerés egyidejű alkalmazásával lehetséges. A gépesítés járulékos, de semmi esetre sem alacsonyabbrendű előnye, hogy felszabadít a lélekölő, mindennapi rutin terhe alól és ugyanakkor több információt szolgáltat.

A gépi alakfelismerés általánosan nincs megoldva, tehát jelen összefüggésében nem csupán alkalmazási feladatról van szó.

Az alakfelismerés problémája a pszichológiai percepció-kutatásban merül fel először. Történetileg első módszere az analitikus introspekció volt, amely - mondhatni automatikusan - az alakfelismerési folyamat magyarázatának egy szintén analitikus modelljére vezetett. E szerint az alakfelismerés az alakzat apró részleteinek mérlegelésével, mintegy mérésével nyert információk logikai szintézise útján jön létre.

Anélkül, hogy a részletekben elmélyednénk, meg kell említeni, hogy az analitikus modellek az alakfelismerés fontos jellegzetességeit nem magyarázzák, sőt bizonyos lényeges pontokban a valósággal határozott ellentmondásba kerülnek. Éppen a nehézségek megoldására /de lehet, hogy párhuzamosan/ kialakult a Gestalt pszichológia: "...az ortodox iskola atomisztikus szemléletével szakítva, az organizált egészből indul ki, mint olyanból, amely nem csupán logikai analízis útján nyerhető részeinek összege". /Chambers's Twentieth Century Dictionary. Revised Ed. 1965./

A gépi alakfelismerési módszerek mintegy lemásolták a korai pszichológiai modelleket. Az algoritmusok alapját képező modellek vizuális ihletettségűek, nemcsak annak következtében, hogy a pszichológiának ez a legjobban kidolgozott területe, hanem azért is, mert gyakorta a gépi felismerésre váró alakzatok vizuális formában és csak így állanak rendelkezésre, továbbá, mert a végső cél az alakfelismerés alapján döntéseket hozó ember helyettesítése /pl. postai automatikus küldemény szortírozás és irányítás, pénzügyi csekk be- és kifizetésnél aláírás azonosítás, stb./.

Az analizáló alakfelismerő programok egyik súlyos hibája a lefuttatásukhoz szükséges idő szinte gyakorlati alkalmazásukat tiltó nagy értéke, a másik súlyos hiba pedig az alakzatok zajos és /vagy hiányos/ voltára mutatott nagy érzékenységük. Az elmondottak az EEG gépi alakfelismeréses analízisére tett kísérletének kimenetelére nem éppen a legjobb indikációk.

Azonban a feladat megoldását szerencsére még sem kell határozatlan időre elnapolni. Ugyanis a következők alapján az EEG alakfelismerést nem szükséges az alakfelismerési technikák teljes arzenáljával támadni meg:

- 1./ Az EEG görbék a vonalas alakzatok halmazának csak egy kis részét teszik ki, minthogy bennük hurkok, időben visszafelé haladó szakaszok nem fordulhatnak elő, mert eredetileg egydimenziós jelenségek.

- 2./ Az alakfelismeréshez az EEG nemcsak vizuális formában áll rendelkezésre, hanem úgy is, mint egy-dimenziós jelenség, mint az idő függvényében változó, felerősített biopotenciál.
- 3./ Az EEG /egy-dimenziós!/ gépi alakfelismeréséhez megfelelő és elegendő az auditív rendszer modelljéből kiindulni.  
/Az auditív rendszer bemenőjele is egy-dimenziós. A hallható hangok spektruma felső és alsó frekvenciájának hányadosa  $10^3$ , míg ez az arány az EEG spektruma esetében csak kb.  $1,5 \cdot 10^2$ ./
- 4./ Az auditív rendszer a vizuálisnál sokkal egyszerűbb, tehát az előbbin alapuló algoritmus is várhatóan egyszerűbb lesz. /A nervus opticus és nervus cochlearis rostszámának aránya  $1,5 \cdot 10^6 / 2 \cdot 10^4 = 75$ ./
- 5./ Az auditív modell egyszerűbb volta miatt a Gestalt közéletis sem látszik illuzórikusnak.
- 6./ A Gestalt közéletis révén várhatóan az eljárás időigényessége és zaj érzékenysége is kisebb lesz.

Az auditív rendszer heurisztikus választásának "igazolására" kézenfekvő az EEG biopotenciálok meghallgatása. Mintegy harmincszoros, magnetofonnal történő felgyorsítás az EEG-t teljes egészében a hallható frekvencia tartományba helyezi át úgy, hogy a frekvencia arányok változatlanok maradnak. Békésy kutatási eredményeiből ismert, hogy két periódus hosszúságú jel már elegendő hang és hangmagasság érzet kialakulásához. Így az egyes EEG ritmusok orsói /Függelék 2./ bizonyos hangmagasságú pengő hangoknak fognak megfelelni: egy "alfa" orsó /spindle/ például egy 240Hz és 360Hz közötti pengő hangnak. Az pedig magától értetődik, hogy hallás útján sokkal hosszabb szakaszokat lehet egységként felfogni, mint vizuálisan. /Vajon mit lehetne Beethoven IX. szimfóniájának regisztrátumából vizuálisan kiolvasni?/

Nagy a valószínűsége annak, hogy az EEG meghallgatása nemcsak a heurisztikus választás helyességét fogja "bizonyítani", hanem, egy a

hagyományos EEG-t kiegészítő metodikává válik. Sztereó meghallgatással pl. elvezetések /Függelék 1./ közötti aszimmetriák észlelése is lehetségesnek látszik. Új távlat: egy 24 órás EEG felvétel vizuális leletezése szinte lehetetlen, míg meghallgatása kevesebb, mint egy órát vesz csak igénybe, de ami még fontosabb, "áttekinthető". / Dr. Mussong-Kovács Erzsébet alkalmazási javaslata./

Visszatérve a tárgyalás fő vonalára, a javasolt EEG analízis nem a Fourier-analízis alkalmazására tett valamilyen újabb próbálkozás: az auditív rendszer kutatásában a Fourier-transzformáción alapuló modellek alkalmazása már túlhaladott. A korszerű irányzat a cochleát, a benne elhelyezkedő Corti-féle szervvel együtt - a maga jogán - egy soros-párhuzamos transzformációt végrehajtó rendszernek tekinti. A rendszer soros bemenete a dobhártya, párhuzamos kimenete pedig a kb.  $2 \cdot 10^4$  idegrostból álló hallóideg /nervus cochlearis/. A hallócsontok által a cochlea ovális ablakára továbbított egy-dimenziós rezgések a cochlea folyadék rendszerének egy háromdimenziós változó rezgés állapotát hozzák létre, amelyet a kimeneti  $2 \cdot 10^4$  idegrost számára a Corti-féle szerv Gestalt-szerűen reprezentál.

A tárgyalt EEG analízis realizálására két, egymást nem kizáró ut kínálkozik. Az egyik az auditív rendszer felépítését és működését modellező analógiás célberendezés fokozatos megvalósítása, a másik pedig az ugyanilyen tulajdonságu rendszerek szimulálásából áll, soros működésű, nagysebességű digitális gépek segítségével. Az alakfelismerő algoritmus alapjául tehát az auditív rendszer szerkezet és működése szolgál.

Megjegyezzük, hogy a közölt módszer természetesen más egy-dimenziós jelenségek alakfelismerési problémáira is alkalmazható.

### Függelék 1.

#### Az EEG felvételi technikájának vázlatos leírása

Működésük lényegét tekintve az EEG berendezések nagy erősítésű, több csatornás direktiró regisztráló eszközök. Használatban levő típusaik között vannak 4-, 6-, 8-, 12-, 16-, sőt 32-csatornásak is. A csatornák azonos felépítésűek, egymástól függetlenek és szimmetrikus bemenetűek.

A berendezésekkel regisztrálni lehet a sértetlen koponyabőr-ről, vagy közvetlenül a cortexről /ECG/ elektródákkal elvezetett biopotenciálokat.

A klinikai rutin EEG diagnosztika meghatározott elrendezésű 24 aktív és egy semleges /"föld"/ elektródát alkalmaz. Előírt elrendezésük szimmetrikus: a két hemispherium fölött, előlről hátra felé haladó két-két sorban 6-6 elektróda helyezkedik el. A sorok és az elektródák között a távolság mindenhol egyforma.

Az elektródákat vezetékek kötik össze a berendezés szelektor kaposolóival /minden csatornához egy tartozik,/ amelyekkel a csatornák bármelyikére akármelyik két elektróda közötti biopotenciál-különbség rávezethető.

A regisztrálásra használt papír, fokozatokban változtatható sebességgel jobbról-balra mozog; a rutinra beállított érték általában 30 mm/sec. Az írószerkezetek a papír haladási irányára merőleges vonalban helyezkednek el, az egyes csatornák regisztrálható maximális amplitudója 25 mm. Rutin vizsgálatokhoz beállított érzékenység: 10 mm kitérés 50 mikro V-re. A regisztrátum frekvencia tartománya egyenáramtól /DC/, vagy 1 Hz körüli értéktől 100 Hz és 300 Hz közötti értékig berendezés típusától függően.

## Függelék 2.

### Az EEG leletezés vázlatos ismertetése

A rutin EEG felvételek időtartama kb. 30 perc és 45 perc között van, amely - 30 mm/sec regisztráló papír sebesség esetén - 54-től 81m hosszúságu regisztrátumot jelent /1/. A leletezés történhet a felvétellel egyidőben, vagy utána.

A beavatatlan számára a regisztrátum véletlenszerű, rendszertelen, vagy legalább is csak nagyon kis rendszerességgel bíró jelenségnek tűnik. Alaki jellegzetességei és ezek magyarázata nem magától értetődő. Az EEG regisztrátum értékelését meg kell tanulni.

A tanulás jellege nagy részében empirikus és csak kis mértékben elméleti, csak kis mértékben nyugszik elektrofiziológiai alapokon. A rutin leletezés szemrevételezéssel történik, feltételezi a megtanult vizuális alakfelismerést.

A betanultság előrehaladtával az EEG regisztrátumok kevésbé tűnnek véletlenszerűnek, de még a leggyakorlottabb EEG-s szakorvos számára is döntően azok maradnak. Ennek magyarázatául szolgálhat, hogy a biopotenciálok a működő agy jelenségeit tükrözik és azok magyarázata csak a rendszer ismeretében lehetséges: az EEG, mint jel, csak olyan mélységig értelmezhető, mint amennyire az EEG-t generáló rendszer - az agy működése maga - ismert. Az EEG-nek, mint jelenségnek az értelmezése történhet empirikus alapon is, kórlefolyások és egyéb tünetekkel fennálló korrelációk alapján. Az ilyen korrelációk az EEG-t jelentéssel és jelentőséggel ruházzák fel.

Az EEG leletek elemi és összetett megállapításokból alakulnak ki. Az elemi megállapítások az egyes elvezetések tulajdonságaira, az összetettek pedig az elemiek összehasonlításaira vonatkoznak.

Elemi megállapítások:

- 1./ A felvétel egészében előforduló amplitudók együttes értékelése: a normálisnál kisebb /low voltage/, normális, és a normálisnál nagyobb amplitudók /high voltage/.

- 2./ A felvétel egészében előforduló ingadozások szaporasága szerint /vizuális frekvencia analízis/: lelassult, normális és a normálnál gyorsabb: felgyorsult.
- 3./ A felvétel bizonyos szakaszain előforduló többé-kevésbé szabályos, szinuszoshoz hasonló szakaszok: ritmusok. Frekvencia tartományuk szerint lehetnek: 1Hz és 2Hz között: "delta" ritmus; 3Hz és 7Hz között: "béta" ritmus; 8Hz és 12Hz között: "alfa" ritmus; 12Hz és 21Hz között: "béta-alsó" ritmus; 22Hz és 30Hz között: "béta-felső" ritmus; 31Hz és 70Hz között "gamma" ritmus.
- 4./ A ritmusok hosszúsága szerint: egy periódusnál hosszabb, de kettőnél rövidebb szakasz: "hullám" /wave/; két periódusnál hosszabb szakasz: "orsó" /spindle/.
- 5./ A felvétel bizonyos szakaszain előforduló speciális alakzat, a "tüske és hullám" /spike-and-wave/.

A felsorolás 4./ és 5./-höz tartozó alakzatait grafo-elemeknek nevezik.

Az összetett megállapítások között nagy jelentősége van a két hemispherium fölötti elvezetések közötti aszimmetriákra vonatkozóknak /pl. amplitudó, frekvencia, a hullám-, orsó és tüske-hullám alakzatok egyes megjelenései közötti időeltérések, aszinkronitás, stb./  
Általánosságban: összetett megállapítás lehet az elemi megállapítások bármilyen logikus kombinációja.

Függelék 3.

Az autó-korreláció függvény egy EEG-s értelmezése

Gyakran elhangzik a kérdés: "Mit jelent az auto- és kereszt-korreláció az EEG esetében?" Megkísérelünk a rutin EEG módszereihez és eredményeihez illeszkedő operatív választ adni. Szükségesnek látszik ez itt azért, mert a válaszok kapcsolatban vannak az alakfelismeréssel és sokszor félreértésekre vezetnek.

Mint ismeretes, az autókorrelációs eljárások és célberendezések kimenőjele a következő függvénnyel arányos:

$$c / u = \frac{\sum_{t=0}^{t=N-u} x_t x_{t-u}}{\sum_{t=0}^{t=N} x_t^2}$$

ahol:  $x_t$  az analizálandó függvény /a jelen esetben az EEG/  $t$  sorszámú mintavételi értéke:  $t=1,2,\dots,N$ ;  $N$  a mintavétellel származtatott idő-sorozat mintáinak száma;  $u$  az autó-korreláció függvény független változója:  $u=1,2,\dots$ . A számláló "szumma" alatti tagja az eredeti idő-sorozat  $u$  index-távolságu elemeinek szorzatát jelenti.

Az értelmezést egy az autókorreláció függvényt előállító kísérleti eljárás útján adjuk meg. Végezzük a kísérletet azon a  $3,6 \cdot 10^5$  tagszámú idősoron, amely egy 30 perces EEG elvezetés 200/sec mintavételű megfelelője. A kísérlet abban áll, hogy az időszorozatból véletlenszerűen  $u=1, u=2, \dots$  stb. index-távolságu mintapárokat választunk ki és meghatározzuk a következő esemény-párok gyakoriságait:

- a./ a kiválasztott két minta előjele azonos:  $E_u^+$  ;
- b./ a kiválasztott két minta előjele különböző:  $E_u^-$  .

A megfelelő relatív gyakoriságokat képezzük a szokásos módon:



$$p_u^+ = \frac{E_u^+}{E_u^+ + E_u^-} ; \quad p_u^- = \frac{E_u^-}{E_u^+ + E_u^-} .$$

ahol  $E_u^+$  ill.  $E_u^-$  az egyes események gyakoriságai. A lehetséges relatív gyakoriság párok tehát a következők:

$$p_1^+ + p_1^- = 1; \quad p_2^+ + p_2^- = 1; \quad \dots; \quad p_u^+ + p_u^- = 1.$$

A  $p_3^+$  például azt mutatja, hogy a véletlenszerűen kiválasztott három index-távolságu mintapárok között milyen valószínűséggel fordulnak elő azonos előjelűek.

A származtatás végső lépéseként képezzük az összetartozó relatív gyakoriság-párok különbségeit:

$$c/1/ = p_1^+ - p_1^- ; \quad c/2/ = p_2^+ - p_2^- ; \quad \dots ; \quad c/u/ = p_u^+ - p_u^- .$$

Ahogy a jelölésből kitűnik, a  $c/u/$  értékek már az autókorreláció függvény értékei. A származtatást ezzel befejeztük. Érvényességi feltételei közül csak a statisztikai stacionaritást említjük meg.

Tehát a korreláció függvény egyes  $u$ -knál felvett értékeiből kiolvasható, hogy az eredeti függvény véletlenszerűen kiválasztott  $u$  index-távolságu mintái milyen valószínűséggel azonos, ill. ellentétes előjelűek. A következő szélső esetek lehetségesek:

- 1./ A korreláció függvény értéke  $+1$ , vagy ehhez közeli érték: az  $u$  index-távolságu véletlenszerűen kiválasztott minta-párok biztosan, vagy igen nagy valószínűséggel azonos előjelűek.
- 2./ A korreláció függvény  $-1$ , vagy ehhez közeli érték: az  $u$  index-távolságu véletlenszerűen kiválasztott minta-párok biztosan, vagy igen nagy valószínűséggel ellentétes előjelűek.

3./ A korreláció függvény egy zéró pontja:

a megfelelő u index-távolságu minta-párok között azonos valószínűséggel fordul elő azonos és különböző előjellű.

4./ A korreláció függvény egy bizonyos u értéktől kezdődően zéró:

A megfelelő u index-differenciánál nagyobb távolságban levő minta-párok között egyforma valószínűséggel fordulnak elő azonos és különböző előjelűek.

Az elmondottak a kereszt-korrelációra is értelmezhetők, amikor is a mintapárok mintái a vizsgált két függvényből származnak.

Megjegyezzük, hogy impulzus függvények esetében az értelmezés a lényegét nem érintő módosítást igényel.

#### I R O D A L O M

Dr. Kugler, Johann: Elektroencephalographia a klinikumban és a gyakorlatban. Alapismeretek. /Sokszorosított jegyzet, készült a SOTE háziyomdájában./ /1969./