

**Válasz**  
**Dr. Radványi András bírálatára**

Mindenek előtt köszönöm Dr. Radványi Andrásnak a disszertációm bírálatával kapcsolatos gondos és alapos munkáját. Kritikai megjegyzései a műhelyvita során nagyban hozzájárultak doktori munkám színvonalának növeléséhez.

A tézisekkel kapcsolatban megfogalmazott opponensi véleményre válaszomat az alábbiakban fogalom össze:

**Az I. sz. tézissel kapcsolatban:** *„Az értekezés csak nagy vonalakban ismerteti a berendezés tervezett működési körülményeit, a vele szemben állított funkcionális, sebességi és pontossági követelményeket. A példák bemutatásáig nem egyértelműek a műtéti körülmények: hogy élő betegen végrehajtott beavatkozás, vagy boncolás képi rögzítése a cél. A leírás nem tartalmazza az alkalmazott tervezési metodika elemzését és általánosítható módszertani tanulságait, melyek műszaki tudományos eredményként értékelhető tézisekre vezethetnének. Az időparaméterek tekintetében egyetlen összehasonlításként említett Zeiss robotmikroszkóp a szabadságfokok különbözősége miatt feltehetőleg alkalmatlan referencia.”*

A bemutatott fényképezési módszert, illetve a fényképek gyors és pontosan pozícionálható elkészítését lehetővé tevő berendezést az elmúlt közel 5 évben önállóan fejlesztettem ki, illetve készítettem el. A módszer és az azt megvalósító berendezés a műtéti területek dokumentálására olyan új megoldást eredményezett, amit a vonatkozó tudományos szakirodalom ismeretében nemzetközi vonatkozásban is újdonságnak tartunk. Az „Operative Neurosurgery” nevű vezető folyóirat a közleményünk megjelentetésével együtt közölte a szakterület három vezető szakértőjének értékelését is, melyben egyöntetűen újdonságnak minősítették a módszert. Szabadalmi bejegyzése a Danubia Szabadalmi és Jogi Irodán keresztül folyamatban van.

A módszer első cél-alkalmazásként lehetővé teszi anatómiai feltárások képi dokumentálását minden olyan látószögből ahonnan az operáló orvos látja, illetve láthatná. A probléma megoldását korábbi technikai eszközökkel több ok miatt sem lehetett hatékonyan megoldani. Dr. Balogh Attila idegsebész eredeti ötlete alapján a műtéti terület tetszőleges nézőpontú reprodukálható pozíciójú fényképezését egy univerzálisan pozícionálható un. robot mikroszkóp ugyan lehetővé tette, de nehézkessége és lassúsága miatt már az anatómiai feltárások esetében is csak az elvek működésének demonstrációjára szolgált, nem pedig a rutinszerű gyakorlati alkalmazásra.

A disszertációban leírt módszer előnye, hogy a kamera gömbfelszínen való szisztematikus és gyors mozgásával, valamint minden nézőponthoz a térszögeknek megfelelő helyzet-azonosítók hozzárendelésével a fényképek a korábbiakhoz képest lényegesen gyorsabban elkészíthetőek. A könnyű használhatóság és képvétel gyorsasága alkalmassá teszi a módszer alkalmazását nemcsak anatómiai, hanem élő műtétek során is.

A robotmikroszkópos nézőpont pozícionálás a lassú beállítás miatt képenként több 10 másodpercet is igénybe vett, mivel a fényképezéshez meg kellett várni a nagytömegű berendezés adott pozícióba való rezgésmentes beállítását. Ezzel szemben a saját módszer szerint percenként akár 100-nál több felvétel is készíthető. Ez a teljesítménynövekedés (nem beszélve az árkérdésekről, és a fényképező berendezés helyigényéről) az a tényező, mely a

műtéti alkalmazhatóságot eldönti. A műtétek során az egyes fázisok közé beiktatott hosszú fényképezési idő ugyanis legtöbbször elfogadhatatlan.

A sebesség növekedés abból következik, hogy a villanymotorral körpályán mozgatott kamera anélkül, hogy az egyes szöghelyzetekben megállna, programozható módon tetszőleges szöghelyzetben (akár 1 fokként is) felvételeket tud készíteni. A kamera megállítására nincs szükség, mivel kellő megvilágítás és gyors expozíció esetén a felvételek mozgó kamera esetében is elkészíthetők anélkül, hogy a képeken érzékelhető bemozdulást eredményezne.

A kamera „forgatás” sebessége olyan, hogy a 140 fokos térszögben egy térsíkot kevesebb mint 30 mp alatt bejár, eközben legfeljebb 140 felvételt készíthet. Újabb körpálya (térsík) beállításához, a billentésnek nevezett mozgattal néhány másodpercre van szükség, így a teljes fényképezési folyamat (a felbontási raszter függvényében változó módon) néhány perc alatt elvégezhető.

Ez az időszükséglet a gyakorló sebész véleménye szerint legtöbbször még élő műtétek során sem okozza a sebészi munka lényeges hátráltatását, ugyanakkor legalább három új lehetőséget nyit.

1. Lehetővé teszi a műtétek folyamatának teljes képi dokumentálását, ami oktatási-, kutatási-, és akár biztosítási szempontból is fontos lehet. Az azonosítható pozíciójú képek egy számítógépes képrekonstrukciós rendszerrel kétdimenziós képernyőn, vagy alkalmas három dimenziós megjelenítési technikával, szemüveggel, vagy 3 dimenziós monitorral is rekonstruálhatóak.

2. A helyazonosítás alapot szolgáltat, hogy az adott nézőpontokhoz hozzárendelhetők fontos kapcsolódó információk (szöveges magyarázatok, szövettani képek, röntgen képek,...) melyek a műtét utólagos „virtuális” tanulmányozására újszerű lehetőséget kínál.

3. Az azonosítható pozíciójú képfelvételt megvalósító eljárás és berendezés, a pontos és gyors nézőpont beállítással a későbbiekben a pontos célzást igénylő, ún. sztereotaxiás műtéti eljáráshoz is pozícionáló eszközzel szolgálhat. A kamera helyére (vagy mellé) szerelt sebészeti eszköz, a helyzetazonosítás technikájával pontosan pozícionálhatóvá válik, így gyors és könnyen kezelhető megoldást biztosíthat.

Az első kísérleti berendezés a SOTE Anatómiai Intézetében üzemel. Használatával készült el az emberi fejről készült újszerű anatómiai atlasz.

**A II. sz. tézissel kapcsolatban** „Az ismertetett megoldás az aláírások feldolgozásában számos matematikai módszert alkalmaz: statisztikai elemzéseket, súlytényezők számítását, értékalapú döntéseket. A szűkre szabott kereteknek tulajdoníthatóan azonban, a felhasznált eljárások megnevezésén túl magukról az elemzésekről, azok részleteiről alig esik szó; számszerű elemzési eredmény, a módszeren végigvezetett mintapélda pedig – egyetlen korrelációs mátrix képétől eltekintve – nem található az értekezésben. Az értekezés nem tartalmaz egyetlen képletet, számítást, táblázatot, vagy statisztikát sem, bár a 75 személytől begyűjtött aláírások adatbázisba rendezése során mindezek nyilvánvalóan elkészültek, amint erről – a részleteket természetüknél fogva nem tartalmazó ... publikációk is tanúskodnak. Az ilyen részletek azonban elengedhetetlenek az elvégzett munka és az eredmények érdemi megítéléséhez.”

A kutatás az „Eredeti kézírás azonosító berendezés” című IKTA 2001/88 kutatási pályázat keretében folyt, melyben a Grafológiai Intézet és a Hexium Kft. konzorciumi partnerekkel

BMF részéről mint intézményi koordinátor, a kutatás vezetője vettem részt. Az aláírás jellemzők mérésére, feldolgozására, és értékelésére szolgáló eljárásokat döntő részben magam dolgoztam ki, ugyanakkor az elemzésekben és a kísérleti rendszer megvalósításában több munkatársam is részt vett. Rájuk a disszertációban tételesen hivatkoztam.

Az aláírás jellemzők elemzésére például létrehoztunk egy ún. referencia adatbázist, mely alapján az aláírásokat matematikus munkatársak bevonásával<sup>1</sup> statisztikai módszerekkel elemeztük.

Az elemzéshez az SPSS statisztikai programcsomagot és a Neural Connection 2.1 kibővítését használtuk. Az adatok normalitására vonatkozó Kolmogorov-Szmirnov vizsgálatok alapján kiválasztottuk azokat az ismert matematikai statisztikai eljárásokat, melyek elvi megfontolások alapján alkalmasnak ígérkeztek. E módszerek, mint például a Mann-Whitney teszt, a Kruskal-Walis teszt, a Pearson korrelációs vizsgálatok és Diszkriminancia Analízis módszerét nem tárgyaltam, mivel azok az irodalomban jól ismertek.

A statisztikai elemzés részletei a disszertációba részben terjedelmi, részben elvi megfontolásokból sem kerültek be, ugyanis a teljes azonosító rendszer kidolgozásának főbb részeinek bemutatása mellett a statisztikai elemzéseket a disszertációban nem részleteztem. Azok eredményeiről nemzetközi konferenciákon és kiadványokban számoltunk be.<sup>2</sup>

### **Az opponensi javaslat alapján a disszertáció hiányosságainak pótlására az ott csak röviden összefoglalt válaszokat alábbiakban bővebben kifejtem**

A 72 fő kísérleti személytől felvett 18 aláírás 36 számolt jellemzőjét ( $72 \times 18 \times 36 = 46\ 656$  adatsoportot) vizsgáltunk. E nagytömegű adat elemzése rendkívül összetett és hosszadalmas feladatnak bizonyult, és szintén nagytömegű adatot eredményezett.

Az elemzéseket a következő kérdések mentén végeztük:

1. Kimutatható-e a különböző instrukcióval készült (szokásos, gyors, szignó) aláírások azonossága?
2. Van-e az egyes írásjellemezők között korreláció?
3. Az aláírást időfüggvénynek értelmezve kimutatható-e az írásjellemezők nagyobb stabilitása (kisebb varianciája) az írás kezdetén?
4. Létrehozható-e egy általános aláírás profil, vagy egyéenként különböző írásjegyeknek van nagy stabilitása, így azonosító jelentősége?
5. A jellemzők alapján jól elkülöníthetők-e a személyek egymástól?

---

<sup>1</sup> Dr. Cserjés Ágota, Dr. Izsó Lajos, Vajda István, Ladányi Zoltán

<sup>2</sup> Kutor, L., Dorkó, Gy., Ladányi, Z., Írásképek vagy dinamika? Automatikus személyazonosítás a kézírás alaki és dinamikus jellemzői alapján. *Nemzetközi grafológiai kongresszus*. 1999. április 15-17. Proc.:83-86  
Kutor, L., Ladányi, Z., Problems and Solutions in Dynamic Signature Authentication *International Conference on Computational Cybernetics* Siófok, Hungary, August 29-31, 2003.

Cserjés, A., Kutor, L., Izsó, L. (2004). Identifying person-specific dynamic patterns in handwritten signatures by Bayesian neural networks. *International Journal of Psychology*, (2004).39 (5-6): 70-72 Suppl. S OCT-DEC 2004.

Cserjés, Á., Kutor, L., Izsó L. Identifying person-specific dynamic patterns in handwritten signatures by Bayesian neural networks. *28th International Congress of Psychology*, August 8 - 13, 2004, Beijing, China.

A statisztikai elemzés során vizsgált változók:

Skalár változók	Adattípus			
	Aláírásonként	Csoportonként		
:	normál, gyors, olvasható			
	(á = átlag, s = szórás)			
1. Az aláíráshoz szükséges idő (T) (t)	á,s	á,s	á,s	á,s
2. A papíron eltöltött idő (T-D) (t_d)	á,s	á,s	á,s	á,s
3. A papíron eltöltött relatív idő (T-RD) (t_rel_d)	á,s	á,s	á,s	á,s
4. A érzékelési tartományban eltöltött idő (T-P) (t_p)	á,s	á,s	á,s	á,s
5. Az érzékelési tartományban eltöltött relatív idő (T-RP) (t_rel_p)	á,s	á,s	á,s	á,s
6. Az érzékelési tartományon kívül eltöltött idő (T-O) (t_o)	á,s	á,s	á,s	á,s
7. Az érzékelési tartományon kívül eltöltött relatív idő (T-R-O) (t_rel_o)	á,s	á,s	á,s	á,s
8. Megtett út (S) (s)				
9. Vízszintesen megtett út (S-H) (s_horizontal)	á,s	á,s	á,s	á,s
10. Függőlegesen megtett úthossz (S-V) (s_vertical)	á,s	á,s	á,s	á,s
11. Vízszintesen megtett úthossz (SH-D) (s_horizontal_d)	á,s	á,s	á,s	á,s
12. Vízszintesen megtett relatív úthossz (SH-RD) (s-horizontal_rel_d)	á,s	á,s	á,s	á,s
13. Függőlegesen megtett úthossz (SV-D) (s_vertical_d)	á,s	á,s	á,s	á,s
14. Függőlegesen megtett relatív úthossz (SPR-D) (s_vertical_rel_d)	á,s	á,s	á,s	á,s
15. A függőlegesen és vízszintesen megtett úthosszak aránya (S-P-D-S-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
16. Balra megtett úthossz a papíron (SL-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
17. Balra megtett relatív úthossz a papíron (SL-RD)	á,s	á,s	á,s	á,s
18. Jobbra megtett úthossz a papíron (SR-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
19. Jobbra megtett relatív úthossz a papíron (SR-RD)	á,s	á,s	á,s	á,s
20. Felfelé megtett úthossz a papíron (SU-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
21. Felfelé megtett relatív úthossz a papíron (SU-RD)	á,s	á,s	á,s	á,s
22. Lefelé megtett úthossz a papíron (SD-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
23. Lefelé megtett relatív úthossz a papíron (SU-RD)	á,s	á,s	á,s	á,s
24. A papíron megtett összes út (SS-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
25. X irányú befoglaló méret (csak a papíron) (SH-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
26. Y irányú befoglaló méret (csak a papíron) (SV-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
27. Átlagos nyomás a papíron (PM-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
28. Maximális nyomás értéke a papíron (P-Max-D)	á,s	á,s	á,s	á,s
Függvények:				
29. A toll nyomása (FP)	f	fá,s	fá,s	fá,s
30. 0-as nyomás szakaszok ideje (T0)	f	fá,s	fá,s	fá,s
31. A toll X irányú dőlésszöge (X-TILT)	f	fá,s	fá,s	fá,s
32. A toll Y irányú dőlésszöge (Y-TILT)	f	fá,s	fá,s	fá,s
33. sebesség a papíron (V-P)	f	fá,s	fá,s	fá,s

34. sebesség a levegőben (V-A)	f	fá,s	fá,s	fá,s
35. Tollvonásonkénti útfüggvény (FSP)	f	fá,s	fá,s	fá,s
36. A levegőben bejárt tollvonások útfüggvénye (FSA)	f	fá,s	fá,s	fá,s

Az 1. sz. kérdés megválaszolásának módszerei és eredményei

*Kimutatható-e a különböző instrukcióval készült (szokásos, gyors, szignó) aláírások azonossága?*

Előzetes vizsgálatok egyváltozós módszerekkel

Először tájékozódó jelleggel, egyváltozós módszerekkel személyenként megvizsgáltuk, hogy az egyes változók különböznek-e szignifikáns mértékben egyrészt a **valódi** és a **hamis**, másrészt a különböző típusú – **szokásos, szignó, olvasható** – aláírásokban. Ezek a vizsgálatok valóban csupán az előzetes tájékozódás céljait szolgálták, mivel az egyes változók egymástól elszakítva történő elemzése a változók közötti interakciókat természetesen nem képes feltárni és ugyancsak nem alkalmas az egyes változók egymáshoz képesti viszonylagos diszkriminációs képességének a megállapítására sem.

A változók normalitását a Kolmogorov-Szmirnov próbával ellenőriztük és azt találtuk, hogy bár a változók többsége normális eloszlásúnak tekinthető, gyakorlatilag minden személy esetén van néhány olyan változó, amely markánsan nem normális eloszlást követ. Emiatt az adatok egységes kezelése érdekében lemondunk a paraméteres próbák (t-próbák és varianciaanalízis) alkalmazásáról és a megfelelő nemparaméteres próbákat alkalmaztuk.

A „valódi” és „hamis” aláírások összehasonlítása

A Mann-Whitney teszt eredményei nagy egyéni változatosságot mutattak, de az megállapítható volt, hogy összességében sok szignifikáns különbség fordult elő. Mivel azonban személyenként mindössze csak három hamis aláírás állt rendelkezésre, amelyek más-más instrukcióval készültek és ezért egymás között sem voltak egyenértékűek, további igényes statisztikai elemzéseknek ebben a vonatkozásban nem láttuk értelmét.

A „szokásos”, „szignó” és „olvasható” aláírások összehasonlítása

A Kruskal-Wallis teszt eredményei ugyancsak nagy egyéni változatosságot mutattak: egyes személyeknél alig fordul elő szignifikáns különbség, míg másoknál a változók zöme statisztikailag különbözött.

A vizsgálatok elemzése során megállapítottuk, hogy az ilyen típusú változónkénti elemzések eredményei jelenlegi céljaink szempontjából közvetlenül nem voltak hasznosíthatók, mert az egyes szignifikánsnak talált változók különböző vágási szinteket jelöltek ki, amelyek egymással szükségképpen ütköztek. Emiatt a továbbiakban olyan módszereket alkalmaztunk, amelyek az osztályok között úgy jelölhetnek ki egyértelmű vágási szinteket, hogy figyelembe veszik az egyes változók különböző mértékű hozzájárulását a klasszifikációs teljesítményhez.

Vizsgálatok diszkriminancia analízissel (DA)

Mielőtt elköteleztük magunkat a diszkriminancia analízis mellett, megvizsgáltuk az adott

probléma megoldására elvben alkalmazható egyéb módszereket is. Így kipróbáltuk a klaszter-analízis *SPSS for Windows 11.00*-ben rendelkezésre álló két alaptípusát („K-means” és „hierarchikus”) és a *Neural Connection 2.1*-ben klasszifikációs célokra elérhető többretegű perceptronon (MLP), radiális bázisfüggvényen (RBF), Bayes-statisztikán alapuló és a Kohonen-típusú neurális háló modelleket. Valamennyi említett módszer gyengébb klasszifikációs eredményeket adott a diszkriminancia analízisnél, ezért végül az utóbbi mellett döntöttünk.

Kiinduló megfontolásaink a diszkriminancia analízis alkalmazásához:

*Adott:* Kiindulási esetek (objektumok) – a jelen projektben aláírások –  $L$  számú csoportja, amelyeket  $p$  számú változó jellemez. Minden eset az  $L$  számú csoport valamelyikébe tartozik és a  $p$  számú ún. prediktor változó jellemzi.

*Cél:* az eseteket (objektumokat) jellemző változók alkalmas lineáris kombinációi (az ún. *diszkriminancia-függvények*) segítségével az adott csoportok lehető legjobb elkülönítése, majd ennek alapján a később megjelenő újabb objektumok csoportokhoz tartozásának lehető legjobb előrejelzése.

*A kiindulási esetek csoportokhoz tartozása az eljárás kezdetén ismert, a később megjelenő újabb eseteké viszont ismeretlen: a módszer éppen ez utóbbira tesz előrejelzést.*

*A csoportképző változónak természetes számokkal ( $L = 1, 2, 3, 4, \text{stb.}$ ) kódolt kisszámú értékei lehetnek, amelyek egymást kölcsönösen kizáró kategóriáknak felelnek meg.*

*A prediktor (előrejelző, független) változóknak többdimenziós normális eloszlású kvantitatív (intervallum vagy arány-skálájú) adatokat kell tartalmazniuk minden csoportban közel azonos kovariancia mátrixokkal (legfeljebb 1:10 kovariancia-arány tolerálható). Ezekre a feltételekre azonban az eljárás meglehetősen robusztus, ezért az előző normalitás vizsgálatok alapján az eljárás elvégezhető.*

*A prediktor változók alkalmas módon meghatározott lineáris kombinációi az ún. *diszkriminancia-függvények*, amelyek alapján a csoporthoz tartozás megadható:*

$$D = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_pX_p$$

*Az elemzéshez szükséges *diszkriminancia-függvények* száma:  $L-1$  és  $p$  közül a kisebb.*

*A  $B_1, B_2, \dots, B_p$  együtthatók - illetve azok ún. standardizált kanonikus alakjai – fejezik ki, hogy az egyes  $X_1, X_2 \dots X_p$  változóknak mekkora a diszkriminációhoz való hozzájárulása.*

*A DA segítségével megvizsgáltuk minden egyes aláíró minden aláírását abból a szempontból, hogy mutatkozik-e különbség a különböző típusú aláírások között a rögzített változók mentén. Az összehasonlítás alapja a jellemző adatok kiértékelése nélkül is rendelkezésre álló kiindulási ún. *a priori* valószínűség, amely esetünkben a legtöbb személy esetében 41,7% volt. Ha ugyanis pusztán az ismert arányokból (10 szokásos, 7 szignó és 7 olvasható) kellene az egyes esetek kategóriába tartozását bejósolni, a legjobb stratégia az lenne, ha mindegyiket egyszerűen „szokásosnak” tippelnénk (ekkor ugyanis a  $10/24=0,4167$  arány miatt az esetek 41,7%-ában igazunk lenne, ami kimutathatóan jobb a teljesen véletlenszerű tippelésnél). A DA-tól azt vártuk tehát, hogy a  $p$  számú változó feldolgozása után ennél az *a priori* valószínűségnél lényegesen nagyobb ún. *posteriori* találati arányokat produkáljon.*

A vizsgálat eredményeként személyenként a következő szerkezetű táblázatot kaptuk:

		MODE	1,00	2,00	3,00	
Original	Count	1,00	10	0	0	10
		2,00	0	7	0	7
		3,00	0	0	7	7
	Ungroupe		1	2	4	7

		d cases				
	%	1,00	100,0	,0	,0	100,0
		2,00	,0	100,0	,0	100,0
		3,00	,0	,0	100,0	100,0
	Ungroupe		14,3	28,6	57,1	100,0
		d cases				
Cross-validated	Count	1,00	8	2	0	10
		2,00	2	5	0	7
		3,00	1	0	6	7
	%	1,00	80,0	20,0	,0	100,0
		2,00	28,6	71,4	,0	100,0
		3,00	14,3	,0	85,7	100,0

79,2% of cross-validated grouped cases correctly classified.

A DA elemzések elvégzése után összefoglalóan azt állapítottuk meg, hogy a diszkriminációs (találati) valószínűség a 72-ből 18 esetben volt 79% felett. Ez azt jelentette, hogy az aláírók negyedénél jelentős különbség mutatkozott az egyes aláírás módok között. További kérdés maradt, hogy elsősorban mely változók hordozzák magukban ezeket a különbségeket. Az idővel kapcsolatos változók kézenfekvőnek tűntek, mivel a szokáshoz képest a szignó – ha az illető egyáltalán használt külön szignót – várhatóan értelemszerűen rövidebb, az olvasható pedig hosszabb időt vett igénybe. Nyitott kérdés maradt azonban, hogy ez a logikus feltevés igazolódik-e, és ha igen, mely további változók alapján különböznek még az egyes aláírásmódok?

A diszkriminancia elemzés eredményeinek értelmezéséhez a számszerű eredmények ismerete előtt az aláírásokat szemrevételezéssel is ellenőriztük, és a következőket állapítottuk meg:

- 1) a 72-ből 55 esetben a háromféle aláírás vizuálisan nem volt megkülönböztethető,
- 2) a 72-ből mindössze a maradék 17 esetben voltak látható különbségek (pl. a „szignó” kicsit rövidebb, az „olvasható” hosszabb és teljesebb),
- 3) abból a 18 személyből, akiknél a DA elemzések 79% feletti diszkriminációs (találati) valószínűséget adtak, 7 fő estén volt az aláírások különbsége – a 2) pont szerint – szemmel látható (náluk a *diszkriminancia-függvények* standardizált kanonikus együtthatói között jelentősek a toll függőleges vagy vízszintes kitéréseire vonatkozók),
- 4) az előbbi 18 személyből annál a 11 főnél, akiknél az aláírások különbsége nem volt szemmel látható, a *diszkriminancia-függvények* standardizált kanonikus együtthatói között viszonylag jelentősek a toll mozgásának időadataira vonatkozók.

A fentiek úgy foglалhatók össze, hogy – a Wilks-féle lambda és a „Tolerance test” eredményeinek egyébként összehasonlítható körülményei között – a szemmel észrevehető különbségek a toll függőleges vagy vízszintes kitéréseire vonatkozó standardizált kanonikus együtthatók viszonylag nagy abszolút értékeivel járnak együtt. Azokban az esetekben viszont, amelyekben a különbségek szemmel nem érzékelhetők, de a DA nagy valószínűséggel helyesen osztályoz, a toll mozgásának időadataira vonatkozó standardizált kanonikus együtthatók mutatkoznak viszonylag jelentősnek. Ez egyébként természetes, ha meggondoljuk, hogy míg egy már elkészült aláírás utólag is jól láthatók annak síkbeli kétdimenziós jellemzői, addig semmit nem mutat az aláírás folyamatának időbeli viszonyairól.

A vizsgált minta alapján megállapítható, hogy az emberek jelentős részének egyszerűen nincs „szignója”, nem használ rövid aláírást. Mivel a legtöbb ember másfelől nem használ „olvasható” aláírást sem, ezért a nagy többség – 72-ből 55 fő - esetén a háromféle aláírást vizuálisan nem megkülönböztethető. Figyelembe véve továbbá, hogy – az önkényes 79%-os diszkriminációs kritériumot elfogadva - a DA a rögzített változók alapján, csak a jól begyakorlott „szokásos” aláírást használata javasolható egy kifejlesztendő automatikus aláírást felismerő eszköz bemeneteként.

A kutatás első kérdéséhez visszatérve - *Kimutatható-e a különböző típusú aláírások azonossága?* – és eddigi logikánkat megfordítva azt jelenthettük ki, hogy a legérzékenyebbnek bizonyult statisztikai eszköz (DA) 72-ből csupán 18 esetben volt képes elfogadható diszkriminációra, következésképpen 72-ből 54 esetben volt képes kimutatni a különböző típusú aláírások azonosságát. Ez az azonosság azonban valószínűleg nem a felszíni különbözőségek mögött megtalált közös jegyekben állt, hanem tényleges azonosság, mivel a legtöbb ember nem használ sem „olvasható” aláírást, sem „szignót”.

Kiegészítő vizsgálatként, a durva tájékozódás céljából a DA és a klaszter analízis módszerével elvégeztük a „valódi” és „hamis” aláírások összehasonlítását is. Mivel személyenként mindössze három – és más-más instrukcióval készült - hamis aláírást állt rendelkezésre, igényes statisztikai elemzéseknek nem volt értelme. A DA módszere azonban még ilyen feltételek mellett is tűrhető hibahatáson belül alkalmasnak bizonyult az „azonoskezüség” kimutatására.

A 2. sz. kérdés megválaszolásának módszerei és eredményei

*Van-e a jellemzők között korreláció?*

A korrelációs vizsgálatok kiterjedtek az idő-, az út-, a sebesség-, a nyomás-, toll dőlésszög skalár értékeinek, valamint függvény értékeinek vizsgálatára.

A skalár változók vizsgálatának első lépéseként normalitást ellenőriztük.

Az SPSS programcsomaggal az út, a sebesség és nyomás adatokat elemezve, azokra teljesülni láttuk a normalitási kritériumot, ezért a Pearson-korrelációt alkalmaztuk az adatok összehasonlítására.

Az adatok közül kihagytuk az aláírást megkezdéséhez szükséges időt, amely semmilyen egyéb adattal nem mutatott korrelációt.

Ugyancsak nem vizsgáltuk az érzékelési tartományon kívül eltöltött időt, valamint az érzékelési tartományon kívül eltöltött relatív időt. Ezek szinte mindig 0-val voltak egyenlők, ezért korrelációjukról nem beszélhettünk.

A vizsgálatok során kiderült, hogy az időadatok és az útadatok nem mutatnak egymással korrelációt, ezért a két csoport eredményeit külön vizsgáltuk.

Az idő és nyomásadatok korrelációja

A számításnál nem vettük figyelembe a hamis aláírásokat és az írástesztet. A korrelációs együtthatók értékében nagy eltérések tapasztalhatók, azonban a narancssárga háttér mindig erős pozitív, a kék háttér erős negatív korrelációt jelez. Meglepő a t\_rd (papíron eltöltött relatív idő) viselkedése, amely ellentétes a többiekével.

	T	T_D	T_RD	T_P	T_RP	P_MD	P_MXD
T Pearson Correlation	1						
T_D Pearson Correlation	.926	1	.004				
T_RD Pearson Correlation	-.283	.004	1				
T_P Pearson Correlation	.778	.582	-.714	1			



T_RP	Pearson Correlation	.270	.031	-.940	.751	1		
P_MD	Pearson Correlation	-.123	-.101	.182	-.158	-.197	1	
P_MXD	Pearson Correlation	-.130	-.127	.115	-.129	-.129	.866	1

Érdekesnek találtuk ezt az eredményt összevetni a következő táblázattal, ahol azt vizsgáltuk, hogy egy-egy személy esetén kimutatható-e korreláció az adatok között.

Az alábbi táblázat a vizsgált személyek közül 33 adatának személyen belüli együttjárását tükrözi oly módon, hogy ha a korrelációt egy személy két adata között pozitívnak tapasztaltuk, akkor 1-et adtunk a tábla megfelelő értékéhez, negatív korreláció esetén pedig -1-et. Látszik, hogy  $t$  a  $t\_d$ -vel minden esetben,  $t\_p$  a  $t\_rp$ -vel,  $p\_md$  a  $p\_mxd$ -vel majdnem minden esetben korrelált. Ez összhangban van az előző táblázat nagyon erős korrelációival. Meglepő viszont  $t$  és  $t\_d$  összevetése a nyomásadatokkal, ami jelentős pozitív korrelációt mutatott.

	T	T_D	T_RD	T_P	T_RP	P_MD	P_MXD
T		33	-21	31	22	3	1
T_D			-6	25	7	5	3
T_RD				-27	-29	8	4
T_P					32	-3	-1
T_RP						-5	-3
P_MD							31
P_MXD							

#### Útadatok korrelációja

A táblázat 72 személy aláírás-mintáinak adatait tartalmazza. A számításnál nem vettük figyelembe a hamis aláírásokat, és a motoros ügyesség ellenőrzésére szolgáló vonalkövetés írástesztet. Itt a korrelációs együtthatók értékében még nagyobb eltérések tapasztaltunk, mint az időadatok esetén. A narancssárga háttér erős pozitív, a drapp háttér kevésbé erős pozitív, a sötétkék háttér erős negatív, a világoskék háttér kevésbé erős negatív korrelációt jelez.

	SH_D	SH_RD	SV_D	SV_RD	SPR_D	SL_D	SL_RD	SR_D	SR_RD	SU_D	SU_RD	SD_D	SD_RD
SH_D	1				.049								
SH_RD	.605	1			.050			.012		.037			
SV_D	.181	.370	1					-.036					
SV_RD	.424	.262	.830	1	.037							.023	
SPR_D	.049	.050	.056	.037	1			-.018	.019	-.017	.024		-.020
SL_D	.207	-.431	-.183	.116	-.061	1							
SL_RD	-.309	-.569	-.190	-.156	-.042	.696	1						
SR_D	.696	.012	-.036	.316	-.018	.847	.343	1					
SR_RD	.413	.629	.252	.157	.019	.155	.282	.338	1				
SU_D	.515	-.183	.056	.450	-.017	.476	-.143	.630	-.349	1			.031
SU_RD	.142	.037	.456	.601	.024	-.290	-.629	-.135	-.552	.558	1		
SD_D	.385	-.339	-.415	.023	-.042	.519	-.042	.591	-.436	.885	.296	1	
SD_RD	-.362	-.275	-.527	-.581	-.020	-.434	-.454	-.515	-.750	.031	.301	.274	1

Megfigyelhetők olyan adatpárok, amelyek között egyáltalán nem mutatható ki korreláció. A következő táblázat az idő és nyomás vizsgálatokhoz hasonló módszerrel szintén 33 személy egyenkénti vizsgálatának eredményeit mutatja.

	SH_D	SH_RD	SV_D	SV_RD	SPR_D	SL_D	SL_RD	SR_D	SR_RD	SU_D	SU_RD	SD_D	SD_RD
SH_D		30	2	9	17	1	-19	28	25	11	1	10	-10
SH_RD			3	1	17	-20	-20	9	28	-15	-9	-10	-8

SV_D				31	29	-3	2	-4	2	3	20	-18	-28
SV_RD					26	6	0	9	-2	21	28	-2	-27
SPR_D						-2	-7	9	13	4	16	-7	-26
SL_D							28	29	1	21	-2	22	-10
SL_RD								8	9	-5	-14	-4	-17
SR_D									19	23	-3	23	-18
SR_RD										-17	-20	-17	-29
SU_D											29	30	3
SU_RD												15	11
SD_D													19
SD_RD													

Mint várható volt, a különböző irányú elmozdulások, jó korrelációt mutatnak relatív párjukkal. Az is logikusnak tűnt, hogy sv\_d és sv\_rd korrelációt mutat spr\_d-vel. Meglepőbb, hogy az összes adat alapján az utóbbi nem volt kimutatható. Érdekes, hogy sh\_d és sh\_rd is mutat egy kis korrelációt spr\_d-vel.

Érdekes, hogy sh\_d és sl\_d is jó korrelációt mutat sr\_d-vel, míg sh\_d és sl\_d között nincs korreláció (legalábbis a 33 személy egyenkénti vizsgálata alapján).

Természetesnek tekinthető sh\_d sr\_d-vel, illetve sr\_rd-vel való erős korrelációja. (Az utóbbi meggyőzőbb az egyenkénti vizsgálat alapján.)

Meglepő az sv\_d gyenge korrelációja su\_d-vel, míg su\_rd-vel már erősebb az összefüggés. sv\_rd már jobban korrelál su\_d-vel is. Logikus, hogy az sv\_d, illetve sv\_rd mindegyike negatív korrelációban legyen sd\_d-vel, illetve sd\_rd-vel, de ez a logika sv\_rd és sd\_d között csődöt mond.

#### Függvények korrelációja

A függvények korrelációs vizsgálatára a disszertációban is kitértem. Az elemzés során csak olyan mennyiségek korrelációit vizsgáltuk, amelyek időben egyszerre kezdődtek.

Azt tapasztaltuk, hogy a függvények korrelációi a személyeket számos jellemző alapján jól elkülöníthetővé tették egymástól.

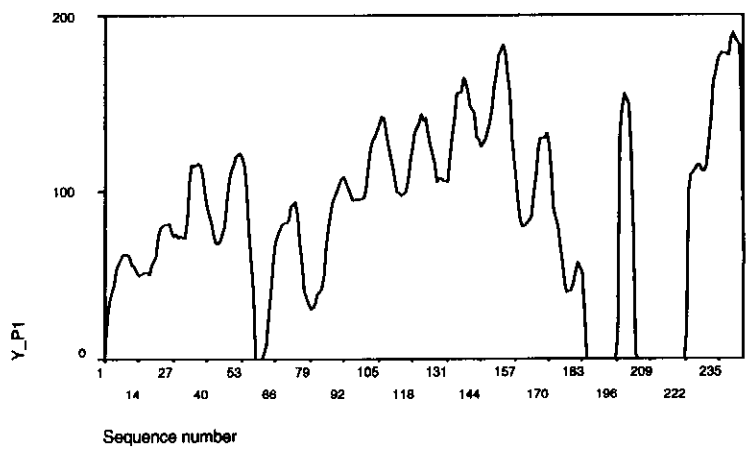
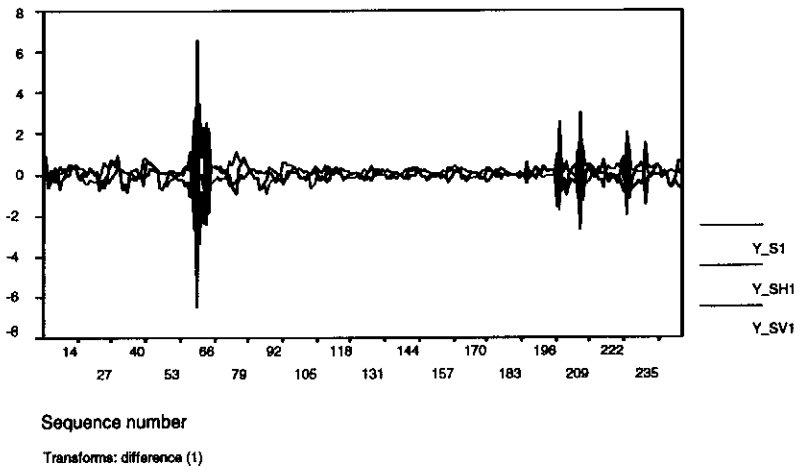
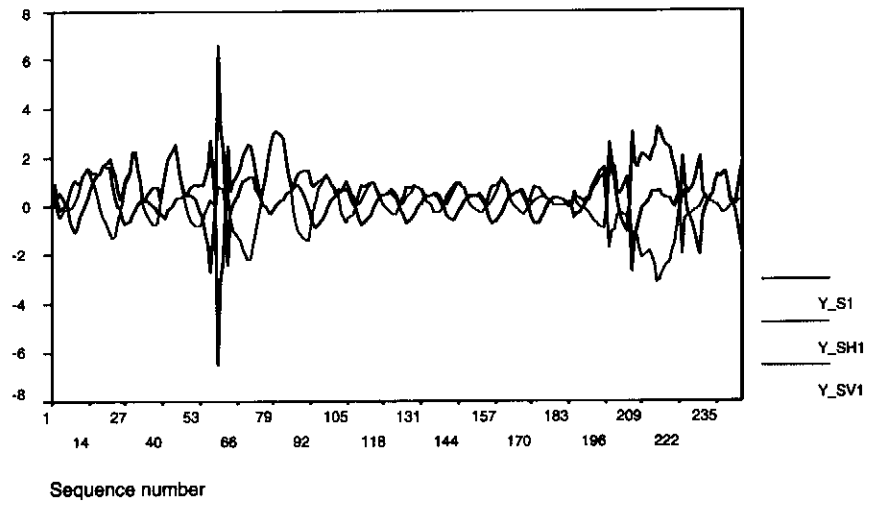
#### A 3. sz. kérdés megválaszolásának módszerei és eredményei

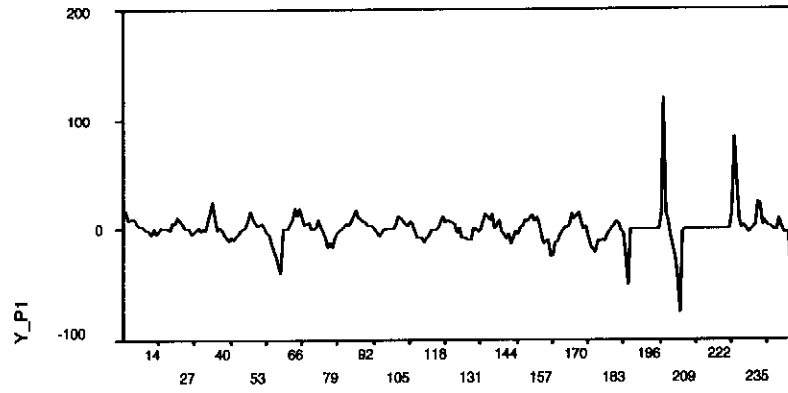
*Az aláírást időfüggvénynek értelmezve kimutatható-e az írásjellemezők nagyobb stabilitása (kisebb varianciája) az írás kezdetén?*

A kérdést kétféle szempontból és többféle módszerrel közelítettük meg.

#### a.) Előzetes tájékozódás céljából az egyes változók lefutását személyenként tanulmányoztuk

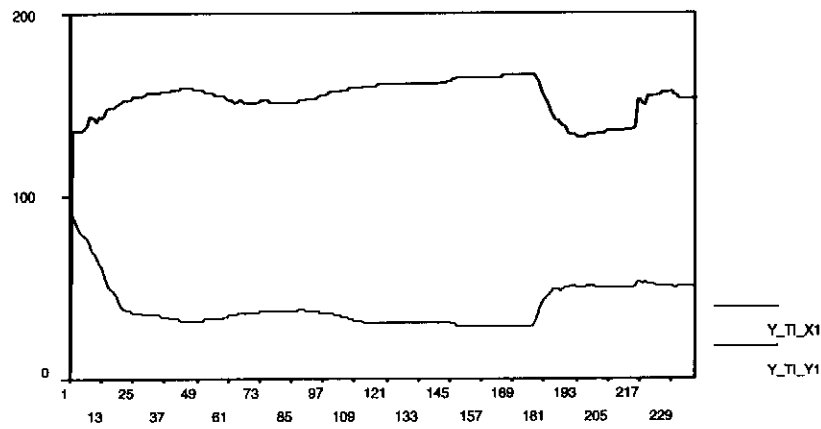
Személyenként szisztematikusan végignéztük a (1) toll pozíciójával, (2) nyomásával és (3) dőlésszögével kapcsolatos változókat úgy, hogy a háromféle változócsoponton belüli – azonos határok között mozgó - változókat (és helyenként azok első deriváltját) együtt ábrázoltuk az idő függvényében „Sequence Chart” formájában egyrészt aláírásonként külön-külön, másrészt a személy valamennyi aláírására együttesen. Az igen nagy számú grafikonból jellegre például a következő ábrázolásokat kaptuk:



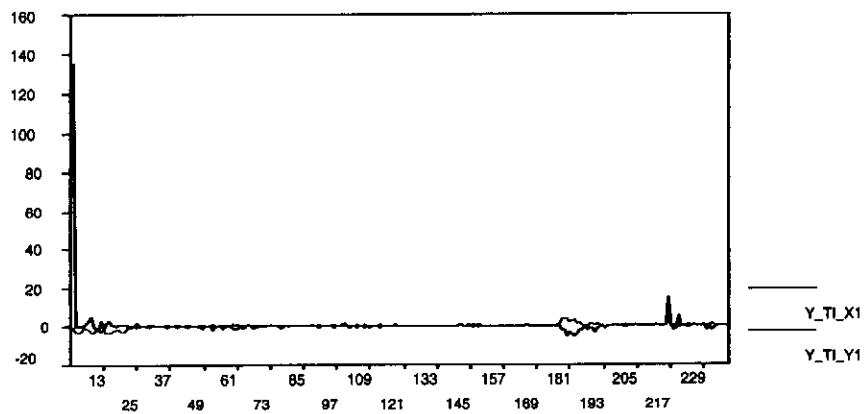


Sequence number

Transforms: difference (1)



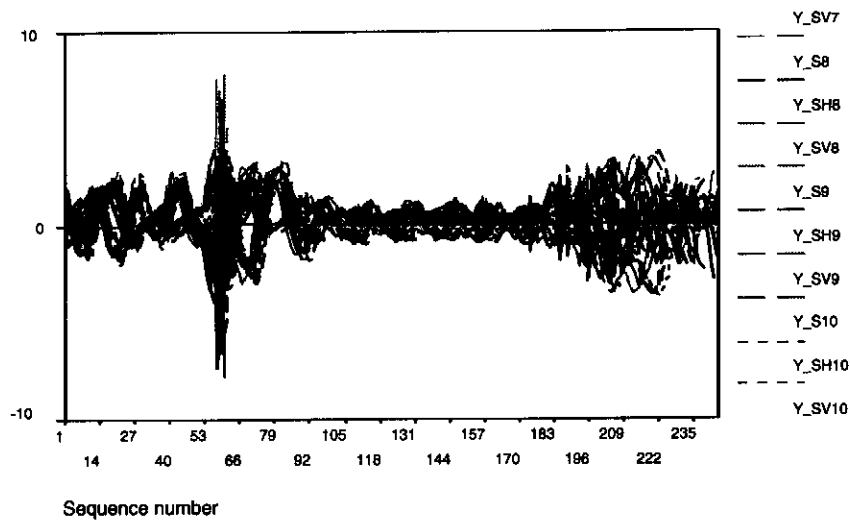
Sequence number



Sequence number

Transforms: difference (1)

valamennyi aláírássra együttesen



### b.) Normalizált idősorok – illetve azok első derivált sorainak – vizsgálata

Az idősorok hosszát az összehasonlíthatóság érdekében, a lefutások torzítása nélkül, a felesleges adatok véletlenszerű kihagyásával „hozzárövidítettük” a legrövidebbhez. Ezzel egyfajta normalizálást végeztünk, amely például lehetővé tette, hogy közös koordináta rendszerben tanulmányozzunk eredetileg egyébként különböző hosszúságú idősort. Mivel az idő függvényében a legmarkánsabb mintázatokat a toll nyomása adta, példaként a következőkben a nyomásra vonatkozó adatok varianciájának alakulását szemléltetem.

Az idő standardizálása az előfordult legkisebb értékre (502 lépésre, azaz 502 ms-ra) történt (az ennél hosszabb időkből véletlen mintavétellel hoztuk létre a kb. 502 lépést úgy, hogy a görbék lefutását megőriztük).

#### 1-100 lépésre

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
toll nyomása az 1. újabban ülésben	100	,00	80,40	3461,76	34,6176	18,32838
toll nyomása a 2. újabban ülésben	100	,00	94,03	4354,16	43,5416	20,50696
toll nyomása a 3. újabban ülésben	100	,00	82,74	3580,40	35,8040	20,57419
toll nyomása a 4. újabban ülésben	100	,00	93,45	4046,72	40,4672	22,63184
toll nyomása az 5. újabban ülésben	100	,00	99,01	4359,14	43,5914	25,13642
toll nyomása a 6. újabban ülésben	100	,00	151,69	5351,04	53,5104	34,09595
toll nyomása a 7. újabban ülésben	100	,00	89,78	4225,91	42,2591	20,84795
toll nyomása a 8. újabban ülésben	100	,00	134,13	4941,86	49,4186	31,24164
toll nyomása az adott hamis (100) aláírás során	100	,00	144,47	7648,46	76,4846	48,38643
toll nyomása az adott hamis (101) aláírás során	100	,00	170,03	7637,92	76,3792	58,30800
toll nyomása az adott hamis (102) aláírás során	100	,00	141,35	8076,27	80,7627	50,06914
Valid N (listwise)	100					

## 101-200 lépésre

## Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
toll nyomása az 1. újabbn ülésben	100	,00	87,03	4771,79	47,7179	24,06326
toll nyomása a 2. újabbn ülésben	100	,13	85,94	6324,91	63,2491	14,43664
toll nyomása a 3. újabbn ülésben	100	,00	86,75	4888,21	48,8821	21,83400
toll nyomása a 4. újabbn ülésben	100	,00	81,43	5086,35	50,8635	22,79835
toll nyomása az 5. újabbn ülésben	100	,00	84,60	6427,54	64,2754	17,77816
toll nyomása a 6. újabbn ülésben	100	29,73	105,11	7498,14	74,9814	13,74077
toll nyomása a 7. újabbn ülésben	100	,00	107,94	6244,91	62,4491	25,68692
toll nyomása a 8. újabbn ülésben	100	,00	103,56	7445,15	74,4515	20,06580
toll nyomása az adott hamis (100) aláírás során	100	,00	162,59	9995,38	99,9538	54,40109
toll nyomása az adott hamis (101) aláírás során	100	,00	137,51	6555,94	65,5594	55,58436
toll nyomása az adott hamis (102) aláírás során	100	,13	168,70	14204,26	142,0426	17,72252
Valid N (listwise)	100					

## 201-300 lépésre

## Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
toll nyomása az 1. újabbn ülésben	100	,00	72,66	2240,89	22,4089	23,05028
toll nyomása a 2. újabbn ülésben	100	,00	87,85	2237,54	22,3754	26,66781
toll nyomása a 3. újabbn ülésben	100	,00	103,56	3166,29	31,6629	30,26427
toll nyomása a 4. újabbn ülésben	100	,00	109,22	2504,48	25,0448	28,67694
toll nyomása az 5. újabbn ülésben	100	,00	95,77	2836,46	28,3646	31,37820
toll nyomása a 6. újabbn ülésben	100	,00	98,12	2769,12	27,6912	26,95931
toll nyomása a 7. újabbn ülésben	100	,00	100,51	3665,02	36,6502	29,98459
toll nyomása a 8. újabbn ülésben	100	,00	114,76	3809,38	38,0938	35,56351
toll nyomása az adott hamis (100) aláírás során	100	,00	168,26	8804,04	88,0404	56,36359
toll nyomása az adott hamis (101) aláírás során	100	,00	181,90	10140,11	101,4011	61,23341
toll nyomása az adott hamis (102) aláírás során	100	,00	219,10	2751,28	27,5128	58,27145
Valid N (listwise)	100					

## 301-400 lépésre

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
toll nyomása az 1. újabban ülésben	100	,00	88,40	4690,12	46,9012	19,99467
toll nyomása a 2. újabban ülésben	100	,00	107,31	6758,74	67,5874	26,46057
toll nyomása a 3. újabban ülésben	100	,00	112,13	6603,89	66,0389	37,05691
toll nyomása a 4. újabban ülésben	100	,00	114,10	6055,50	60,5550	30,10557
toll nyomása az 5. újabban ülésben	100	,00	144,47	8075,73	80,7573	29,36839
toll nyomása a 6. újabban ülésben	100	,00	126,47	7054,05	70,5405	30,22768
toll nyomása a 7. újabban ülésben	100	,00	136,38	7316,79	73,1679	34,80651
toll nyomása a 8. újabban ülésben	100	,00	142,12	7563,52	75,6352	40,35606
toll nyomása az adott hamis (100) aláírás során	100	,00	164,32	7770,18	77,7018	67,16955
toll nyomása az adott hamis (101) aláírás során	100	,00	168,70	7808,74	78,0874	72,36039
toll nyomása az adott hamis (102) aláírás során	100	,00	193,40	11176,95	111,7695	47,16737
Valid N (listwise)	100					

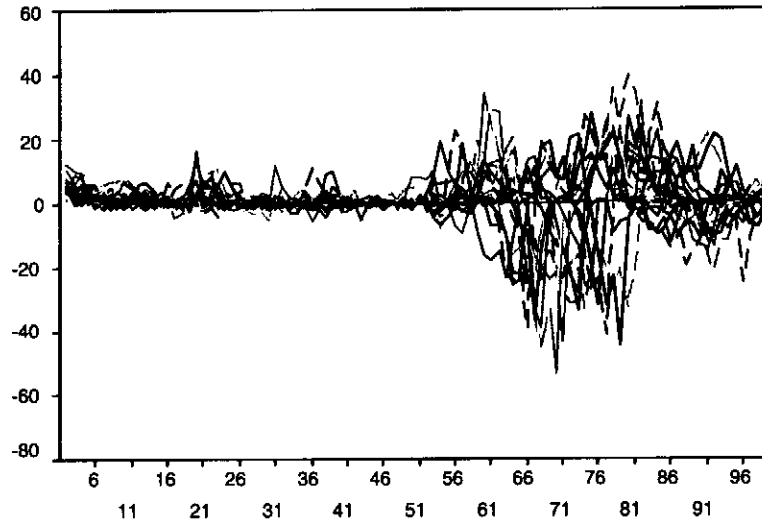
## 401-502 lépésre

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Sum	Mean	Std. Deviation
toll nyomása az 1. újabban ülésben	102	,00	107,94	6292,40	61,6902	21,82685
toll nyomása a 2. újabban ülésben	102	,00	134,50	7987,77	78,3115	29,56728
toll nyomása a 3. újabban ülésben	102	46,60	146,85	8800,45	86,2789	22,89957
toll nyomása a 4. újabban ülésben	102	49,04	107,94	7953,68	77,9773	11,59059
toll nyomása az 5. újabban ülésben	102	,00	134,50	8258,07	80,9615	24,67479
toll nyomása a 6. újabban ülésben	102	,00	126,11	8769,63	85,9768	24,86895
toll nyomása a 7. újabban ülésben	102	35,28	142,90	9202,81	90,2236	23,50742
toll nyomása a 8. újabban ülésben	102	60,80	168,26	9013,80	88,3706	19,39089
toll nyomása az adott hamis (100) aláírás során	102	,00	182,37	13948,10	136,7461	51,95911
toll nyomása az adott hamis (101) aláírás során	102	,00	190,96	11885,87	116,5281	60,30011
toll nyomása az adott hamis (102) aláírás során	102	,00	164,32	9518,72	93,3208	66,82957
Valid N (listwise)	102					

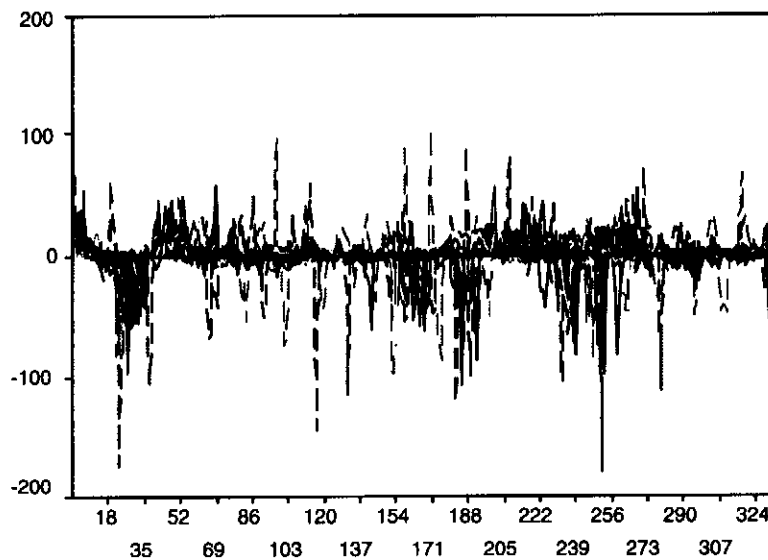
Az adatok alapján úgy tűnt, hogy a nyomás varianciája a kezdeti szakaszhoz képest nőtt, majd egy maximumon áthaladva később enyhén csökkent. Ezt a kapcsolatot valamennyi aláírásra kiterjesztve következő ábra szemlélteti.

Valamennyi aláírás nyomás-ideő görbéjének első deriváltja:



Sequence number

Transforms: difference (1)



Sequence number

Transforms: difference (1)

A fenti példák kicsiben viszonylag jól reprezentálják a teljes feldolgozott mintát.

Összefoglalásként azt állapítottuk meg, hogy bár vannak olyan személyek, akiknél az írásjellemzők az írás kezdetén nagyobb stabilitást mutatnak, ez nem tekinthető általánosnak. Ugyanakkor az is kérdés, hogy ahol valóban kisebb variációval indul az aláírás, ott ez tényleg a „motoros szubrutinoknak” tulajdonítható-e, vagy az aláírás rajzolatának a sajátossága.



#### A 4. és 5. kérdés megválaszolásának módszerei és eredményei

4. Létrehozható-e egy általános aláírás profil, vagy egyénenként különböző írásjegyeknek van nagy stabilitása, így azonosító jelentősége?

5. A jellemzők alapján jól elkülöníthetők-e a személyek egymástól?

A két kérdés szorosan összefügg egymással, ezért azokat együttesen igyekeztünk megválaszolni.

A biometrikus azonosító eljárások fejlesztése során fontos igényként fogalmazódik meg, hogy a megkülönböztető jellemzőket egy egységes adatstruktúrában ábrázoljuk. Ez az adatstruktúra szolgálja a későbbiekben a döntés alapját.

A számos különálló jellemző elemzésére általánosságban két elv alkalmazható. Az egyik módszer egy alkalmas sokdimenziós osztályozó eljárással minden változót egyidejűleg veszünk figyelembe. A másik lehetséges elv szerint a változókat külön-külön hasonlítjuk össze a referenciában tároltakkal, és a végső döntést az egyes rész döntések alapján komponáljuk meg. Az aláírás azonosító rendszerünkben mindkét elv alkalmazhatóságát teszteltük.

Mint sokdimenziós azonosító módszerek, az „azonoskezőség” kimutatására ígéretes megoldást kínáltak a mesterséges neurális hálózatok

A neurális hálók alkalmazásának általunk felállított koncepciója abban állt, hogy ha egy adott személy megismételt aláírásai során rögzített viszonylag nagyszámú változó idősorait párhuzamos bemeneti változóknak tekintjük, az összehasonlítandó aláírás során rögzített ugyanezen változók idősorait pedig kimeneti változókként fogjuk fel, akkor kézenfekvő az a feltételezés, hogy a kimeneti változók jobban reprodukálhatók a bemenetiek alapján akkor, ha az összehasonlítandó aláírás is ugyanattól a személytől származik, mint akitől a „bementi aláírások”.

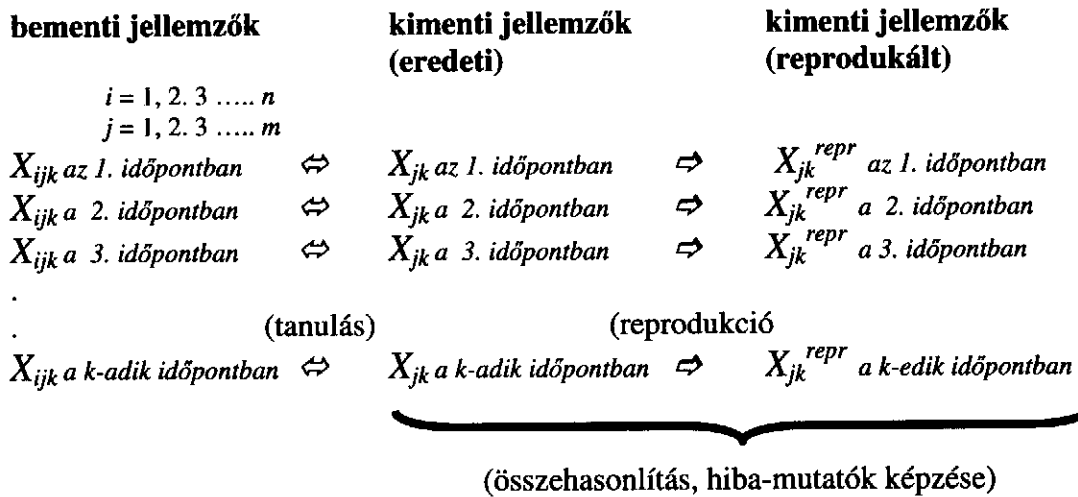
Adott tehát az  $n$  számú aláírás egyenként  $m$  számú bementi jellemzője (változója) a következők szerint:

$$X_{11b}, X_{12b}, X_{13b}, \dots, X_{21b}, X_{22b}, X_{23b}, \dots, X_{31b}, X_{32b}, X_{33b}, \dots, X_{ijb}, \dots, X_{nmb}$$

ahol  $X_{ijb}$  első indexe ( $i$ ) az adatbázisba tett aláírás sorszáma, második indexe ( $j$ ) a bementi jellemzőt azonosítja, a  $b$  pedig a bemenetre utal. Az egyszerűség kedvéért az időt nem indexeltük: mindezeknek a változóknak az értékei 1 ms-onként rendelkezésre állnak tipikusan több száz vagy ezer lépéses idősorokként. A fenti adatok képezik az azonosítás adattárát.

Adottak továbbá az azonosítandó aláírás  $X_{ijk}$  idősorai, ahol  $i$  az aláírás száma (egy összehasonlítás aktusban  $i=1$ ),  $j$  a jellemző azonosítója, a  $k$  pedig a kimenetre utal.

Az általunk alkalmazott eljárás vázlata:



$k$  a „kiegyenlített” idősorok hossza (a „kiegyenlítés” fogalmát és módját lásd később)

Az azonosítandó aláírás származhat attól a személytől, akire az adattár adatai (bementi adatok) vonatkoznak, de származhat mástól is: éppen ennek eldöntése a célunk.

A feltételezésünk az volt, hogy ha a kimeneti adatok (a toll pozícióját, nyomását, dőlésszögét, papíron tartózkodásának időbeliségét stb. jellemző adatok) ugyanattól a személytől származnak, mint akitől az ugyanezen dimenziójú bementi adatok, akkor az egyes idősorok lefutásában rejlő egyedi jellegzetességek mind a bemeneti mind pedig a kimeneti oldalon megjelennek és ezért a kimeneti változók könnyebben, gyorsabban és nagyobb pontossággal reprodukálhatók, mint ha az összehasonlítandó aláírás mástól származik.

A feldolgozott adatok feltételezésünket nagyrészt igazolták.

Technikai – és részben elvi – problémát jelentett, hogy mivel az egyes aláírások időtartama (még azonos aláírók esetén is) bizonyos ingadozást mutatott, valahogyan kezelni kellett az idősorok eltérő hosszát. Megjegyezzük, hogy a DA eredményei alapján az idő dimenziók diszkriminációs fontossága igen nagy, általában jelentősen hozzájárulnak azonos személyek különböző típusú, vagy más-más személyek aláírásainak megkülönböztetéséhez. Ezt azért fontos hangsúlyozni, mert ha az idősorok hosszát valamilyen technikával kiegyenlítjük, ezt a megkülönböztető információt elveszítjük.

Az idősorok hosszát kétféle módon egyenlíthettük ki:

- 1) adatok véletlenszerű kihagyásával valamennyi idősort „hozzárövidítjük” a legrövidebbhez (normalizálás), vagy
- 2) a legrövidebb idősor végénél a többi maradékát „levágjuk”.

Mindkét módszernek vannak előnyei és hátrányai, ezért mindkettőt alkalmaztuk. Az 1) módszernél az adatok előkészítése rendkívül időigényes manuális szerkesztést és adatmanipulációt igényel, de megőrizzük a teljes idősorok eredeti lefutását. A 2) módszernél az adatok előkészítése egyszerű, de az idősorok eredeti lefutását elveszítjük. Tapasztalataink ugyanakkor arra utalnak, hogy ez az egyszerűbb 2) módszer is célravezető, mert az alkalmazott neurális háló modellek eléggé adaptívak ahhoz, hogy az idősorok viszonylag nagy száma kompenzálni képes azok rövidségét. További technikai könnyebbséget jelentett,

hogy a maradékok „levágását” nem kellett szigorúan a legrövidebb idősorhoz kötni. Ha ugyanis például a négy-öt legrövidebb idősor hossza csak kicsit tért el, akkor elegendő volt ezek közül a leghosszabb végénél „levágni” az állomány maradékát, az alkalmazott neurális háló modellek képesek voltak jól kezelni az így megjelenő – korlátozott számú – hiányzó adatot.

Az eredmények arra utaltak, hogy a rögzített jellemzők valószínűleg elégségesek adott személyek aláírásainak azonosításához, illetve más személytől származó aláírásoktól való megkülönböztetéséhez. Mindjárt meg kell azonban jegyezni, hogy ehhez az általunk jelenleg használt – ígéretesnek bizonyult – módszerek további finomítására van szükség.

Ugyanakkor a neurális hálókat jellegéből következően, hogy alkalmazásuk sok empirikus erőfeszítést, „próbálgatást”, a legmegfelelőbb modellek és paraméterek fokozatos megkeresését igényelte. Az is a neurális hálókat sajátossága, hogy közvetlenül nem szolgáltatott olyan mutatókat, amelyek az egyes bementi változóknak a kimenethez való számszerű hozzájárulását jellemeznék (ilyen mutatók voltak pl. a DA esetében a *a diszkriminancia-függvények* standardizált kanonikus együtthatói). Ennek a kérdésnek a megválaszolására jelen esetben egyrészt az a munkai igényes eljárás követhető, hogy a neurális modelleket sokszor lefutattva változtatjuk – lépésenként cseréljük, illetve eltávolítjuk az egyes bementi változókat és megfigyeljük ennek hatását a kimenetre.

Másik – inkább kiegészítő lehetőség az volt, hogy a neurális modelleket lefutattuk, majd az egyes bementi változó idősorainak elkészítettük a kimeneti idősorral való kapcsolatát mérő kereszt-korrelációs függvényeit.

A következő táblázat a három vizsgált neurális modell megkülönböztető tulajdonságára mutat példát.

Az *RMS Error* (kritérium vagy hiba-függvény) és a *Mean Absolute Error* értékei a tanító adatokra

Az adattár adataival összehasonlítható jellemzők $\Phi$	MLP modell		Bayes modell		RBF modell	
	<i>RMS Error</i>	<i>Mean Absolute Error</i>	<i>RMS Error</i>	<i>Mean Absolute Error</i>	<i>RMS Error</i>	<i>Mean Absolute Error</i>
Valódi 1	0,399	0,270	0,461	0,287	0,358	0,274
Valódi 2	0,382	0,177	0,401	0,198	0,341	0,211
Hamis 1	0,671	0,466	0,847	0,709	0,592	0,479
Hamis 2	0,630	0,459	0,891	0,763	0,487	0,367

A táblázat világosan mutatja, hogy a két hamis aláírásból származó idősor reprodukciós hibája lényegesen nagyobb (átlagosan közel kétszerese), mint a megfelelő két valódi aláírásból származó idősoré.

A neurális hálózatos elemzések alapján azt állapítottuk meg, hogy a vizsgált paraméter beállítások mellett a Bayes-modell tűnt a legalkalmasabbnak a hamis és valódi aláírások megkülönböztetésére. A kutatás eredményeiről referált nemzetközi folyóiratban számoltunk be<sup>3</sup>. Szintén a vizsgálati eredményekre támaszkodik „A bevezetés az SPSS

<sup>3</sup> Cserjes, A., Kutor, L., Izsó, L. (2004). Cserjes, Á., Kutor, L., Izsó L., Identifying person-specific dynamic patterns in handwritten signatures by Bayesian neural networks. *International Journal of Psychology*, (2004).39 (5-6) Suppl. S OCT-DEC 2004.

programrendszerbe” ELTE tankönyv idősor elemzés fejezete, ami az elemzés lépéseit végigvezetve mutatja be a programrendszer használatát.<sup>4</sup>

### **Válaszok a bírálóiban megfogalmazott kérdésekre:**

#### **I. Kérdés:** Az aláírás minták felvételével kapcsolatosan:

*„Milyen időeloszlásban – egyetlen alkalommal, vagy hosszabb időszakban, több alkalommal vették fel az egyes személyektől a 18 aláírásmintát? Hogyan győződtek meg az egyes aláírásjellemzők hosszúidejű stabilitásáról? (Nem nyilvánvaló ugyanis, hogy az egyetlen alkalommal felvett több aláírásmintán stabilnak mutató jellemzők hosszabb ideig – több hétig, hónapig, évig – is megőrzik stabilitásukat.)”*

Az aláírások hosszú távú idői stabilitásának vizsgálata nem volt célunk a következők miatt:

Történelmi okokból a modern társadalomban az aláírás kitüntetett szerepű. Egyrészt a dokumentumok hitelesítésére szolgál, másrészt az akaratlagosság kifejezésének is eszköze.

Az aláírást (mint viselkedési jellemzőt) számos tényező befolyásolja. Ezek közül legfontosabbak, az írástanulás körülményei, a személyiség jellemzők, a kézmozgás finomsága és begyakorlottsága, valamint az aktuális szubjektív és objektív környezeti tényezők mint például az érzelmi állapot, fáradtság, egészségi állapot, az íróeszköz és írófelület, aláírási helyzet,..... Az életkori befolyás nem önmagában, hanem számos tényező kölcsönhatásának eredményeként jön létre. A problémakör rendkívül összetett, a grafológiában is csak részlegesen feltárt.

Az eredeti aláírás azonosító rendszer és berendezés kidolgozását célzó kutató munkában szorosan együttműködtünk a Grafológiai intézettel. A szakértők véleményére támaszkodva az aláírást úgy tekintettük, mint egy egyedi tulajdonságaiban szórást mutató, azonban összképét tekintve rövidtávon viszonylag stabil egyéni azonosító jegyet.

A kutatás központjában az állt, hogy hogyan lehet a legstabilabb jellemzőket mérni és azonosításra felhasználni. A hosszú távú stabilitást, ezért nem vizsgáltuk.

**II. Kérdés** *A biometrikus profillal kapcsolatosan, hogyan határozták meg a biometrikus profil egyes elemeinek súlyfaktorait? Rangsorolja a biometrikus profil 36 elemét – átlagos, tipikus – fontosságuk és stabilitásuk szerint! Különböző személyek esetén mutatnak-e az egyes biometrikus profil elemekhez rendelt súlyfaktor értékek, illetve rangsorok hasonlóságot, azaz lehet-e általános megállapításokat tenni a biometrikus profil egyes elemeinek az aláíró személyt jellemző voltára, illetve más személyektől való megkülönböztető erejére?*

A biometrikus aláírás profil javasolt módszere szerint az egyes aláírás jellemzőket a referencia aláírásokban tapasztalt eltérések (szórás) alapján állapítottuk meg. Azok a jellemzők, melyek egy adott személynél kis szórásuk alapján stabilnak mutatkoztak, ugyanakkor más személyek aláírásától jelentősen eltértek, alkalmasak lehetnek a megkülönböztetésre, vagyis a személyazonosításra. A szerteágazó statisztikai vizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy nem tudtunk olyan egyértelmű rangsort felállítani, amit követve két személy aláírása, és ami ennél még fontosabb a hiteles eredeti, és a hamisított aláírásai nagy biztonsággal megkülönböztethetőek lennének. E helyett azt

---

<sup>4</sup> Ketskemény L., Izsó L. Bevezetés az SPSS programrendszerbe. Módszertani útmutató és feladatgyűjtemény statisztikai elemzésekhez. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest 2005. ISBN 963 463 823 6. (356-364)

tapasztaltuk, hogy személyenként más-más jellemzőnek van nagyobb azonosító ereje. Ezt fejeztük ki a súlyfaktorral és, a szavazáshoz hasonlítható osztályozó algoritmussal ezekkel érvényesítettük a jellemző értékének fontosságát, súlyát.

Az aláírások hitelességének ellenőrzésében a rejtett dinamikus jellemzőknek

**III. Kérdés** *A referencia aláírások felvételével kapcsolatosan: Nem eredményez-e nemkívánatos sorrendfüggést a referencia aláírások felvételének ismertetett módszere, melyben a felvétel során azonnal a korábban felvett aláírásokhoz hasonlítanak minden újabbat, azaz nem hamisítja vagy hiúsítja meg teljesen esetleg egy „rosszul sikerült” legelső – következőképp semmihez nem hasonlított – aláírás a teljes referencia felvételt?*

A referencia aláírás felvételének módszerével kapcsolatban abból indultunk ki, hogy életszerű aláírás azonosítási helyzetben (pénzintézetekben, dokumentumok hitelesítésekor) legfeljebb 3-5 referencia aláírás felvételére és rendszeren belüli tárolására van mód. Amennyiben ezek az aláírások már a felvétel során is jelentősen eltérnek, komoly figyelmeztetésül szolgálhatnak, hogy az adott személy aláírása nem megfelelő azonosító jegy a személy hitelesítésére. Szélsőséges esetben az is előfordulhat (bár a gyakorlatban ez nehéz helyzeteket teremthet) hogy a számítógéppel támogatott aláírás-azonosító rendszer használatával a kezelő személyzetnek már a referencia aláírások felvétele során fel kell hívni az aláíró figyelmét a szisztematikus, stabilitásra törekvő aláírásra.. Amennyiben az aláíró nem tud a referenciák azonosságának ellenőrzése során stabil aláírást szolgáltatni, ha a referencia aláírások már egymás között is olyan jelentősen eltérnek, hogy az azonosságuk nem kimondható, akkor nem elvárható, hogy a későbbiekben felvett új aláírás alkalmas lehet a személy hitelesítésére.


Amint más biometrikus módszerek esetében egyértelmű, vannak olyan helyzetek amikor a megkülönböztető jellemzők hiányában, vagy nem megfelelő színvonal esetén (például sérült ujjak esetén az ujjnyomat azonosítás, szem elváltozások esetén az írisz vagy retina alapú azonosítás) nem alkalmazható, ezért alternatív azonosítók bemutatását kell elvárni.

A biometrikus azonosító- illetve személyhitelesítő eljárások sorában az aláírásnak viszonylagos megbízhatatlansága ellenére - elsősorban a tudatosság és a szándék kinyilvánítása miatt – jogi és pénzügyi tranzakciókban fontos szerepet tulajdonítanak.

A disszertációban bemutatott módszerek a döntés bizonyosságának növelését célozták, melyet tapasztalataink szerint a reprodukálható mérések, a matematikai elemzések és a döntést segítő számítógépes megjelenítési technikák nagyban segíthetik.

Köszönöm még egyszer Dr. Radványi András opponensi munkáját és dolgozatom pozitív bírálatát.

Busapest, 2007. december 6.

  
Kutor László