

# ONLINE ALÁÍRÁSHITELESÍTÉS ÉS KÉZÍRÁS OSZTÁLYZÁS

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

GRIECHISCH ERIKA



Témavezető:  
DR. CSIRIK JÁNOS  
professor emeritus

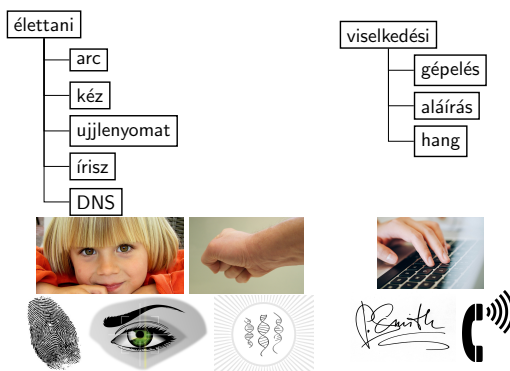
SZTE Informatika Doktori Iskola  
Szegedi Tudományegyetem  
Informatika Intézet

2018

# 1. BEVEZETŐ

---

A hitelesítés régóta fontos szerepet kap a világunkban, hiszen már az őskor óta léteznek személyek beazonosításra szolgáló eszközök: barlangrajzokon kézjegyek, később a különböző kultúrákban a dokumentumokon használt pecsétek, állatok esetében tulajdonjegyek vagy másnéven billogok. A kézírás elterjedésével egyre gyakoribbá az aláírás vált, a szignók használata, mely a biometrikai azonosítók közé tartozik, ezen belül is viselkedés alapúak egy fajtája (lásd 1.1. ábra), mely egyedisége alapján az író személye azonosíthatóvá válhat a különböző dokumentumokon.



1.1. ábra. Biometrikus azonosítók

A kézírások egyedisége viszonylagos, így a kézírás alapján történő hitelesítés pontossága is alulmarad az élettani biometrikus azonosítókhoz képest (pl. arc, kéz, ujjlenyomat, írisz vagy DNS alapú azonosításénál). Nem véletlen, hogy napjainkban is a szakértők és a kutatók minél jobb, pontosabb módszerek és eszközök fejlesztésére törekednek.

A hitelesítés során a fő célunk, hogy egy adott (alá)írásmintáról eldöntsük, hogy attól a személytől származik-e, akitől írásmintáink (ún. referenciáink) vannak.

Mindamellett, hogy az igazságügyi szakértők közül az írásszakértők rendelkeznek megfelelő képzettséggel és tudással ahhoz, hogy a bíróság felkérése alapján dokumentumokat vizsgáljanak eredetiség szempontjára.

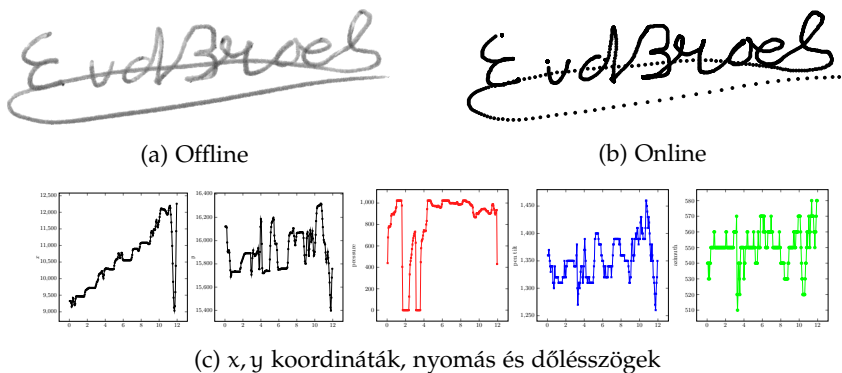
ből vagy aláírásokat hitelesítsenek, már a 70-es években megjelentek a törekvések arra, hogy a kézírásokat automatikus módszerekkel vizsgálják.

Dolgozatomban az online formában rögzített aláírások hitelesítésével, kézírások osztályzásával kapcsolatos kutatásaimat összegeztem.

## ONLINE ÍRÁSMINTÁK

A jelenlegi technológiai fejlődéssel számos eszköz jelent meg, melyek a kézírás rögzítésére szolgálnak és a képi információkon túl szenzorok segítségével számos dinamikus jellemzőt mérnek az írás folyamata közben. Az ilyen eszközökkel rögzített írásokat hívjuk online kézírásnak, az aláírásokat pedig online aláírásnak.

Hitelesítés vagy osztályozás esetén a jellemzők egy része közvetlenül az eszközből származik, ezek leggyakrabban az  $x, y$  koordináták, a nyomáserősség, vagy az író eszköz dőlésszöge(i) az írófelület síkjához képest. Bizonyos eszközökben giroszkóp, gyorsulásmérő rögzíti az adatokat. Emellett további jellemzőket származtathatunk az eszköz által rögzített adatokból. Ilyen jellemző például a sebesség, a gyorsulás, a szögsebesség vagy a görbület. Az 1.2.a ábrán láthatjuk egy aláírás szkennelt képét (offline írásminta), mellette az ugyanezen aláíráshoz tartozó online minta alapján rekonstruált írásképet, alatta az online mintához tartozó  $x, y$ , nyomás illetve dőlésszögeket az idő függvényében (1.2.c ábra).



1.2. ábra. Egy aláírás offline és online formában a SigComp2009 adatbázisból

## 2. ELÉRT TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

---

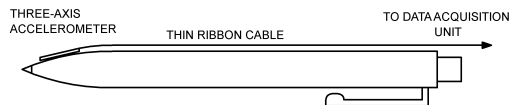
### ALÁÍRÁS ADATBÁZISOK

Kevés nyilvános aláírás adatbázis áll rendelkezésre, és ezek egyike sem tartalmaz gyorsulásmérő illetve giroszkóp szenzorokkal rögzített adatokat. Az adatbáziskészítés egyik célja volt, hogy megvizsgáljuk az egyszerű, olcsó eszközökkel mért adatok használhatóságát aláíráshitelesítésben. Másik célja, hogy bővítsük a nyilvános, kutatásban használható aláírásadatbázisok számát.

#### *AccSigDb*

Egy golyóstoll hegyéhez rögzítettünk egy 3-irányú gyorsulásmérő szenzort, mellyel mérni tudtuk az írás közbeni gyorsulást. Az eszköz sematikus ábrája illetve fotója a 2.1. ábrán látható.

Az adatbázis első verziója AccSigDb<sub>1</sub> néven 2011. január és március között készült [1]. Az adatbázis 40 aláírotól 10-10 valódi (angolul genuine) és 5-5 egyszerű hamisítást (angolul forged) tartalmaz. A hamisítás során a hamisító látta a valódi aláírásokat és begyakorolta azok lemásolását. Ezt követően rögzítettük a mintát a gyorsulásmérős tollal. Az adatbázis összesen  $40 \cdot 15 = 600$  aláírást tartalmaz.



2.1. ábra. Gyorsulásmérővel ellátott golyóstoll

Az adatbázist 2011 áprilisa és májusa között bővítettük további 300 aláírással: a korábbi 40 aláíróból 20 aláírótól újabb aláírásokat kértünk ugyanabban az elrendezésben: 10-10 valódi aláírást és 5-5 hamisítást. Minden hamisítás esetén a korábban hamisított aláírást próbálták reprodukálni a kísérletben résztvevők.

A 2.2. ábrán két valódi és két hamisított aláírás képe és a 3-irányú gyorsulásadataiból számolt gyorsulási magnitudo-értékek láthatóak.

### *GyroSigDb*

A gyorsulásadatok használhatóságát szeretnénk volna összehasonlítani egyéb adatokkal, ezért golyóstollra rögzítettünk egy kétirányú giroszkópot és mértük az írás közbeni szögsebességet. Az így felszerelt golyóstollal ismét adatokat gyűjtöttünk a korábbihoz hasonló elrendezésben.

Az új adatbázishoz 21 aláíró járult hozzá, fejenként 10-10 valódi aláírással, illetve egyiküktől 50 aláírást rögzítettünk. Négyen közülük 5-5 hamisított aláírást is adtak. Két valódi aláírás és a hozzájuk tartozó szögsebességjelek láthatóak a 2.3. ábrán.

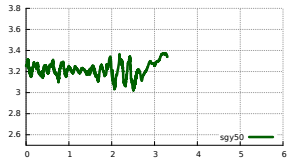
### *Hitelesítés az adatokon [1]*

Elsőként az AccSigDb<sub>1</sub> adatbázison Dynamic Time Warping (DTW) alapú összehasonlítást használtunk az aláírások hitelesítésére. A hitelesítés során a 10 valódi aláírásból minden aláíró esetén 5-öt választottunk véletlenszerűen referencia aláírásnak és a másik 5 valódi illetve 5 hamisításon teszteltük a módszert. Minimális, maximális és átlagos DTW távolságokat összehasonlítva a 2.1. táblázat összegzi az EER értékeket, melyek a szakirodalomban korábban hasonló eszközzel kapott eredményekkel összhangban vannak [2].

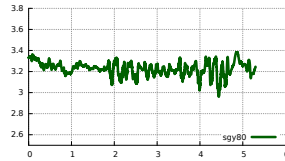
		Teszt távolság		
		átlagos	maximum	minimum
Tanító	átlagos	14.50%	23.50%	18.00%
	maximum	17.25%	29.50%	23.25%
	minimum	15.50%	23.25%	13.00%

2.1. táblázat. EER értékek a referencia és a kérdéses aláírásokon

*Gyantsó Sz Gyantsó Gy*

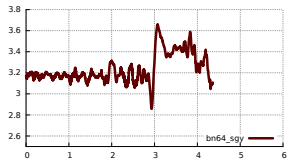


(a) Valódi (AccSigDb1)

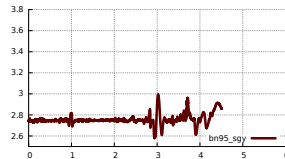


(b) Valódi (AccSigDb2)

*Gyantsó Gy Gyantsó Gy*

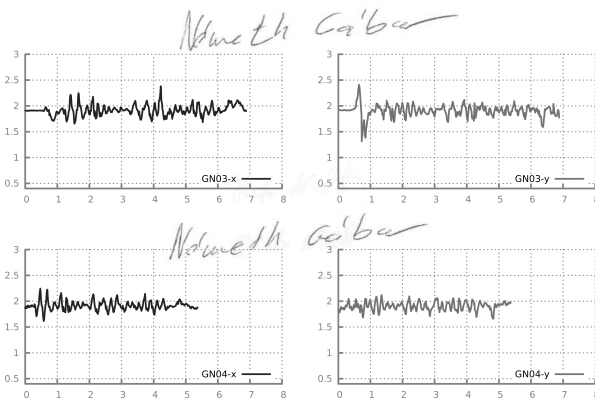


(c) Hamítás (AccSigDb1)



(d) Hamítás (AccSigDb2)

2.2. ábra. Alíráások képei és a gyorsulásmérővel rögzített gyorsulás nagysága két valódi és két hozzájuk tartozó hamítás esetén a két adatbázisból (AccSigDb1 és AccSigDb2)



2.3. ábra. Két valódi aláírás és a hozzájuk tartozó jelek (GyroSig, bal/jobbr: x/y tengely)

### *A referencia aláírások kiválasztásának hatása [3]*

Az AccSigDb adatbázis bővítésével további vizsgálatokat végeztünk. Kíváncsiak voltunk arra, hogyan befolyásolja a referencia aláírások kiválasztása a módszer által elérhető pontosságot, illetve arra, hogy a néhány hónap eltéréssel rögzített aláírások esetén tapasztalhatunk-e változást a hitelesítés pontosságát illetően.

27 író esetében (a 40ból) az FRR érték nem minden esetben 0% volt, tehát az I. fajú hiba nem függött a referencia aláírások megválasztásától az írók 67.5%-ában. Az átlagos FAR 14.34% lett 13.62%-os szórással; az átlagos FRR 12.89%, 24.33% szórással a teljes AccSigDb<sub>1</sub> adatbázison. Az FRR magas szórása, együtt azzal az eredménnyel, hogy 27 író esetében az FRR 0%, azt mutatja hogy az I. fajú hiba nagyban függ az írón és jóval nagyobb a variabilitása, mint a II. fajú hibának.

A vizsgálataink során kimutattuk, hogy a hitelesítés nagymértékben függ a megválasztott referencia aláírások halmazától és a két – néhány hónap eltéréssel rögzített – adatbázis esetén hasonló eredményeket értünk el a hitelesítés pontosságát tekintve.

### *Gyorsulás és szögsebesség összehasonlítása [4, 5]*

A továbbiakban giroszkóppal rögzített aláírás dinamikáját hasonlítottuk össze a gyorsulásmérővel mért aláírásokkal. A giroszkópos adatbázisunkban csak néhány hamisítás található, így a kis elemszámú minta alapján az adatokon hitelesítést nem tudtunk végezni, helyette osztályozást végeztünk. Mindkét adat esetén a dinamikus adatokat fix N hosszúságú vektorokként, a Legendre approximációs polinom együtthatóival reprezentáltuk és vizsgáltuk, hogy milyen pontosságot tudunk elérni a hosszúság változtatásával.

Az adatbázisokból összesen 300 aláírást vetettünk össze kétféleképpen: két- és többosztályos SVM osztályozót alkalmaztunk az aláírók osztályozására. Mindkét esetben azt kaptuk, hogy 20-ad rendűnél magasabb Legendre polinomok esetén már nem nőtt az osztályozás pontossága, sőt szögsebesség adatok esetében 30 felett 10% körüli csökkenést tapasztaltunk.

Az utolsó aláírások hitelesítésével kapcsolatos eredményeimet nem a saját adatbázisomon, hanem a nyilvános SigComp2011 holland aláírás-adatbázison teszteltem. A módszerünk a statisztikában használt Kolmogorov-Smirnov távolságot (továbbiakban KS távolság) használja aláírások különböző jellemzőinek eloszlásának összehasonlítására. Hitelesítés során összehasonlítottuk, hogy a KS távolságok használatával milyen elsőfajú és másodfajú hibaarány (FRR illetve FAR érték) érhető el  $x, y$  koordinátákra,  $p$  nyomásértékre és  $v$  (koordináták alapján számolt abszolút) sebességre illetve ezek különböző kombinációira. Emellett megvizsgáltuk, milyen hatása van annak a pontosságra, ha az aláírás folyamatának időbeli hosszára is megkötéseket teszünk, hiszen a valódi aláírásnál sokkal lassabban írt aláírás gyakran hamisításra utal. A legjobb eredmények a 2.2. táblázatban olvashatóak.

		Időtartamra vonatkozó	
		feltétellel	feltétel nélkül
p p $\wedge$ v	átlagos	9.66%/9.57%	19.97%/19.91%
		<b>7.86%/8.02%</b>	15.55%/15.74%
p p $\wedge$ v	maximális	9.66%/9.88%	23.73%/23.61%
		<b>7.86%/8.02%</b>	16.69%/16.67%
p ( $x\wedge y$ ) $\wedge$ p	minimális	9.00%/8.95%	20.13%/20.22%
		<b>8.67%/8.64%</b>	17.02%/17.13%

2.2. táblázat. FAR és FRR értékek a SigComp2011 holland online aláírásadatbázison

A táblázatban dőlt betűvel jelöltem a legalacsonyabb hibaarányokat egy jellemző használata esetén, félkövérrel a kombinált eseteket. Az összes esetben az időtartamra vonatkozó feltétel közel 10%-os javulást jelentett, emellett a nyomásértékeket egy másik jellemzővel párosítva értük el a legalacsonyabb FAR/FRR értéket. A nyomásértéket a sebességgel együtt vizsgálva további 0.5-2%-os javulást tudtunk elérni.



A nyomozói munkában fontos szerepe lehet azoknak az információknak, amelyek egy inkriminált kézírás vagy aláírás készítőjéhez kapcsolódnak, például a demográfiai jellemzőknek. Amennyiben nem áll rendelkezésre összehasonlító írásminta, kísérletet lehet tenni a gyanúsított kör szűkítésére. Ha következtetni tudunk a készítő személy korára (kiskorú, fiatal, középkorú, idős), nemére, kezességére, iskolázottságára, ez segítséget nyújthat az író személy megtalálásában, de azonosításában is.

Ebben a témakörben a Nemzeti Szakértői és Kutató Központ (továbbiakban NSZKK) írásszakértőinek iránymutatása szerint osztályoztuk és értékeltük a kézírásokat kezesség alapján, ezzel objektíven ellenőrizve az írásszakértői hipotézis helyességét. Továbbá az írásszakértői módszer fejlesztése céljából megvizsgáltuk annak a lehetőségét, hogy a nemre vonatkozó, írásszakértői tapasztalatokra épülő értékeléseket meg lehet-e támogatni statisztikai úton. Emellett vizsgáltuk a következő kérdéseket. Van-e relevanciája egy nagy számú reprezentatív adatbázis alapján történő statisztikai következtetésnek, ha a kirendelői kérdés az író személy nemére irányul? A vizsgált sajátosságok közül melyek azok, ha vannak ilyenek, amelyeknek esetleges előfordulási aránya jellemző lehet (statisztikailag szignifikáns) a férfi és női kézírásokban?

### *Kezesség eldöntése online kézírás alapján [7]*

Az NSZKK írásszakértői iránymutatása szerint az online kézírásokat az áthúzó vonalak iránya alapján kíséreltük meg értékelni, amit részben ezek objektív megismerhetősége (pontos koordináták), részben a sajátosság megbízhatósága miatt javasoltak, ezt írásszakértői tanulmányokkal is alátámasztva [8, 9]. Több ilyen tanulmányból lehet arra következtetni, hogy ez a sajátosság alkalmas a kézírások kezesség szerinti osztályozására. Az írásszakértői munka során az írásminták többnyire offline formában jelennek meg és a mikroszkópi vizsgálattal nem minden esetben lehet megállapítani a mozdulatirányt, ezért az írásszakértők más sajátosságokat is figyelembe vesznek a kezesség vizsgálatánál. Az írásszakértői kirendelésekben egyre több az online keletkezett kérdéses anyag és az online írásminták esetén a vonal irányultsága adott. Vizsgálatunk során

az *IAm-OnDB* adatbázist használva összehasonlítottuk az adatbázisban szereplő 196 író 1568 írásmintáját (személyenként 8-8 írásmintát).

A 2.4a. ábrán egy jobbkezes, a 2.4b. ábrán egy balkezes írásmintát láthatunk. Színezett vonalak jelölik a detektált áthúzóvonalakat: piros színnel a balról jobbra irányú, kék színnel a jobbról balra irányú áthúzást.

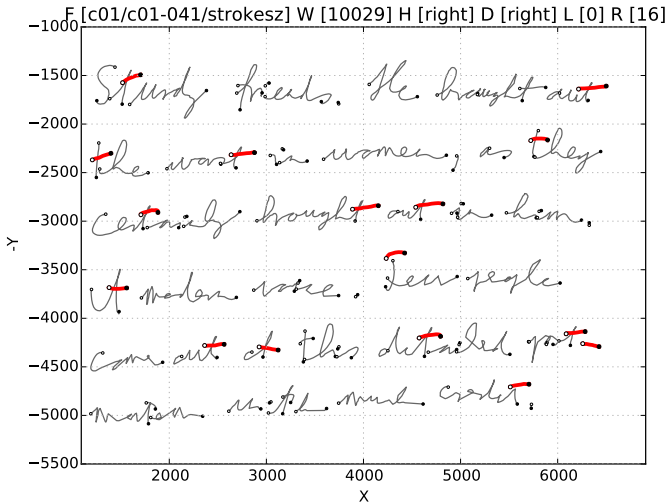
A módszer az írásmintákból kinyert jellemzők alapján az áthúzóvonalakat detektálta, irányultságukat megállapította, majd az alapján hány darab jobbról balra illetve balról jobbra irányuló áthúzóvonal szerepelt az adott mintában, döntött a jobb- illetve balkezességről.

Az eldöntésben kétféle döntési mechanizmust hasonlítottunk össze. A szigorú írásszakértői megfigyeléseken alapulva a jobbkezeseknél jobbról balra irányuló vonalak nagyon kis valószínűséggel fordulnak elő, így ha egy kézírásan belül egy ilyen áthúzóvonalat találunk, a korábbi tanulmányok alapján nagy valószínűséggel balkezes író írta a kézírást. A mi esetünkben az automatikus detektálónk egy-egy kézírásmintában sokszor 10-20 áthúzóvonalat detektál, melyeknél a módszer bizonyos esetekben detektált olyan vonalakat is, melyek ténylegesen nem áthúzóvonalak, így az írásszakértők által használt szigorú feltétel az automatikus detektálás pontatlansága miatt rossz döntést eredményezett. Emiatt kevésbé szigorú feltételt vezettünk be, melyet a dolgozatban  $LC_k$ -val rövidítettünk, és ha  $k$  vagy annál több jobbról balra irányuló áthúzóvonalat detektáltunk, akkor balkezes döntést hozott a módszerünk, egyébként jobbkezest.

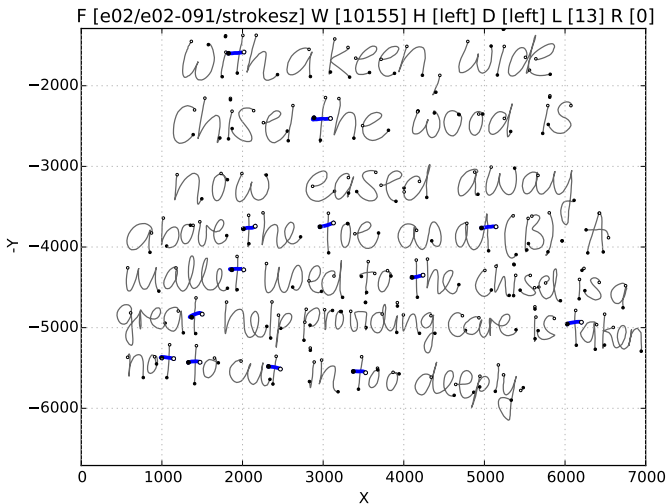
Összehasonlításként az  $LC_k$  módszer mellett a többségi szavazást (majority voting, továbbiakban MV) is alkalmaztuk: az irányultságok alapján megszámlálva balról jobbra és jobbról balra irányuló áthúzóvonalakat, amelyikből több volt az adott kezességre jellemzően, az alapján hoztuk meg a döntést.

### *Férfi-női kézírások összehasonlítása [10]*

A kézíró személyének neme kisebb bizonyossággal állapítható meg, mint a kezessége. A nemenként eltérő kézírásoknak lélektani, a társadalom által befolyásoltan viselkedés-lélektani illetve biológiai, elsősorban hormonális okai vannak. Számos tanulmány foglalkozik a témával [11, 12], melyek szerint a laikusok is képesek a kézíró nemét 75% körüli vagy akár efeletti pontossággal megállapítani.



(a) Jobbkezes minta



(b) Balkezes minta

2.4. ábra. Vízszintes áthúzóvonalak detektálása

Osztályzás	jobbkezes	balkezes	Összesen
<b>helyes</b>	1085+173 (80.23%)	41+49 (5.74%)	1348 (85.97%)
<b>helytelen</b>	2+7 (0.57%)	10+12 (1.40%)	31 (1.98%)
<b>inkonklúzív</b>	149 (9.50%)	40 (2.55%)	189 (12.05%)
<b>Összesen</b>	1416 (90.31%)	152 (9.69%)	1568 (100.0%)

2.3. táblázat. Eredmények összegzése – MV

Osztályzás	jobbkezes	balkezes	Összesen
<b>helyes</b>	1085+126 (77.23%)	41+58 (6.31%)	1310 (83.55%)
<b>helytelen</b>	2+54 (3.57%)	10+6 (1.02%)	72 (4.59%)
<b>inkonklúzív</b>	149 (9.50%)	37 (2.36%)	186 (11.86%)
<b>Összesen</b>	1416 (90.31%)	152 (9.69%)	1568 (100.0%)

2.4. táblázat. Eredmények összegzése – LC<sub>2</sub>

A nemek közötti különbségek kapcsán a tanulmányok leginkább általános megállapításokat tesznek: többsége szerint a női írások szabályosabbak, a kezdő- és végvonalak kerekesebbek; míg a férfi kézírásban általában erősebb a kéznyomás, több keskeny betű szerepel a középső zónában, nagyobb a felső zóna [13] és főként az aláírásaik kevésbé olvashatók [14].

Vizsgálataink a korábban említett IAM-OnDb adatbázis 50 női és 50 férfi írójának a reprezentatív mintavételnek megfelelően kigyűjtött írásmintáira irányultak. Az NSZKK írásszakértői vizsgálata a kijelölt mintanyagban 2500 sajátosság feltárását tartalmazza, 25 diszkrét jellemző 100 db kézírásra, pl. nagybetűk aránya, kezdő- és végvonalak jellemzői, sorok formája (lásd a 2.6 ábrán). Emellett automatizáltan folytonos jellemzőket is vizsgáltunk: a gyorsulásértékeket, a behúzás mértékét és a bal margók közti különbségeket hasonlítottuk össze. A diszkrét változókat Fisher-féle egzakt függetlenségi teszttel, a folytonos változókat Welch-féle kétmintás t-próbával hasonlítottuk össze. Számos esetben találtunk szignifikáns különbségeket, az ezekre vonatkozó részletes összefoglaló táblázatok a terjedelem miatt csak a disszertációban találhatóak meg.

Szignifikáns különbségeket a kézírás elhelyezésének egyenletességében (egyenletes; nagyjából egyenletes; vegyes), a sorok formájában (egye-

In fact, the cat and the horse  
are the other way round: the  
violence broke out because the  
reasonable representations went  
unheeded. Programme for Ka-  
tanga. The United Nations had  
already had a bad press before,  
reports were received yester-  
day of alleged indiscipline  
by some of its troops in  
Elisabethville.

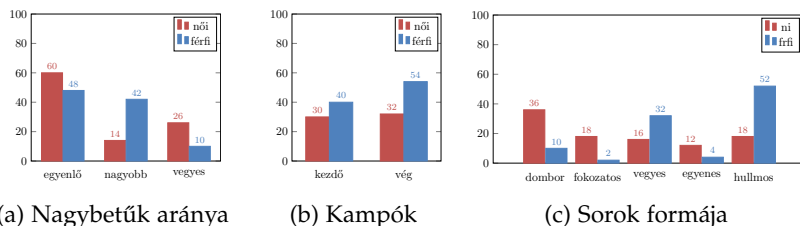
(a) Női (10191): egyenletesebb kézírás

10, Belgrave Square, S.W. 1.  
Exports on a plateau. To begin  
with, Mr. Bumbury assumes  
that the Chancellor's measures  
are sensible and correct and are  
likely to achieve the objects  
desired.

(b) Férfi (10218): keskeny betűk, nagyobb felső zóna és nagybetűk

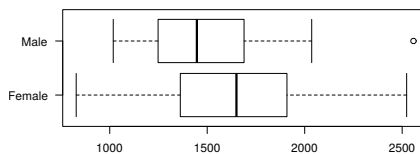
2.5. ábra. Kézírásminták az IAM-OnDB adatbázisból

nes; domború; fokozatos; vegyes), a koordinációban (átlagos; gyengébb, mint átlagos; jobb, mint átlagos), a zónák arányában, a nagybetűk arányában (a kisbetűkhöz képest arányos; nagyobb; vegyes), a betűk szerkezetében (egyszerű; egyszerűsített; komplex; vegyes), a kezdő- és végvonalak irányában és formájában és az áthúzóvonalak következetességében találtunk. Az árkádos kezdővonalak a férfi aláírásokban nem fordultak elő, a nőknél 16%-ban találtunk kézírást ilyen kezdővonalakkal. Ezzel szemben nem volt végvonal nélküli női kézírás, a férfiaknál 8%-ánál viszont előfordult (az alacsony arány végett ez utóbbi statisztikailag nem szignifikáns különbség).



2.6. ábra. Különböző jellemzők előfordulási aránya a vizsgált kézírásokban

A folytonos változók esetén az egész kézírásmintára számolt sebesség-átlagokat összehasonlítva szignifikáns különbséget találtunk a nemek közt (a női kézírások átlagsebessége magasabb volt), de nem volt szignifikáns a különbség a bal margó és az első sorbeli behúzások mértéke közt.



2.7. ábra. Sebesség átlagainak eloszlása

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

---

Eredményeim két téziscsoportban, téziscsoportonként két-két tézispontban foglalhatóak össze. Az első téziscsoport tézispontjai online aláírás-hitelesítéssel és -osztályzással, a második téziscsoport tézispontjai online kézírások osztályzásával illetve elemzésével kapcsolatosak.

#### I. TÉZISCSOPORT - ALÁÍRÁSOK HITELESÍTÉSE, OSZTÁLYZÁSA

1. Rögzítettem két online aláírás adatbázist 3-irányú gyorsulásmérő illetve 2-irányú giroszkóp használatával. Aláírás-hitelesítő módszereket és osztályzókat értékeltem ki az adatokon, vizsgálva az adatok alkalmazhatóságát.

Az eredmények alapján elmondható, hogy az aláírás-hitelesítésben korábban is alkalmazott DTW a gyorsulás adatokon alkalmazható, az elért pontosság viszont nem közelíti meg a piacon manapság elérhető, pontosabb mérést lehetővé tevő (és szofisztikáltabb osztályzót alkalmazó) eszközöket.

Megállapítottam a gyorsulásmérővel rögzített adatbázis elemzése során, hogy a tanítóhalmaz kiválasztása nagy mértékben befolyásolja a hitelesítési eredményeket.

Aláírás-osztályzást végeztem a gyorsulásmérővel és giroszkóppal mért adatokon ugyanazon aláírók aláírásain. Legendre approximáció és SVM osztályzó használatával megmutattam, hogy 20-ad rendűnél magasabb approximáció esetén csökken az osztályzó pontossága, és 10 aláíró osztály esetén többosztályos osztályzónál nem magasabb, mint 43%/52% (gyorsulásmérő/giroszkóp adatokon, 13-ad rendű approximáció), bináris osztályzás esetén a pontosság 88%/80.44%. Bináris osztályzás esetén egyértelműen a gyorsulásadatok adtak pontosabb osztályzást, többosztályos osztályzás esetén viszont a giroszkóppal rögzített adatokkal tudunk kevesebb hibával osztályozni, bár utóbbi esetben a különbség nem számottevő a kétféle adat által elérhető pontosság(ok) között.

2. Egy publikusan elérhető adatbázison vizsgáltam egy általam fejlesztett Kolmogorov-Smirnov távolságon alapuló hitelesítő módszer eredményességét.

A módszer a SigComp2011 holland adatbázison lett tesztelve, melynél a koordináta és nyomás jellemzők adottak és emellett vizsgáltam az abszolút sebességet is. Megvizsgáltam, hogy mely egyszeri és mely kombinált jellemzők a legalkalmasak aláírás-hitelesítésben, Kolmogorov-Smirnov távolsággal mérve a tapasztalati eloszlásfüggvények közötti különbségeket. A módszerem versenyképes a kapcsolódó SigComp2011 versenyen résztvevők módszereivel. Megállapítottam, hogy a vizsgált jellemzők közül elsősorban nyomás, másodsorban a sebességérték bizonyultak a legalkalmasabb jellemzőknek az aláírás-hitelesítésben.

## II. TÉZISCSOPORT - KÉZÍRÁSOK VIZSGÁLATA

3. A Nemzeti Szakértői és Kutató Központ írásszakértői iránymutatása szerint osztályoztam kézírásmintákat az alapján, hogy azok jobb vagy bal kézzel készültek. Az írásszakértők által legmegbízhatóbbnak értékelt, az online területen objektíven megismerhető sajátosságot, az áthúzó vonalak irányát automatikusan detektáltam és ezek balról jobbra vagy jobbról balra irányuló mozdulata alapján hoztam döntést az író személy kezességéről. Az elért eredmények versenyképesnek bizonyultak a szakirodalomban megtalálható, jóval több jellemzőt alkalmazó, hasonló módszerekkel. A tényleges hibaszázalék az ismert eredményekkel összehasonlítva kisebb volt azáltal, hogy ahol nem voltak megfelelőek a feltételek, a szakértői következtetési skálához hasonló, döntés nélküli (ún. inkonklúzív) következtetést is bevezettünk. Ezáltal a többségi döntés (MV) alapján 1568 db kézírásra 1,98%-os hibaarányt tudtunk elérni, 12,05%-os inkonklúzív eset mellett.
4. A Nemzeti Szakértői és Kutató Központ IAM-OnDB adatbázison végzett írásszakértői vizsgálatából kiindulva elemeztem, hogy a feltárt 2500 sajátosság a férfi és női kézírásokban milyen arányban fordul elő. A manuálisan vizsgált jellemzőket és néhány általam automatikusan mért jellemzőt statisztikai próbáknak vettem alá, tanulmányozva annak lehetőségét, hogy a kizárólag szakirodalmi



adatokon és írásszakértői tapasztalatokon nyugvó következtetéseket meg lehet-e támogatni egzaktabb módszerekkel. 100 személy minta anyagának jellemzőit értékelve több szignifikáns eltérést is találtam. Az eredmények abba az irányba mutatnak, hogy egy jelentős számú, reprezentatív adatbázis segítségével az írásszakértők a jelenlegi módszertant statisztikai következtetésekkel egészíthetik ki.

#### A DOLGOZATHOZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓIM

Publikáció	Tézispont			
	I. téziscsoport		II. téziscsoport	
	1	2	3	4
[1]	•			
[3]	•			
[4]	•			
[5]	•			
[6]		•		
[7]			•	
[10]				•

# IRODALOMJEGYZÉK

---

- [1] Horst Bunke, János Csirik, Zoltán Gingl, and Erika Griechisch. Online signature verification method based on the acceleration signals of handwriting samples. In *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications, CIARP*, pages 499–506. Springer, 2011. doi: 10.1007/978-3-642-25085-9\_59.
- [2] Pavel Mautner, Ondrej Rohlik, Vaclav Matousek, and Juergen Kempf. Signature verification using ART-2 neural network. In *Proceedings of the 9th International Conference on Neural Information Processing*, volume 2 of *ICONIP '02*, pages 636–639, November 2002. doi: 10.1109/ICONIP.2002.1198135.
- [3] János Csirik, Zoltán Gingl, and Erika Griechisch. The effect of training data selection and sampling time intervals on signature verification. In *CEUR Workshop Proceedings*, volume 768, pages 6–10, Beijing, 2011.
- [4] Erika Griechisch, Muhammad Imran Malik, and Marcus Liwicki. Online signature verification using accelerometer and gyroscope. In *Proceedings of the 16th Conference of the International Graphonomics Society, IGS 2013*, pages 143–146, 2013.
- [5] Erika Griechisch, Muhammad Imran Malik, and Marcus Liwicki. Online signature analysis based on accelerometric and gyroscopic pens and Legendre series. In *Proceedings of the 12th International Conference on Document Analysis and Recognition, ICDAR 2013*, pages 374–378, Washington, DC, 2013. IEEE. doi: 10.1109/ICDAR.2013.82.
- [6] Erika Griechisch, Muhammad Imran Malik, and Marcus Liwicki. Online signature verification based on Kolmogorov-Smirnov distribution distance. In *Proceedings of International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition, ICFHR 2014*, pages 738–742. IEEE, 2014. ISBN 9781479943340. doi: 10.1109/ICFHR.2014.129.
- [7] Erika Griechisch and Erika Bencsik. Handedness detection of online handwriting based on horizontal strokes. In *Proceedings of the 13th International Conference on Document Analysis and Recognition*,

- ICDAR 2015, pages 1272–1277. IEEE Computer Society, 2015. ISBN 9781479918058. doi: 10.1109/ICDAR.2015.7333953.
- [8] Marianne Conrad. Left-hand writing vs. right-hand writing. *Journal of the American Society of Questioned Document Examiners*, 11(1):19–27, 2011. Presented at ENFHEX Conference Modern Developments in Handwriting Examination, Vilnius, September 20–22, 2007.
- [9] Vaibhav Saran, Suneet Kumar, AK Gupta, and Syeed Ahmad. Differentiation of handedness of writer based on their strokes and characteristic features. *Journal of Forensic Research*, 4(204):2, 2013.
- [10] Erika Bencsik and Erika Griechisch. The frequency of occurrence of handwriting features in online male and female handwriting. In *Proceedings of IGS2017 (18th International Graphonomics Society Conference)*, IGS 2017, pages 169–172, 2017.
- [11] William N Hayes. Identifying sex from handwriting. *Perceptual and motor skills*, 83(3):791–800, 1996.
- [12] Vivien Burr. Judging gender from samples of adult handwriting: Accuracy and use of cues. *The Journal of social psychology*, 142(6): 691–700, 2002.
- [13] Roy A Huber and Alfred M Headrick. *Handwriting identification: facts and fundamentals*. CRC press Boca Raton, 1999.
- [14] Linton Mohammed, Bryan James Found, Douglas Kelman Rogers, et al. Frequency of signatures styles in San Diego County. *Journal of the American Society of Questioned Document Examiners*, 2008.