

Simonyi Dénes¹

A GONDOLAT ALAPÚ JELSZÓBEVITEL TECHNIKAI HÁTTERE ÉS LEHETŐSÉGEI

(TECHNICAL BACKGROUND AND OF THOUGHT-BASED PASSWORD ENTRY)

Az emberi lét egyik legkiterjedtebb alappillére, történelmünk, kultúránk, művészetünk és kommunikációnk legfontosabb építőköve a betűk ismerete és használata, az írás. Az UNESCO (UNESCO) felmérései szerint azonban jelenleg a felnőtt populációnak csak 83%-a írástudó. Az infokommunikációs eszközök hétköznapi életben való elterjedésével és az információs társadalom megjelenésével egy új fogalom is formát öltött: digitális írástudatlanság, ami egy olyan fejlett környezetben, ahol a háztartások 80%-a rendelkezik működő számítógéppel, és az embereknek csak 13%-a nem használja az Internetet (america), igen nagy technológiai szakadékot jelent és egyben társadalmi egyenlőtlenségekhez is vezet. A társadalmi felzárkózáshoz nem elég csupán írni és olvasni tudni. A digitálisan elérhető írott tartalmaink kezelése, sokszorosítása, megosztása tartalomtól, származástól függően legalább alapvető biztonságtechnikai ismereteket és biztonság tudatosságot is megkövetel. A digitális tartalmak megvédésére a legkézenfekvőbb módszer, ha a hozzáférést azonosításon alapuló felhasználói jogosultságokkal szabályozzuk. Az előrehaladott technika ellenére, a legszélesebb körben alkalmazott azonosítási eljárás mind a mai napig a jelszavas azonosítás. Jelen tanulmány fókuszában a gondolat alapú szövegbeviteli eszközök technikai áttekintése áll. Képet próbál alkotni a jelenleg elérhető EEG-n alapuló szövegbeviteli, ún. „BCI speller” eszközök lehetőségeiről, hátrányairól és a jelszó alapú bejelentésben történő alkalmazhatóságukról.

Kulcsszavak: jelszóbevitel, agy-számítógép interfész, p300, VEP, speller, információbiztonság

One of the most extensive pillars of the human existence, the most important building block of our history, culture, art and communication is the knowledge and use of the letters, the knowledge of writing. However, according to UNESCO (UNESCO) surveys, only the 83% of the adult population is literate today. With the spread of the info-communication tools in everyday life and the emergence of the information society, there is a new concept appearing: digital illiteracy. In an advanced environment where 80% of the households have a working computer and only 13% of people do not use the Internet (america), it is a significant technological chasm, and leads to social inequalities. So, the social convergence today requests more than reading and writing. We also need access to digital contents and have to handle them properly. However, the access to these contents is usually not enough. Depending on their content and origin, handling, reproduction and sharing of the digital documents needs at least the basic safety knowledge and security awareness. The most obvious way to protect digital contents is to control their use by identification and user-based rights. Despite the state of the art technology, the most widely used identification technique is still the password authentication. This presentation is an overview of the BCI text input devices, and tries to create a picture about the currently available EEG text input devices, the BCI spellers, their disadvantages and their potential security applications.

Key words: password entry, brain-computer interface, p300, VEP, speller, information security

¹ Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, E-mail: denes.simonyi@gmail.com ORCID: 0000-0001-9886-2984

BEVEZETŐ

Társadalmunkban az egyének egymástól való megbízható megkülönböztetése az idők kezdete óta nagy szerepet játszik. A személyazonosítási módszerek folyamatos fejlődésben vannak, és a technológia előrehaladtával egyre változatosabb formában kerülnek napvilágra. A hagyományos, több évezredes múlttal rendelkező személyazonosítási módszerek megítélése az infokommunikációs eszközök megjelenésével fordulóponthoz érkezett: a hiányos és hamisítható adatok, a széles körben ismert technológia és az emberi hibázási tényező miatt ezek a módszerek távolról sem tekinthetők hatékonyak. Az első adatbázisokkal megjelent az elektronikusan elérhető tartalmakhoz való hozzáférés fogalma. Az addig csak fizikai hozzáférésre irányuló azonosítási eljárások új kihívásokkal szembesültek. A hagyományos kriptográfiai eljárások megbízhatatlanná váltak, megjelent az igény az új, számítógéppel támogatott kriptográfiai eljárásokra.

A felhasználók, szervezetek és kormányhivatalok elektronikusan cserélnek információt egymással, elektronikus szolgáltatásokat hoztunk létre, amelyek leegyszerűsítik a kommunikációt, megjelenik az e-commerce, az e-business, az e-banking, az e-government... A folyamatot a mobileszközök és –szolgáltatások csak felgyorsították. Ezzel együtt egyre csak nő az információs rendszerek és az elektronikus kommunikáció ellen irányuló támadások száma. [2]

A korszerű informatikai rendszerek lehetővé teszik, hogy bárki bármikor, bárhol hozzáférjen saját személyes adataihoz. Nagy kihívást jelent ezen adatok illetéktelen betolakodók elől történő biztonságos elhelyezése. A korszerű informatikai rendszereket kihasználva az azonosítási módszerek is egyre kifinomultabbá válnak. [25] Az azonosítási folyamat, vagyis a felhasználói identitás leellenőrzése az információbiztonság kulcsfontosságú elemévé vált. [30]

A számítógép-alapú biztonsági rendszerek sokkal nagyobb hatékonysággal működnek a hagyományos rendszerekkel szemben. Míg az első számítógép-alapú biztonsági rendszerek gyakorlatilag a hagyományos, jelszó központú rendszerek elektronizált, emberi tényezőt kizáró változatai voltak, mára már hosszú fejlődési folyamatot tudnak maguk mögött. Ma már számos azonosítási és beléptetési módszer létezik. Megjelentek a biológiai jellemzőkön alapuló azonosítási eljárások, amelyek sokszínűsége napról napra növekszik.

AZ AGY-SZÁMÍTÓGÉP INTERFÉSZ RÖVID ISMERTETÉSE

Digitális eszközeink zömével valamilyen fizikai kontaktus útján, leggyakrabban a kezünk segítségével kommunikálunk. Jelszavainkat is a kezünkkel, gépelés útján visszük be. Hogy miért? A válasz egyértelmű: ez a legprecízebb és egyben legsokoldalúbb testrésznünk.

Mi a helyzet azonban akkor, ha bármilyen okból kezeinket nem tudjuk használni? Számításba jöhetnek egyéb testrészeink, a hangunk és, egy nem egészen új, ám még mindig csak gyerekcipőben járó eszköz, az agy-számítógép interfész.

Az agy-számítógép interfész (Brain-Computer Interface, BCI) egy olyan számítógépes kommunikációs eszköz, amely közvetlen, nem muszkuláris tevékenységen alapuló kommunikációs csatornát biztosít az agy és a számítógép között. A kommunikáció megvalósításához az agyhullámok felvételezése szükséges. Ez a felvételezés megvalósulhat elektródák felhelyezése nélkül (MEG, PET, fMRI és optikai képalkotás) és elektródák felhelyezésével (EEG), amely történhet invazív és non-invazív módon. Pillanatnyilag az EEG az egyedüli olyan technológia, amely rövid időállandókkal rendelkezik és viszonylag egyszerű és olcsó felszereléssel is megvalósítható. [14][15]

Annak ellenére, hogy az 1970-es évekig csupán a neurológiai betegségek felderítésére és az agyfunkciók tanulmányozására használták, az 1924-ben, Hans Berger által elkészített első emberi EEG [10] óta az EEG technológia látványos fejlődésen ment keresztül. Az 1970-es években jelentek meg először tanulmányok és elméletek arról, hogy az EEG segítségével esetleg dekódolhatók lehetnek az emberi gondolatok. [14][26][15] Technológiai áttörésre a valósidejű feldolgozás sebességigénye miatt azonban csak 1999-ben, egy patkány által vezérelt robotkar formájában került sor. [17][26]

Ezen eszközök ma első sorban a fogyatékkal élőket segítik, de egyre gyakrabban találkozhatunk velük a hétköznapi eszközeinkben, a hadászatban, a közlekedésben, a szórakozásban.

Az EEG jeleken alapuló agy-számítógép interfész alapvető elemei a fej felületén elhelyezett EEG elektródák és a hozzájuk tartozó elektronikus jelerősítők. Az erősítőkről érkező jeleket az interfészhez tartozó szoftver értékeli ki. Felismerhető mintákat keres, amelyek alapján vezérli a számítógépet.

Az agyhullámok neurális tevékenység által kiváltott elektromos impulzusok.

Az EEG felvételtől a frekvenciatartomány alapján öt különböző hullám nyerhető ki:

- delta (δ [0.5-4]Hz)
- théta (θ [4-8]Hz)
- alfa (α [8-14]Hz)
- béta (β [13-30]Hz)
- gamma (30Hz fölött). [8]

A fenti hullámtípusok mellett megfigyelhetünk még egy hullámot az alfa frekvenciatartományon belül, amely motorikus mozgás esetén gyengül (eseményfüggő deszinkronizáció). Ezt a hullámot μ hullámnak nevezik. Frekvenciatartománya [8-13]Hz.[20]

Az agyhullámok megfigyelésével és kielemezésével következtetni tudunk az egyes agyterületek tevékenységére, amit kihasználva, egy agy-számítógép interfész segítségével utasításokat adhatunk a számítógépnek.

A BIOMETRIKUS AZONOSÍTÁS RÖVID ISMERTETÉSE

Egy informatikai rendszer felhasználóinak azonosítása három módszer segítségével oldható meg: tudás, birtok és biometriai alapú eljárással. Ezen módszerek mindegyike rendelkezik gyenge pontokkal, ami miatt egy biztonsági rendszer megvalósításakor indokolt őket kettesével kombinálni. [13]

A hétköznapi életben általános jelenség, hogy mi, emberek biometrikus jellemzők alapján (testi tulajdonságok, mint például az arc, testtartás vagy a hang) ismerjük fel egymást. Mivel egyre több alkalmazás igényel megbízható személyazonosítási rendszert, az új biztonsági rendszerek kidolgozásában egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik a biometrikus jellemzők alapján történő azonosítás iránt. [12] A biometrikus azonosítás megbízható alkalmazását két tényező garantálja: biometrikus jellemzőkkel minden személy jelentkezik, és ezen tényezők egyén specifikusak, nem hamisíthatóak, nem veszíthetők el. [19] A biometrikus technológia sokkal hatékonyabb módszert nyújt, mint a sokkal szélesebb körben alkalmazott jelszavak, kártyák vagy ezek kombinációja. Nincs szükség jelszavak megjegyzésére, azok szisztematikus frissítésére és az elfelejtett jelszavakkal foglalkozó túlterhelt ügyfélszolgálatra. [23] Az azonosításra alkalmas biometrikus jellemzőket két nagy csoportra: a biológiai és a viselkedési jellemzőkre oszthatjuk. A biológiai jellemzők közé a bőrmintázat (pl. ujj-, tenyér-, talpnyomat), a kézgeometria, az érhálózat, az arc, a szem (írisz, retina), az illat, a DNS tartozik, míg a viselkedési jellemzők lehetnek: kézírás, beszédhang, gépelési ritmus, járási mód. [29] Egy igen aktív kutatási területet képez továbbá az EEG jelek felhasználhatósága biometrikus azonosítás céljából.

A biometrikus azonosítási rendszerek jelenleg lokális azonosítást valósítanak meg, mint például beléptetést egy objektumba, fizikai hozzáférés korlátozását egy számítógéphez stb. A jövőben azonban ez a technológia alkalmas lesz távoli hálózati azonosításra is, mint amilyen például az Internet banking, az elektronikus ügyvitel és különböző felhő szolgáltatások. [18]

SZÖVEGBEVITEL AZ AGY-SZÁMÍTÓGÉP INTERFÉSZ SEGÍTSÉGÉVEL

Az agy-számítógép interfész használatához nem elég pusztán mérni, hiszen az eszköz csak mintákat keres, amelyek alapján osztályozza a beérkező jeleket, nem tudja kitalálni a gondolatainkat. Használatához ún. mentális stratégia alkalmazására van szükség, amely kiválasztása attól függ, hogy milyen agytevékenységet figyelünk meg a jelbevitel során. [3]

A megfigyelt agyhullámok kétféleképpen keletkezhetnek: külső inger hatására (esemény által kiváltott potenciál) vagy valamilyen feladat végzésekor. Ennek alapján a mentális stratégia lehet szelektív figyelem vagy motoros képzelet. [6][3][20]

Szelektív figyelem

Szelektív figyelem esetén az agyhullámok megfigyeléséhez külső vizuális ingerre van szükség. Ez a külső inger egy betűket tartalmazó kép. A betűk elhelyezkedése a technikától függően változik. Jelenleg két módszer áll rendelkezésre: vibráló kép (SSVEP – steady-state visually evoked potential) vagy rendszertelenül, egymás után megjelenő képek (P300 hullám). A alany mindkét esetben a képernyőn megjelenő képet kell, hogy nézze.[6][27]

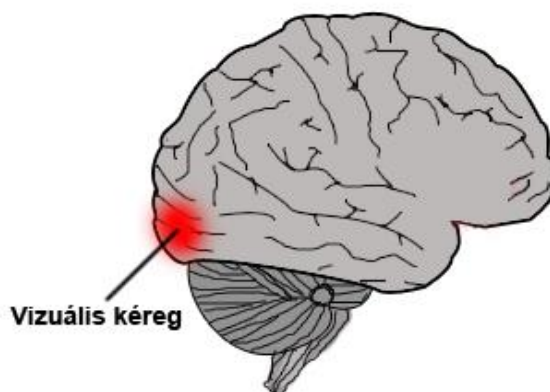
SSVEP esetén a megjelenített betűk háttere különböző frekvenciával vibrál. A megfigyelt betű háttérének vibrálása vizuális kéregben (1. ábra) mérhető agyhullámok frekvenciájában és amplitúdójában is megjelenik, melyeket elektródákkal felvételezni tudunk. Ennek köszönve megállapítható az alany tekintetének iránya. [27][31]

Pastor és kutatótársai megfigyelték, hogy az SSVEP amplitúdója 15Hz-en csúcsosodik ki, 17Hz-en alacsonyabb értéket mutat, és tovább csökken a 30Hz-től magasabb frekvenciákon. [21] Eredményeik a 2. ábrán láthatók.

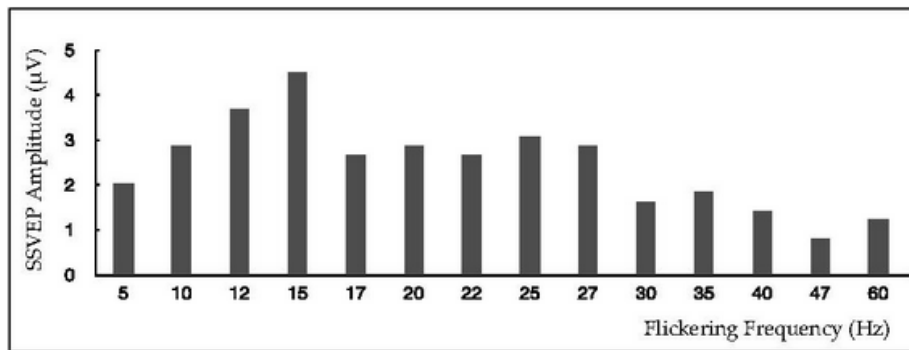
A technika előnye, hogy a mentális stratégiák közül ez a mentális stratégia sajátítható el a leggyorsabban, aminek köszönve nagyon populáris. További előnyei a többi agy-számítógép interfésszel szemben többek között a nagy jel-zaj arány, a magas információátviteli sebesség és alacsonyabb érzékenység a szemmozgásra. [27] [5] Az SSVEP alapú agy-számítógép interfészek karakter-beviteli sebessége 5-6 karakter percenként. [9]

Egy tipikus SSVEP elektróda elhelyezés a 3. ábrán látható.

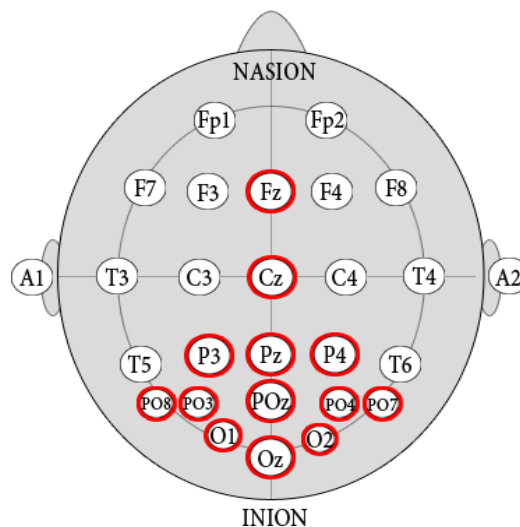
A technika hátránya, hogy magasabb frekvenciákon a vibrálás idegesítő és fárasztó lehet az alany számára, a 15-25Hz-es tartományban pedig nagy az esély epilepsziás roham bekövetkeztére. [27]



1. ábra: A vizuális kéreg



2. ábra: Az SSVEP amplitúdója és a kiváltó frekvencia közötti kapcsolat [21]



3. ábra: 10-20 rendszeren alapuló SSVEP elektróda elhelyezés

A P300 hullámon alapuló agy-számítógép interfész az egyik legszélesebb körben alkalmazott BCI. Kedvező ára és hordozhatósága lehetővé teszi, hogy hétköznapi alkalmazásban is megjelenjen. [14][27]

Ezen eszköz esetében a kiváltó ingerek nem egy képen találhatók, hanem sorozatban érkeznek. Általában betűk, de, a céltól függően, egyéb szimbólumok is lehetnek. Egy meghatározott szimbólum felvillanására a szelektív figyelem elindít egy pozitív, ún. P300 hullámot, ami a parietális lebenyből (4. ábra) indul, 300 ms-mal az inger megjelenése után. Ez a hullám akkor alakul ki, ha az alany ismerős képpel szembesül. A hullám amplitúdója nagyobb értéket mutat, ha az alany kevésbé számít a megjelenő képre. Az amplitúdó értéke függ az alany koncentrációjától is. A kevésbé kimerült, erősen koncentráló alanyok nagyobb amplitúdójú P300 hullámot képesek generálni. Az agy-számítógép eszköz ennek a hullámnak a segítségével képes azonosítani azt a szimbólumot vagy karaktert, amire az alany gondolt. [3][28]

Az elektróda elhelyezés a 10-20 rendszeren alapul. Egy általános elhelyezést az 5. ábrán láthatunk.

A P300 hullámon alapuló eszközök több különböző paradigma szerint működhetnek, melyek közül a legelterjedtebbek:

- sor/oszlop paradigma;
- egyetlen karakter paradigma;
- sakktábla paradigma;
- régió alapú paradigma.

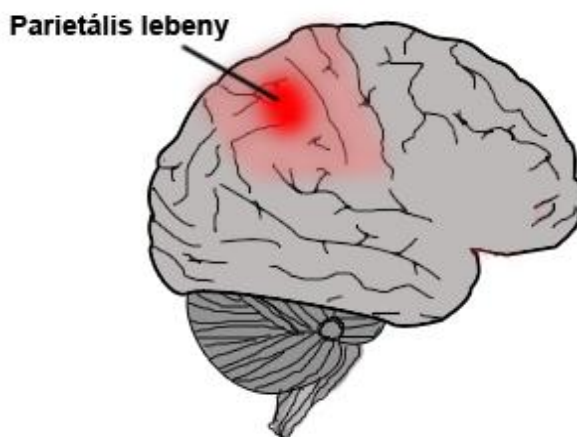
Az ún. sor/oszlop paradigma 1988-ban került kidolgozásra. Ebben a rendszerben az alany egy 6x6 méretű táblázatot lát, amelyben 26 betű és 10 számjegy található. A sorok és az oszlopok véletlenszerűen villannak fel. Az alany az általa bevinni kívánt szimbólumra gondol, és a számítógép a P300 hullám megjelenését figyelve próbálja meg meghatározni, hogy az épp felvillanó sor vagy oszlop tartalmazza-e a szimbólumot. Ha sikerült meghatározni a sort és az oszlopot is, akkor a keresett karakter a kettő metszéspontjában helyezkedik el. [24]

Az egyetlen karakter paradigma először 2004-ben lett publikálva. Alapja a már bemutatott 6x6 méretű mátrix. A szimbólumok ebben az esetben egyenként villannak fel. [16]

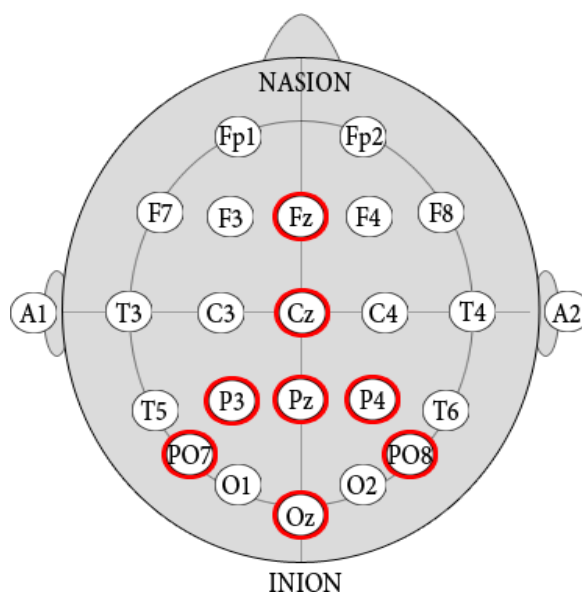
A sakktábla paradigma szerint a felvillanó szimbólumok egy elképzelt sakktáblán helyezkednek el. Mindig egy sor vagy egy oszlop vagy fekete, vagy fehér alapon elhelyezkedő szimbólumai villannak fel egyszerre. [16]

A régió alapú paradigma 2009-ben volt először bemutatva. Alapelve az, hogy a szimbólumok nem sorokba, hanem halmazokba vannak rendezve, és alkalmanként egy-egy halmaz kerül felvillanásra. [16]

Egy általános P300 hullámon alapuló eszköz képes több mint 30 különböző karakterrel dolgozni. [22] A jelenlegi eszközök sebessége prediktív karakterbevitel alkalmazásával is csupán négy karakter percenként. [7]



4. ábra: A parietális lebeny



5. ábra: 10-20 rendszeren alapuló P300 felvételezéséhez szükséges általános elektródaelhelyezés

Motoros képzelet

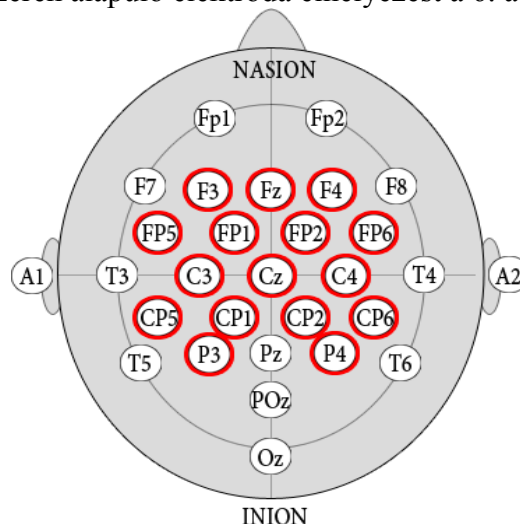
A motoros képzelet egy mozdulat mentális szimulációját jelenti mindenféle motoros kimenet nélkül, amelynek során a tényleges motoros tevékenységhez kapcsolódó agykérgi aktivitáshoz hasonló aktivitás mutatható ki. Egy motoros képzeten alapuló agy-számítógép interfész szempontjából két hullámot tekintünk fontosnak: a szenzorimotoros területről származó mu hullámot és a központi béta hullámot. [6]

Mivel a szenzorimotoros agytevékenységek leginkább mozgásvégzés vagy mozgás tervezés közben figyelhetők meg, segítségükkel azonosíthatóak bizonyos tevékenységek vagy tervezett tevékenységek. Például, ha eseményfüggő deszinkronizáció történik a bal elsődleges motoros kéreg kezdet reprezentáló területén, az a jobb kéz mozgását vagy tervezett mozgását jelentheti. [11]

A motoros képzeten alapuló szövegbevitelre szolgáló agy-számítógép eszközök, az előzőleg ismertetett eszközökhöz hasonlóan, képernyőn megjelenített képet igényelnek. A képernyőn megjelenő karakterek általában egy sokszögben helyezkednek el, amelyet az alany szenzorimotoros tevékenységgel tud forgatni vagy mozgatni. A karakterbevitel a kívánt karakter megfelelő helyre történő mozgatásával valósul meg. [27]

A Xia és munkatársai által elvégzett kutatás eredménye alapján az általuk vizsgált eszköz karakter-beviteli sebessége 14.64 karakter percenként. [4]

Az általános, 10-20 rendszeren alapuló elektróda elhelyezést a 6. ábra mutatja.



6. ábra: Egy általános szenzorimotoros érzékeléshez szükséges elektróda elhelyezés

ÖSSZEGZÉS: JELSZÓBEVITEL AZ AGY-SZÁMÍTÓGÉP INTERFÉSZ SEGÍTSÉGÉVEL

A szövegbevitelre szolgáló agy-számítógép interfészek alkalmazása a jelenlegi technikával még nehézkes. A legtöbb eszköz csak laboratóriumi körülmények között alkalmazható. A karakter-beviteli sebesség igen lassú, percenként kevesebb, mint 15 karaktert jelent, amiből kifolyólag egy nyolc karakteres jelszó bevitel legalább fél percet vesz igénybe. Összehasonlítva az egyéb biometrikus azonosítási eljárásokkal, ahol egy személy azonosítása 1,5-10 másodpercig tart [1], a fél perces jelszóbevitel, amihez ezen felül hozzáadódik az információs rendszer válaszideje, nagyon rossz eredménynek számít.

A másik, egyelőre még megoldatlan probléma az elektródák elhelyezése. Mindegyik módszer több elektróda egyidejű alkalmazását igényli, ami nehezíti az eszköz gyors és pontos üzembe helyezését.

Az agy-számítógép interfész további hátránya, hogy technikától függetlenül, a bevitelhez képernyőre van szükség, ami növeli a megvalósítási költségeket. Emellett a szenzorimotoros beviteli eszközök alkalmazhatósága biztonsági szempontból kérdéses, mivel folyamatosan visszajelzést adnak a kiválasztott karakterről, így bárki leolvashatja a képernyőről a bevitt jelszót.

Összegezve elmondhatjuk, hogy a mai agy-számítógép interfészek nem alkalmasak jelszó alapú azonosításra.

FELHASZNÁLT IRODALOM, FORRÁS

- [1] Ákos Bunyitai (2011). A ma és a holnap beléptető rendszereinek automatikus személyazonosító eljárásai biztonságtechnikai szempontból, *Hadmérnök*, 2011, VI. évfolyam, 1. szám, pp. 22-35
- [2] Bart Preneel (2007). An introduction to modern cryptology, In: Karl de Leeuw and Jan Bergstra (eds.) *The history of information security - A comprehensive handbook*, Elsevier, pp. 565-590
- [3] Bernhard Graimann, Brendan Allison, Gert Pfurtscheller (2010). Brain-Computer Interfaces: A gentle introduction, In: Bernhard Graimann, Brendan Allison, Gert Pfurtscheller (eds.), *Brain-computer interfaces Revolutionizing human-computer interaction*, Springer, pp. 1-27
- [4] Bin Xia, Jing Yang, Conghui Cheng, Hong Xie (2013). A Motor Imagery Based Brain-Computer Interface Speller, In: Rojas I., Joya G., Cabestany J. (eds) *Advances in Computational Intelligence. IWANN 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol 7903. Springer, Berlin, Heidelberg
- [5] D. Lesenfants, D. Habbal, Z. Lugo, M. Lebeau, P. Horki, E. Amico, C. Pokorny, F. Gómez, A. Soddu, G. Müller-Putz, S. Laureys, Q. Noirhomme (2014). An independent SSVEP-based brain-computer interface in locked-in syndrome, *Journal of neural engineering*, Jun 2014, vol 11, no. 3
- [6] D. Valbuena, Axel Gräser (2008). Mental Strategies to Operate a Motor-imagery-based Brain-computer Interface, In: Axel Gräser (ed.) *Methods and Applications in Automation*, Shaker Verlag, pp. 66-74
- [7] D.B. Ryan, G.E. Frye, G. Townsend, D.R. Berry, S. Mesa-G, N.A. Gates, E.W. Sellers (2012). Predictive spelling with a P300-based brain-computer interface: Increasing the rate of communication, *Int J Hum Comput Interact*. Vol. 27 no. 1, pp. 69-84
- [8] Daria La Rocca, Patrizio Campisi, Gaetano Scarano (2012). EEG biometrics for individual recognition in resting state with closed eyes, *Biometrics Special Interest Group (BIOSIG)*, 2012 BIOSIG, pp. 39-50
- [9] H. Cecotti (2010). A Self-Paced and Calibration-Less SSVEP-based Brain-Computer Interface Speller, *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. vol. 18, no. 2, pp. 127-133

- [10] Hans Berger (1929). Über das electroenkephalogramm des menschen, *Archiv für Psychiatrie*, Bd. 87, pp. 527–570
- [11] Harsimrat Singh, Ian Daly (2015). Translational algorithms: The heart of a brain computer interface, in A. E. Hassanien, A. T. Azar (eds), *Brain-computer interfaces, Intelligent Systems Reference Library 74*, pp. 97-121
- [12] Hazem M. El-Bakry, Nikos Mastorakis (2009). Personal identification through biometric technology, *Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on applied informatics and communications (AIC '09)*, pp. 325-340
- [13] István Négyesi (2010). Informatikai rendszerek oktatása a katasztrófavédelmi szakirányon, *Hadmérnök*, vol. 5, no. 2, pp. 25-39.
- [14] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, T. M. Vaughan (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, vol. 113, pp. 767–779.
- [15] Jacques J. Vidal (1973). Toward direct brain-computer communication, *Annual Review of Biophysics and Bioengineering* vol. 2, pp. 157–180
- [16] Jiahui Pan, Yuanqing Li, Zhenghui Gu, Zhuliang Yu (2013). A comparison study of two P300 speller paradigms for brain–computer interface, *Cognitive Neurodynamics*, vol. 7, no. 6, pp. 523–529
- [17] John K. Chapin, Karen A. Moxon, Ronald S. Markowitz, Miguel A. L. Nicolelis (1999). Real-time control of a robot arm using simultaneously recorded neurons in the motor cortex, *Nature neuroscience*, vol. 2, no. 7, pp. 664-670
- [18] Kenta Takahashi (2015). Cancelable biometrics and data separation schemes, in *Biometric security*, David Chek Ling Ngo, Andrew Beng Jin Teoh, Jiankun Hu (eds), Cambridge Scholars Publishing, Lady Stephenson Library, Newcastle upon Tyne, NE6 2PA, UK, 2015.
- [19] Krisztina Földesi (2014). Kutatás a biometrikus azonosításhoz kapcsolódó averziók feltárására, *Konferenciakötet, A Tudomány szolgálatában PEME IX. Ph.D. konferencia, II. Kötet, Professzorok az Európai Magyarországért Egyesület*, pp. 115-126, 2014.
- [20] Magdalena Krbot (2011). Električna aktivnost mozga i njezina primjena u preoperativnoj procjeni lateralizacije govorne funkcije u pacijenata s epilepsijom, *Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb*
- [21] Maria A. Pastor, Julio Artieda, Javier Arbizu, Miguel Valencia, Jose C. Masdeu (2003). Human cerebral activation during steady-state visual-evoked responses, *Journal of Neuroscience* 18 December 2003, 23 (37) pp. 11621-11627
- [22] Masaki Nakanishi, Yijun Wang, Yu-Te Wang, Yasue Mitsukura, Tzyy-Ping Jung (2014). A high-speed brain speller using steady-state visual evoked potentials, *International Journal of Neural Systems*, vol. 24, no. 6

- [23] Michael Zimmerman (2002). Biometrics and user authentication, SANS Institute InfoSec Reading Room, SANS Institute, <https://www.sans.org/reading-room/whitepapers/authentication/biometrics-user-authentication-122>, olvasva: 2017. 04. 20.
- [24] Reza Fazel-Rezai, Brendan Z. Allison, Christoph Guger, Eric W. Sellers, Sonja C. Kleih, Andrea Kübler (2012). P300 brain computer interface: current challenges and emerging trends, *Frontiers in Neuroengineering*, vol. 5, no. 14
- [25] S. Sharavanan, A. Nagappan (2013). Hand palm vein authentication by using junction points with correlation method, *International Journal Of Computational Engineering Research (ijceronline.com)*, vol. 3, no. 1, pp. 77-83
- [26] Saeid Sanei, J. A. Chambers (2007). *EEG Signal Processing*, John Wiley and sons Ltd, West Sussex
- [27] Setare Amiri, Ahmed Rabbi, Leila Azinfar, Reza Fazel-Rezai (2013). A Review of P300, SSVEP, and Hybrid P300/SSVEP Brain- Computer Interface Systems, In: Reza Fazel-Rezai (ed.) *Brain-Computer Interface Systems - Recent Progress and Future Prospects*
- [28] Terrence W. Picton (1992). The P300 wave of the human event-related potential, *Journal of clinical neurophysiology*, vol. 9, no. 4, Raven Press, Ltd., New York, pp. 456-479
- [29] Tibor Kovács, István Milánk, Csaba Otti (2012). A biztonságtudomány biometriai aspektusai, Gaál Gyula, Hautzinger Zoltán (eds) *Tanulmányok „A biztonság rendészettudományi dimenziói – változások és hatások” című konferenciáról, Pécsi határőr tudományos közlemények*, vol 13., pp. 485-496, 2012.
- [30] Tomislav Pavić, Leonardo Jelenković (2007). Autentifikacija i autorizacija korisnika na jednom mjestu, In: Dragan Čišić, Željko Hutinski, Mirta Baranović, Roberto Sandri (eds.) *30th Jubilee Int'l Convention MIPRO 2007, Vol. V: Digital Economy - Information Systems Security - Business Systems Intelligence*, Rijeka : Croatian Society for Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics – MIPRO, pp. 150-155
- [31] Xiaogang Chen, Yijun Wang, Masaki Nakanishi, Xiaorong Gao, Tzyy-Ping Jung, Shangkai Gao (2015). High-speed spelling with a noninvasive brain-computer interface, *PNAS* November 3, 2015 vol. 112 no. 44