

Duna-kavics

A Dunaújvárosi Főiskola online folyóirata 2014. II. évfolyam VI. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

BUDAI GÁBOR

**Tanulói és tanulási utak a
rendszerváltástól napjainkig**

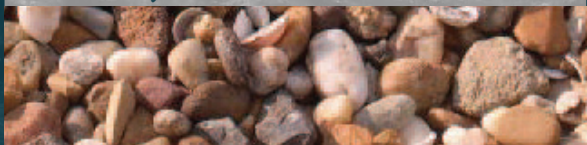


**KATONA JÓZSEF- UJBÁNYI
TIBOR-KÖVÁRI ATTILA**

**Agy-számítógépek inter-
fészek rendszerbe történő
illesztése**



**UJBÁNYI TIBOR-KATONA
JÓZSEF-KÖVÁRI ATTILA**
**IT biztonság egy gráf alapú
modellje**



DunaKavics

A Dunaújvárosi Főiskola online folyóirata 2014. II. évfolyam VI. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

MEGJELENIK ÉVENTE 12 ALKALOMMAL

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

András István, Kiss Natália, Rajcsányi-Molnár Mónika,
Talata István, Kukorelli Katalin

SZERKESZTŐSÉG

Ladányi Gábor (Műszaki)
Nagy Bálint (Informatika és matematika)
Szakács István (Gazdaság és társadalom)
Klucsik Gábor (technikai szerkesztő)

Felelős szerkesztő Németh István

Tördelés Duma Attila

Szerkesztőség és a kiadó címe 2400 Dunaújváros, Táncsics M. u. 1/a.

Kiadja DUF Press, a Dunaújvárosi Főiskola kiadója

Felelős kiadó András István, rektor

A lap megjelenését támogatta TÁMOP-4.2.3-12/1/KONV-2012-0051

„Tudományos eredmények elismerése és disszeminációja
a Dunaújvárosi Főiskolán”.

<http://dunakavics.duf.hu>

ISSN 2064-5007

Tartalom

BUDAI GÁBOR

Tanulói és tanulási utak a rendszerváltástól napjainkig

5

KATONA JÓZSEF-UJBÁNYI TIBOR-KÖVÁRI ATTILA

Agyszámítógép-interfészek rendszerbe történő illesztése

29

UJBÁNYI TIBOR-KATONA JÓZSEF-KÖVÁRI ATTILA

Az IT-biztonság egy gráf alapú modellje

39

Galéria

(Bodor Attila fotói)

48

Agyszámítógép-interfészek rendszerbe történő illesztése

Összefoglalás: Az agyszámítógép-interfész egy olyan komplex rendszer, amely különféle utasításokat és parancsokat képes közvetíteni egy vezérelt eszköz számára az emberi agytól jövő jelek feldolgozása útján. Az agyszámítógép-interfészek rendszereinek többsége az elektroencefalogram (EEG) típusú eszközök működésén alapul. Ezen rendszerek tervezésénél és kialakításánál számos szempontot kell figyelembe venni. A cikk néhány olyan fejlesztést mutat be, amelyek célja, hogy egységesítse az agyszámítógép-interfész alapú egységek rendszerbe illesztését eltérő alkalmazási területeken.

Kulcsszavak: Agyszámítógép-interfész, EEG, agyhullámok.

Abstract: The brain-computer interface is a complex system that is able to transmit various intructions and commands from the humain brain to a computer. The majority of brain-computer interface systems are based on devices which use the electroencefalogram (EEG) technology. A number of aspects have to be involved to planning and design these systems. In this study, some developments aiming to unify the installation of brain-computer interface based systems in different application fields are described.

Keywords: Brain-computer interface, EEG, brain waves.

Bevezetés

Az emberi agy működése a fejbőrön elhelyezett elektródák által mért feszültségjel segítségével megfigyelhető, mely eljárást elektorenkefalográfiának (EEG) neveznek. Ezen jelek regisztrálását végző mérőeszköz a neuronok elektromos aktivitásának valós idejű megfigyelésére szolgál. Az orvostudományban, e jelek feldolgozása révén lehetőség nyílik számos betegség

* *Dunaiújvárosi Főiskola,
Informatika Intézet
E-mail: katonaj@mail.duf.hu*

** *Dunaiújvárosi Főiskola,
Informatika Intézet
E-mail: ujbanyit@mail.duf.hu*

*** *Dunaiújvárosi Főiskola,
Informatika Intézet
E-mail: kovari@mail.duf.hu*

[1] Wolpaw, J. R.–Birbaumer, N.–McFarland, D. J.–Pfurtscheller, G.–Vaughan, T. M. (2002): Brain-computer interfaces for communication and control, *Clinical Neurophysiology* 113 (6), Pp. 767–791.

[2] Katona József–Kővári Attila–Ujbányi Tibor: Agyhullám alapú irányítás alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata, *Dunakavics*. 2013/2, pp. 47–57

[3] Katona József–Ujbányi Tibor–Kővári Attila (2014): Agy-számítógép interfészek kialakításának, tervezésének szempontjai, Az Informatika Korszerű Technikái tanulmánykötet DUF Press, Pp. 198–204.

[4] Blankertz, B.–Dornhege, G.–Schäfer, C.–Krepki, R.–Kohlmorgen, J.–Müller, K. R.–Kunzmann, V.–Losch, F.–Curio, G. (2003): Boosting bit rates and error detection for the classification of fast-paced motor commands based on single-trial EEG analysis, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 11, No. 2. 11 (2), Pp. 100–104.

[9] Alexander Y. Kaplan–Sergei L. Shishkin– Ilya P. Ganin–Ivan A. Basyul–Alexander Y. Zhigalov (2013): Adapting the P300-based brain-computer interface for gaming: a review, *Neural Networks, IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, Vol. 5 , Issue 2. Pp. 141–149.

[12] Faller, J.–Müller-Putz, G.–Schmalstieg, D.–Pfurtscheller, G. (2010): An Application Framework for Controlling an Avatar in a Desktop-Based Virtual Environment via a Software SSVEP Brain–Computer Interface, *Presence Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 19, No. 1. Pp. 25–34.

esetén bekövetkező bénulás, motoros funkciók, kommunikációs képességek csökkenése miatti jelentősen romló életkörülmények javítására. Másrészt a legújabb kutatások már túlmutatnak az orvostudományi alkalmazásokon és előtérbe kerültek az agyi tevékenység megfigyelésen alapuló információk irányítási, vagy egyéb működtetés területén történő alkalmazások is [1, 2]. Az előbb említett alkalmazási területek mindegyike esetén szükségessé válik egy agyszámítógép-interfész kialakítása, mely az emberi agytól jövő jelek számítógépes feldolgozása útján különféle utasításokat és parancsokat képes közvetíteni vezérlési vagy szabályozási céllal [3]. Ilyen kutatási projektek folynak például az úgynevezett motoros funkciók érzékelésén alapuló mozgás megvalósítására [4], számítógépes eger mozgatása [8], számítógépes játék vezérlése [9,12] vagy akár robotok vagy kerekesszék irányítására [2]. Az összes alkalmazás és azok eszközeinek a működtetése megköveteli egy agyszámítógép-interfész kialakítását, melynek rendszerbe történő integrálásával a kívánt funkció megvalósítható.

Az agyszámítógép-interfészek illesztésének céljai a következők: néhány pontban foglalhatóak össze:

- a felhasználó szándékának felismerése és továbbítása, hogy annak alapján a kívánt funkció végrehajtható legyen;
- a felhasználó számára mindenkor elérhető funkcionális lehetőségek megjelenítése;
- az összefüggő, egymáshoz kapcsolódó cselekedetek vagy műveletek végrehajtásának vezérlése;
- megfelelő visszajelzések, megjelenítés szolgáltatása a felhasználó számára az alkalmazás grafikus felhatalmált felületének (GUI) segítségével az adott funkció megvalósításának érdekében.

Az agyszámítógép-interfészek jelenleg még nem szabványosítottak, bár számos előírás ezen berendezések kialakítására is vonatkozik [3]. A következőkben ismertetésre kerül az agyszámítógép-interfész rendszerek kialakításának néhány olyan fejlesztési iránya, amelyek az ember-gép alapú az alkalmazások interfészeit és illesztéseit tekintve egyfajta szabványos kialakításnak tekinthetők.

Az agyszámítógép-interfész általános felépítése

Az EEG-jelek érzékeléséhez szükséges egy referencia (általában fülcimpa) valamint egy vagy több bioelektromos szenzor elhelyezése a fejbőrön [5]. Az elektródák által érzékelt bioelektromos jeleket egy erősítő segítségével fel kell erősíteni, amelyek ezután már közvetlenül digitalizálhatóak. A digitalizált jelek továbbíthatóak vagy egy DSP jelfeldolgozó processzor segítségével akár helyben fel is dolgozhatóak. Ezek a digitalizált jelek a felhasználó aktuális agyi tevékenységével kapcsolatos információkat, jellegzetességeket hordoznak, melyek úgynevezett extraktumokat alkotnak a felhasználó szándékairól és reakcióiról. Ezek a felhasználóra vonatkozó sajátos ismertetőjelek eltérő kiértékelési módszerekkel feldolgozhatóak, mint például a kvantitatív feldolgozás, mely a jelek spektrumából meghatározott agyhullám típusok erősségeit adja meg, vagy például a P300 [5, 6, 7, 8, 9] az SSVEP- [10, 11, 12] vagy ERN- [13, 14] moduláción alapuló eljárások.

A felhasználóra jellemző extraktumok alapján a regisztrált agyjelek egy osztályozó egységgel osztályokba sorolhatóak, mely segítségével a felhasználó tényleges szándéka meghatározható. Az osztályozás eredményei alapján a felhasználó szándéka adott utasítások végrehajtására konvertálható egy a konkrét szándéokra jellemző osztályokra vonatkozó jellegzetességeket leíró utasítástérkép alapján. Az utasítástérkép az egyes osztályokra vonatkozó jellemzők alapján hajtja végre – a megfelelő eljárásokat, metódusokat felhasználva – az egyes utasításokat a rendszerbe integrált alkalmazás vagy szolgáltatás segítségével, amely lehet például egy kerekesszék mozgásának [2] vagy számítógépes játék vezérlése. [9, 12]

[5] Christoph Guger–Gunther Krausz–Brendan Z. Allison–Guenter Edlinger (2012): Comparison of dry and gel based electrodes for P300 brain–computer interfaces, *Frontiers in Neuroscience*, 6:60. Pp. 1–7.

[6] Krusienski, D. J.–Sellers, E. W. –McFarland, D. J. –Vaughan, T. M. –Wolpaw, J. R. (2008): Toward enhanced P300 speller performance, *Journal of Neuroscience Methods*, Vol. 167, Issue 1. Pp. 15–21.

[7] Rupert Ortner–Fabio Aloise–Robert Prückl–Francesca Schettini–Veronika Putz–Josef Scharinger–Eloy Opisso–Ursula Costa–Christoph Guger (2011): Accuracy of a P300 Speller for different conditions: A comparison, *Clinical EEG and Neuroscience*, Vol. 42, No. 4. Pp. 214–218.

[8] Luca Citi–Riccardo Poli–Caterina Cinel–Francisco Sepulveda (2008): P300-based BCI mouse with genetically-optimized analogue control, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 16, No. 1. Pp. 51–61.

[10] Friman, O.–Volosyak, I.–Graser, A. (2007): Multiple channel detection of steady-state visual evoked potentials for brain-computer interfaces, *IEEE Transactions on Bio-medical Engineering*, Vol. 54, Issue 4. 54(4). Pp. 742–750.

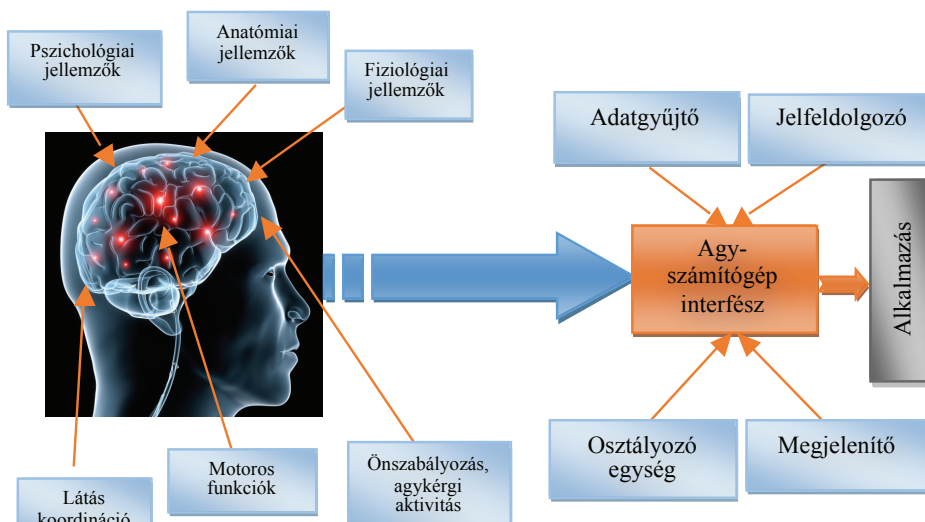
[11] Yijun Wang–Xiaorong Gao–Bo Hong–Chuan Jia–Shangkai Gao (2008): Brain-Computer Interfaces Based on Visual Evoked Potentials, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, Vol. 27, Issue 5. 27 (5), Pp. 64–71.

[13] Parra, L. C.–Spence, C. D.–Gerson, A. D.–Sajda, P. (2003): Response error correction-A demonstration of improved human-machine performance using real-time EEG monitoring, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 11. Pp. 173–177.

[14] Schalk, G.–Wolpaw, J. R.–McFarland, D. J.–Pfurtscheller, G. (2000): EEG-based communication: Presence of an error potential, *Clinical Neurophysiology*, Vol. 111. Pp. 2138–2144.

Az egyes jellegzetes agyjel-típusok osztályokba történő besorolását adaptív módon pontosítják oly módon, hogy az egyes ingerek által kiváltott és megfigyelt agyjelekre tesztelik és értékelik a rendszer hatékonyságát. Egy ember-gép rendszer általános felépítése látható az 1. ábrán.

1. ábra. Az agyszámítógép-interfész rendszer általános felépítése.



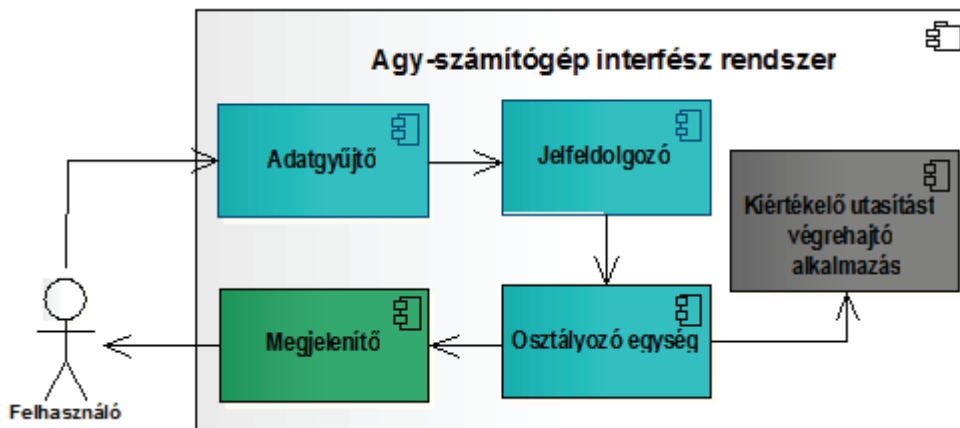
Az ember-gép rendszerek illesztése

Alapvetően három fő megközelítést különböztethetünk meg egy agyszámítógép-interfész rendszer más alkalmazásba történő adaptálása során. A következőkben e három fő irány kerül ismertetésre, megemlítve azok előnyeit, illetve hátrányait.

KÖZVETLENÜL BEÉPÜLŐ FELHASZNÁLÓI ALKALMAZÁS

Az egyik legelső között alkalmazott illesztés, melynél a rendszert a kiértékelő és végrehajtást vezérlő komponenssel együtt közvetlenül egy céleszközön (például egy DSP jelfeldolgozó processzoron) futó alkalmazással, vagy egy PC-n futó integrált alkalmazás segítségével valósítják meg. Az ilyen rendszerek általános felépítését mutatja a 2. ábra.

2. ábra. Az agyszámítógép-rendszer felépítése közvetlen beépülő felhasználói alkalmazással.



A jelfeldolgozó komponens által feldolgozott jelet, azok tulajdonságai alapján az osztályozó egység osztályozza, majd a kiértékelő, utasítást végrehajtó alkalmazás parancsokká, utasításokká és műveletekké konvertálja. Ezt a fajta felépítést az elsők között alkalmazták és még a mai napig használják például egyes embergép-interfész keretrendszerek esetén, mint például az ingyenes, nyílt forráskódú OpenViBE [15] vagy a szintén ingyenes, nyílt forráskódú MATLAB-hoz készített toolbox a BCILAB [16] is ezen a kialakításon alapul. A kiértékelő, utasítást végrehajtó alkalmazás a rendszer egy integrált modulja mely módosítása lehetővé teszi, hogy az alkalmazás fejlesztői és tervezői a saját alkalmazásaikat is a meglévő agyszámítógép-rendszerbe illesztik.

A közvetlen illesztett agyszámítógép-interfész rendszer előnye, hogy a rendszer egy teljes, mindent tartalmazó komponensként használható, lényegében csak a megfelelő adatgyűjtő és feldolgozó hardver illesztését kell megvalósítani, nincs szükség további interfészekre és protollokokra. A rendszer hátrányának mondható, hogy az alkalmazás fejlesztőinek és tervezőinek a teljes rendszer felépítésére és megvalósítására vonatkozó ismerettel kell rendelkezniük, amellyel a mért jeleket és az osztályozott eredményeket is képesek feldolgozni és értelmezni. Továbbá tudniuk kell azt is, milyen módon lehet a jeleket és eredményeket átalakítani úgy, hogy azokból végrehajtható parancsok vagy utasítások jöjjenek létre. Ahányszor csak szükségessé válik a rendszerben egy új alkalmazás hozzáadása, frissítése, lecserélése vagy áthelyezése azt csak az integrált rendszer moduljai módosításával lehet végrehajtani.

[15] Yann Renard–Fabien Lotte–Guillaume Gibert–Marco Congedo–Emmanuel Maby–Vincent Delannoy–Olivier Bertrand–Anatole Lecuyer (2010): OpenViBE: An Open-Source Software Platform to Design, Test and Use Brain-Computer Interfaces in Real and Virtual Environments, Presence Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 19, No. 1. Pp. 35–53.

[16] Christian Andreas Kothe–Scott Makeig Swartz (2013): BCILAB: A platform for brain-computer interface development, Journal of Neural Engineering. 10 (5), Pp. 1–25.

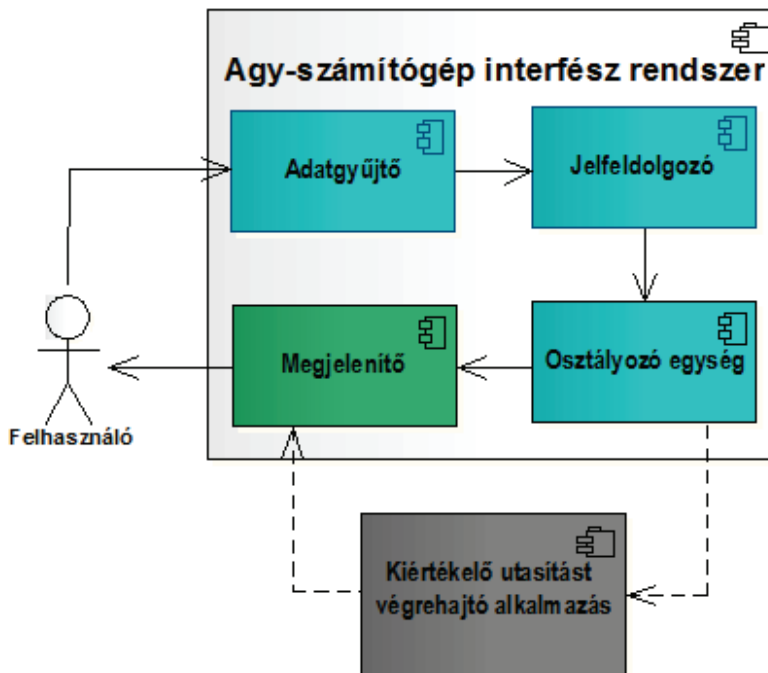
[17] Gerwin Schalk–Dennis J. McFarland–Thilo Hinterberger–Niels Birbaumer–Jonathan R. Wolpaw (2004): BCI2000: A General-Purpose Brain-Computer Interface (BCI) System, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 51, No. 6. Pp. 1034-1043.

[18] Gernot R. Müller-Putz–Christian Breitwieser–Michael Tangermann–Martijn Schreuder–Michele Taveila–Robert Leeb–Febo Cincotti–Francesco Leotta–Christa Neuper (2011): Tobi hybrid BCI: principle of a new assistive method, International Journal of Bioelectromagnetism, Vol. 13, No. 3. Pp. 144-145.

KÜLSŐLEG FUTTATHATÓ ALKALMAZÁS-KOMPONENS

A közvetlen illesztés egyik legnagyobb hátránya, hogy a rendszert alkotó elemek integrálására csak korlátozott lehetőségek állnak rendelkezésre. Közvetlen illesztés esetén ismertett megközelítésnél az alkalmazás-komponens is a rendszerbe integrált. E hátrány kiküszöbölésére egyes ember-gép interfész rendszerekben az alkalmazás-komponenst, mint egy külső végrehajtó egységet, a rendszeren kívül helyezték el, így ez lényegében az agyszámítógép-interfész rendszer számára ez egy külső alkalmazás. A 3. ábrán szemléltetett módon az agyszámítógép-interfész rendszer magját a – végrehajtó egységen kívül – tovább-ra is a felhasználóra jellemző tulajdonságokat gyűjtő extraktum, a tulajdonságokat osztályozó részegység, és a megjelenítést felelős elemek alkotják. Az ilyen struktúrájú embergép-interfész rendszerek például a BCI2000 [17] vagy a TOBI [18] platformra épülő rendszerek.

3. ábra. Az agyszámítógép-interfész rendszer külső felhasználói alkalmazással.



Ez a szemléletmód lehetővé tette, hogy az alkalmazások teljesen függetlenné váljanak az embergép-interfész rendszerétől és lehetőséget kínálva arra, hogy ezek az alkalmazások bármikor eltávolíthatóak, illetve bármikor csatlakoztathatóak is ahhoz. A rendszer magja magában foglalja a mért bioelektromos jelek feldolgozását, osztályozását és megjelenítését végző komponenseket, illetve külső komponens lehetővé teszi, hogy módosítsák, továbbfejlesszék azokat az algoritmusokat, amelyek a kiértékelést, az utasítások végrehajtását vezérlik. Így lehetőség nyílik új utasítások és tevékenységek létrehozására anélkül, hogy az agyszámítógép-interfész rendszer magját alkotó komponenseken változtatni, módosítani kellene. Ahogy a 3. ábrán látható az osztályozott információkat a külső komponens számára kell átadni további feldolgozás céljából. Ennek megvalósítását az agyszámítógép-interfész rendszer külsőalkalmazás-interfésze valósítja meg, ezzel biztosítva a kompatibilis alkalmazások tervezésének, fejlesztésének lehetőségét, mellyel az embergép-interfész rendszer funkciói az alaprendszer módosítása nélkül kiterjeszthetők.

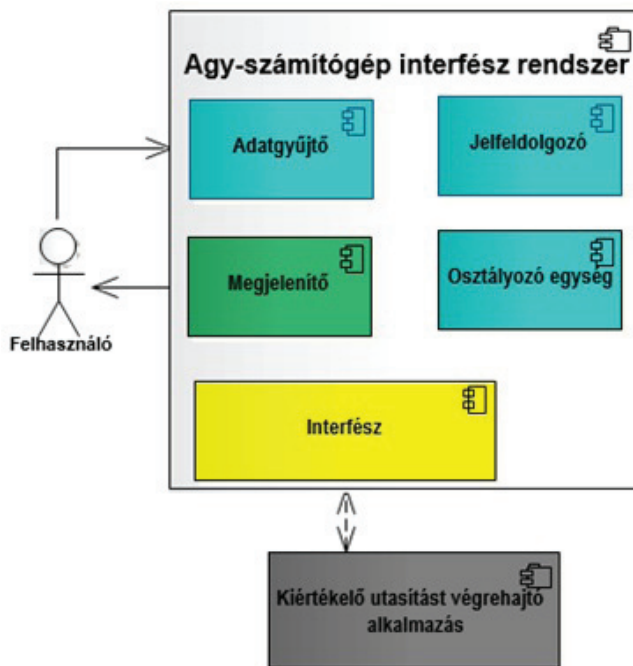
ÜZENETKÜLDÉSEN ALAPULÓ ALKALMAZÁS KOMPONENS

Az előzőekben tárgyalt rendszerek esetén az egyedi kiértékelő és utasításvégrehajtó-algoritmusok fejlesztése egy külön, az agyszámítógép-interfész rendszerbe integrált modul vagy külső komponens használatával valósítható meg. Az osztályozó egység által előállított információkat az egyes utasításokat kiváltó jellemzők alapján értékeli ki az algoritmus és az értékelés végeredménye alapján a kért szolgáltatások, feladatok vagy tevékenységek e vezérlés szerint hajtódnak végre.

Az előző információátadás a központi rendszer és a külső felhasználói alkalmazás között kétirányú üzenetátadás segítségével is megvalósulhat (4. ábra). Az üzenetekkel történő kommunikáció esetén a programozási interfésztől független kommunikációs protokoll útján valósul meg az információátadás. Az eddigi rendszerek funkcionalitásának üzenet alapú megközelítése lehetővé teszi, hogy az agyszámítógép-interfész rendszer magját alkotó komponensre a külsőalkalmazás-komponens vissza tudjon hatni, ezzel kiváltva annak frissítését esetleg paramétereinek módosítását. Ezt a megközelítést alkalmazzák a g.tec orvosi műszergyártó vállalat által fejlesztett és 2009-ben bemutatott intendiX™ rendszerben is [19].

[19] Reza Fazel-Reza (2011): Recent Advances in Brain Computer Interface Systems, Intech Publisher, Croatia.

4. ábra. Az agyszámítógép-interfész rendszer egy külső, kiegészítő alkalmazással.



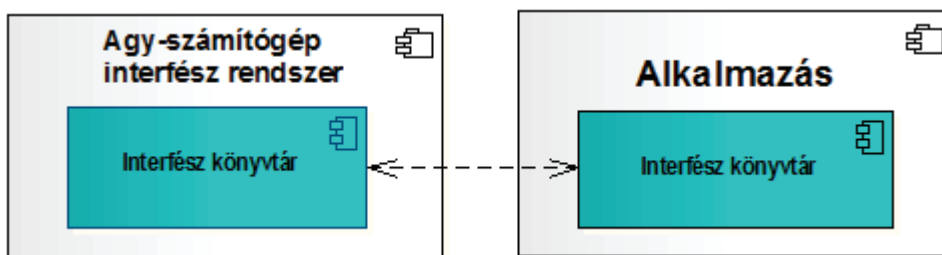
A rendszer előnye, hogy az alkalmazás által nyújtott szolgáltatások, tevékenységek, utasítás-értelmezés és -végrehajtás funkciók módosítása és fejlesztése során az agyszámítógép-interfész rendszer komponensei működtető algoritmusának változtatása nem szükséges. A rendszer üzenet alapú, szabványos protokollt alkalmazó kommunikációval való kiegészítése lehetővé teszi, hogy a felhasználó bármikor új lehetőségekkel bővítse ki a rendszert, mindezt az agyszámítógép-interfész rendszer fő komponenseinek módosítása nélkül.

CSATLAKOZÁS TERVEZÉSE

Az előzőekben bemutatott integrált agyszámítógép-interfész rendszerek kommunikációs és vezérlő interfészének kialakítása több módszerrel is megvalósítható. Az olyan platformok esetén, mint például a TOBI vagy a BCI2000, alkalmazás programozói interfész (API) könyvtárak biztosítják és kezelik az összes kapcsolatot és az adatátvitelt.

Ennek megvalósítása látható az 5. ábrán, ahol API-hívások segítségével valósul meg a kommunikáció az agyszámítógép-interfész rendszer és a hozzá kapcsolódó felhasználó által fejlesztett alkalmazás között. A kommunikációs protokoll megvalósítása az API által biztosított függvények útján rejtve marad a felhasználó elől. Az agyszámítógép-interfész rendszerek adott API függvénykönyvtára által biztosított kommunikációs kezelő és adattovábbító funkciók az integrált központi agyszámítógép-interfész rendszer módosítása, kiterjesztése nélkül biztosítani tudja a felhasználó általi továbbfejlesztés, új funkciókkal történő bővítés lehetőségét.

5. ábra. Az agyszámítógép-interfész rendszer egy külső alkalmazás kommunikációja.



A gyakorlatban többféle programozási nyelvet is alkalmaznak, amelyeken mind az alkalmazások, mind pedig az API könyvtárak implementálhatóak. Ha az alkalmazás implementálása más programozási nyelven történt, mint az API implementálása, akkor szükségünk van egy úgynevezett wrapper könyvtárra, amely hozzáférést biztosít az agyszámítógép-interfész rendszer API könyvtárához.

Üzenetküldésen alapuló kiértékelő és utasítást végrehajtó alkalmazás komponens esetén, melyet az intendiX rendszerben is alkalmaznak, csak a kommunikációs protokoll ismerete szükséges az információátadáshoz, mely programozási nyelv független adatkapcsolatot biztosít.

Összefoglalás

A fejbőrön mérhető bioelektromos jelek feldolgozásával nyerhető információk felhasználhatóak mind az orvostudományban. az egyes betegségek esetén bekövetkező képességek csökkenése miatti romló élet-körülmények javítására, vagy egyéb irányítási, működtetési funkciók megvalósítására is.

Ezen alkalmazási területek mindegyike esetén szükségessé válik egy agyszámítógép-interfész megvalósítása, mely az emberi agytól jövő jelek számítógépes feldolgozása útján különféle utasításokat és paran-csokat képes közvetíteni vezérlési vagy szabályozási céllal. Az egyes agyszámítógép-interfész rendszerek fejlesztésénél a létrehozandó funkciók minél jobb megvalósításán felül lehetőséget kell biztosítani a rendszer minél univerzálisabb továbbfejlesztésére is.

Ezért célszerű a rendszer modulos kialakítására törekedni annak érdekében, hogy a felhasználók általi továbbfejlesztés során csak bizonyos, a felhasználói interfész szempontjából fontos modulok kerüljenek módosításra. Így az embergép-interfész rendszer központi, az egyes felhasználásokban azonos jelfeldolgozási műveleteket végző, a konkrét felhasználói igények megvalósítása szempontjából azonos moduljai a felhasználó számára elrejtve, transzparens komponensként működhessenek.

Ehhez meg kell tudni valósítani a felhasználó által fejleszthető komponens és az agyszámítógép-interfész rendszer többi komponense közötti kapcsolatot, melyre a bemutatott példák alapján háromféle megvalósítási mód terjedt el. Az említett agyszámítógép-interfész rendszerek mindegyike biztosítja a rendszer továbbfejlesztésének lehetőségét, bár az OpenViBE-hoz képest a BCI2000 és TOBI API, valamint az intendiX rendszerekben megvalósított alkalmazásfejlesztő modul adatkommunikációja az alap komponensektől függetlenebb, a felhasználók számára szabadabb fejlesztést biztosít.

Ez lehetővé teszi, hogy az agyszámítógép-interfész rendszerek minél jobban a felhasználók igényeihez mérten legyenek kialakítva, egységes felületet biztosítva a fejlesztéshez és a használatához, mely az ember-gép interfész alapú eszközök egyre nagyobb elterjedéséhez, minél szélesebb körben történő alkalmazásához vezet.