

PERSPEKTIVY VYUŽITÍ TECHNOLOGIE BCI (BRAIN-COMPUTER INTERFACE) VE FYZIOTERAPII

PROSPECTS FOR THE USE OF TECHNOLOGY BCI (BRAIN-COMPUTER INTERFACE) IN PHYSIOTHERAPY

Zuzana Koudelková^{1,5}, Martina Žabčíková¹, Michal Filip^{3,4}, Roman Jašek¹, Martin Strmiska¹,
Bronislav Chramcov¹, Peter Janků¹, Vít Štěpánek¹, Pavel Vařacha¹, Šárka Daňková², Irena
Chmelová², Marcela Dabrovská³, Petr Linzer⁴

1 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

2 Fakultní nemocnice Ostrava

3 Ostravská univerzita

4 Krajská nemocnice Tomáše Bati ve Zlíně

5 Odpovídající autor: koudelkova@utb.cz

ABSTRAKT

Brain-Computer Interface (BCI) je rozhraní, které propojuje mozek a počítač. V tomto článku jsou vysvětleny základní principy ovládání periferních systémů, jako jsou např. protéza, invalidní vozík, domácí pomůcky apod. Ovládání systémů probíhá pomocí snímání mozkové aktivity čtrnácti svodovým EEG systémem přes technologické rozhraní BCI jednoduchého autorského typu vyvíjeného Ústavem informatiky a umělé inteligence Fakulty aplikované informatiky UTB ve Zlíně. Výsledky těchto návrhů ovládání periférií pak mohou být v blízké budoucnosti, díky znalostnímu synergickému efektu multioborové spolupráce, zaváděny v různých formách do klinické praxe (např. ve fyzioterapii).

Klíčová slova: Brain-Computer Interface, EEG, fyzioterapie

ABSTRACT

Brain-Computer Interface (BCI) is an interface interconnecting the brain and computer. This article explains the basic principles of controlling peripheral systems such as prostheses, wheelchairs, home aids, etc. The systems are controlled by brain draining by fourteen leakage EEG systems via the BCI technology interface of a simple author type developed by the Institute of Computer Science and Artificial Intelligence of the Faculty Applied Informatics of TBU in Zlin. The results of these peripheral control suggestions can be introduced into clinical practice (e.g. in physiotherapy) in the near future, thanks to the knowledge-based synergistic effect of multidisciplinary collaboration.

Keywords: Brain-Computer Interface, EEG, physiotherapy

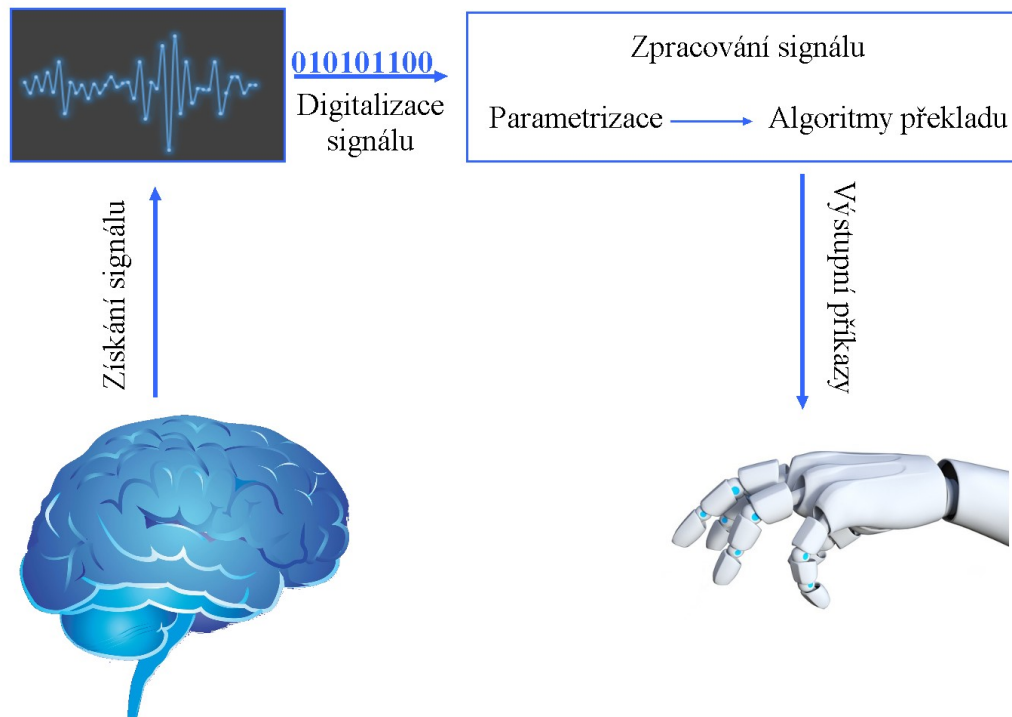
ÚVOD

Brain-Computer Interface jsou systémy umožňující získat a analyzovat elektrické signály, které se generují v lidském mozku. Tyto signály jsou využity a převedeny do diskrétní počítačově srozumitelné podoby tak, aby s nimi mohla digitální technika rychle a efektivně komunikovat v reálném čase. Rozhraní BCI by pomohlo zpracováním a přenosem těchto signálů alespoň částečně obnovit komunikaci poškozeného lidského organismu s okolím. V souladu se zahraničními pracemi, vidíme jeho budoucí potenciál v klinické praxi (např. v rehabilitační léčbě u pacientů s deficitem po cévních mozkových příhodách, při poranění míchy, degenerativních onemocněních nervové soustavy jako ALS, svalové dystrofie atd.). [1] [6] [7]

Neuron je základním prvkem nervové soustavy a jeho úkolem je především šíření nervového impulsu (vzruchu). Impulz je elektrický signál vytvořený na podkladě iontových změn na povrchu buněčné membrány. Pro přenos informací tvoří skupiny neuronů v mozkové tkáni síť, které jsou vhodné ke snímání a následnému zpracování elektrických impulsů. Tuto elektrickou aktivitu jsme schopni získat pomocí čtrnácti svodového snímače EEG signálů Emotiv EPOC+. Jedná se o škálovatelný systém pro kontextový výzkum lidského mozku. Pomocí tohoto systému je možno zaznamenat, rozpoznat, analyzovat, interpretovat a poté, díky vlastní řídicí jednotce, jí přiřadit schopnost ovládat externí či vestavěné systémy (neuroprotézy, rehabilitační pomůcky, vozíky, vybavení domácnosti apod.). Jde o vlastní řešení jednoduchého dynamického BCI systému vyvinutého na Fakultě aplikované informatiky ve Zlíně s dobrou aplikační možností a univerzalitou. Vzhledem k využití znalostí malých deskových počítačů Raspberry Pi a Arduino, je řešena kompatibilita s libovolnými senzory a komunikačním prostředím přes Wi-Fi a Bluetooth dle aktuálních technologických a přenosových standardů, blížících se komunikaci v reálném čase. Stran přesnosti klasifikace je tato dána citlivostí zařízení a nastavením na konkrétní osobu.

[8] [11] [19] [21]

Současné znalosti a další vývoj BCI ukazují potenciál a možnosti systémové integrace řízení “inteligentních” systémů na základě aktivizace mozkových center (liter.). Podporuje např. výzkum v oblasti objektivizace léčebných metod s potenciálem v oblasti generování další informace o fyzickém a emočním stavu pacienta. Umožňuje osobám s disabilitou, po úspěšném vstupu do systému, ovládat reálné i virtuální okolí, pomocí rozpoznatelných aktivit mozkových center a to s možností dalšího sofistikovaného využití vybraných algoritmů umělé inteligence. [5] [8]



Obr. 1. Schéma BCI systému (digitalizovaný signál mozkové aktivity je zpracován a převeden na příkazy periferních systémů (ovládání inteligentní domácnosti a elektrického vozíku, neuroprotektika, přístroje sloužící k neurorehabilitaci aj.)). [1]

1 ZPŮSOB SNÍMÁNÍ MOZKOVÉ AKTIVITY

Dle způsobu snímání mozkové aktivity rozlišujeme tři základní druhy BCI systémů (invazivní, částečně invazivní a neinvazivní).

Invazivním zavedením BCI systému rozumíme přímé zavedení elektrod např. pomocí kraniotomie do mozkové šedé kůry. Díky přímému kontaktu elektrody s tkání dosahují tyto signály nejlepší kvality. V současné době se využívá invazivní zavedení např. pro obnovu nevratně poškozeného zraku. Rizika výkonu jsou dána kraniotomií a pooperačními změnami doprovázené tvorbou jizvy apod. Tyto změny v čase mohou signál oslabit či ho úplně zrušit. [2]

Částečně invazivní BCI zařízení jsou implantovány rovněž intrakraniálně, ale část snímacího systému se nachází mimo mozek, nikoliv v šedé mozkové hmotě. Produkují signály s vyšším rozlišením než neinvazivní systémy a také mají menší riziko vzniku poškození tkáně v mozku.

Typickým představitelem technologie zapadající do této skupiny je elektrokortikografie (dále jen ECoG). [2]

Neinvazními BCI systémy rozumíme takové systémy, které pomocí elektrod umístěných na povrchu lebky snímají mozkové signály, jedná se o tzv. elektroencephalogram (EEG). EEG je záznam časové změny elektrického potenciálu způsobený mozkovou aktivitou. Tento záznam obsahuje široké frekvenční spektrum. Frekvenční rozsah se obvykle uvádí mezi 0,1 až 100 Hz. Bylo zjištěno a také v praxi ověřeno, že pro účely BCI systému vyhovují frekvence v pásmu do 40 Hz. Neinvazivní systémy se sice snadno používají, ale jejich hlavní nevýhodou je signál produkující špatné rozlišení, protože lebka tlumí a rozptyluje elektromagnetické vlny vytvořené neurony. [2]

Uvedený problém je řešen matematickými aproximačními algoritmy implementovanými do vědeckovýzkumných systémů a kitů (např. Emotiv EPOC+, který je využíván při tomto výzkumu). První úspěšné sestavení neinvazivního BCI systému bylo provedeno v roce 1998. Doktor Christopher Guger sestavil systém, který pomocí EEG systému „naučil“ počítač ovládat 80 pohybů pravé či levé ruky. Tento systém využíval 27 elektrod, které byly umístěny na povrchu hlavy. [20]

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části se pojednává o vlastním výzkumu a jeho metodice v oblasti BCI.

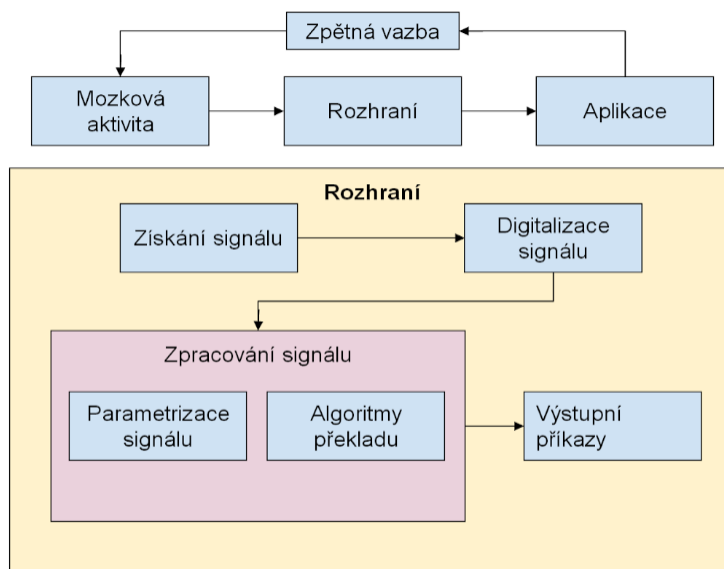
Od roku 2008 se na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně řeší projekty, které se týkají BCI systémů. V letech 2016-2017 byl týmem Fakulty aplikované informatiky UTB ve Zlíně vyvinut model neinvazivního jednoduchého BCI systému (Obr. 2.), který slouží k ovládání technických zařízení i také pro ovládání robota sestaveného pomocí inteligentních prvků robotické stavebnice (zde byly využity komponenty LEGO EV3).

Schéma pro řízení systémů

Brain Computer Interface

Navrženo a ověřeno
v r. 2014/15

Vlastní unikátní
systém vyvinut na FAI
UTB v r. 2016/17



Obr. 2. Schéma pro řízení systémů Brain-Computer Interface

Řízení externích systémů se provádí pomocí aktivizace mimických svalů obličeje, přes snímač EEG viz Obr. 3, 4, 5 a 6. Zařízení „brainwear“ firmy EMOTIV s označením EPOC+, je čtrnácti kanálový snímač EEG signálu se dvěma referenčními senzory - AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4.

Přístroj zaznamenává signály sekvenčně rychlostí 128 Hz s dostatečným rozlišením 14 bitů v jednom kanálu a frekvenční odezvou v rozmezí 0,16-43 Hz. Kromě toho poskytuje bezdrátový přenos dat s frekvencí 2,4 GHz s baterií umožňující nepřetržitou práci v rozsahu osm hodin. Jednou z předností systému je možnost využít pro kontakt elektrod fyziologický roztok, namísto běžného vodivého gelu, k vytvoření kontaktu mezi elektrodami a pokožkou hlavy. [26]



Obr. 3. Snímač EEG signálů Emotiv EPOC+ [26]



Obr. 4 Nasazení helmy Emotiv EPOC+



Obr. 5 Sestavený robot pomocí inteligentních prvků LEGO EV3

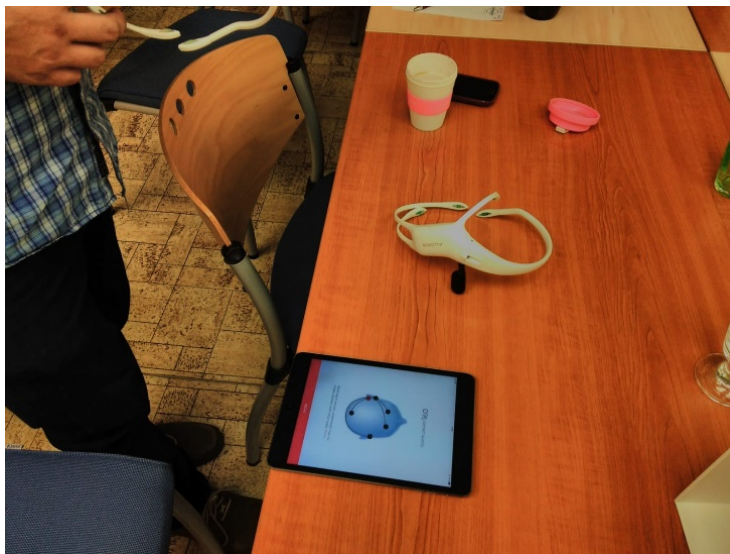


Obr. 6. Ovládání robota pomocí snímače EMOTIV EPOC+

Systém Emotiv Epoc+ je vědeckovýzkumným systémem, který zajišťuje svými parametry dostatečnou a to nejen základní přesnost (detailní přehled parametrů aktuálního systému naleznete v referenci [26]). Naším cílem je tyto schopnosti snímače ověřit a aplikovat v probíhajícím klinickém výzkumu.

Během technického vývoje architektury se rovněž podařilo odstranit riziko nekvalitního signálu, které popisuje literatura u neinvazivních aplikací. Uvedený systém byl odzkoušen a publikován formou dizertačních a kvalifikačních prací a článků (viz reference). Na podkladě těchto informací jsme vytvořili multioborový tým techniků, lékařů a fyzioterapeutů se zaměřením na budoucí aplikaci poznatků BCI technologií do klinické praxe a to např. u pacientů s trvalým postižením nervové soustavy jako jsou poúrazové stavy, degenerativní a metabolická onemocnění, mozkové příhody apod. V první fázi se tým zaměřil na schopnost zachytu (měření) digitálně zpracovaných

signálů s užitím BCI. Jedná se o systém brainwear, což je technologie vyvíjená Fakultou aplikované informatiky, která umožňuje vyhodnocovat informace (např. o fyzickém a emočním stavu jedince bez závislosti na typu postižení (viz Obr. 7 a 8)).



Obr. 7. Příprava snímání



Obr. 8. Snímání EEG signálů na pracovišti Rehabilitační kliniky FNO v Ostravě

V současné fázi výzkumu v rámci multioborové spolupráce jsme zatím schopni registrovat a poté hodnotit výstupy těchto měření. Po zpracování a vyhodnocení signálů v delším časovém úseku (měsíce) se tým bude zabývat možnostmi aplikace těchto poznatků do praxe a to např. v oblasti

objektivizace léčebných fyzioterapeutických metod, pomocí rozpoznatelných aktivit mozkových center či zhodnotit zpětnovazebný proces u pacientů s různými typy poškození nervové soustavy v průběhu komplexní fyzioterapeutické léčby a jejich modalit, jako jsou cvičení na přístrojích, ergoterapie, psychologie atd. To potvrzují i výsledky zahraničních studií, které se touto problematikou zabývají, viz reference [21-25].

3 DISKUSE

V současné době pracuje mnoho výzkumných týmů na funkčních aplikacích BCI rozhraní, se zaměřením na alespoň částečnou obnovu komunikace poškozeného lidského organismu s okolím. Mezi takové funkční systémy využívající BCI dnes řadíme např. Spelling systems, Virtuální končetinu a Neuroprotetické náhrady.

Spelling systems

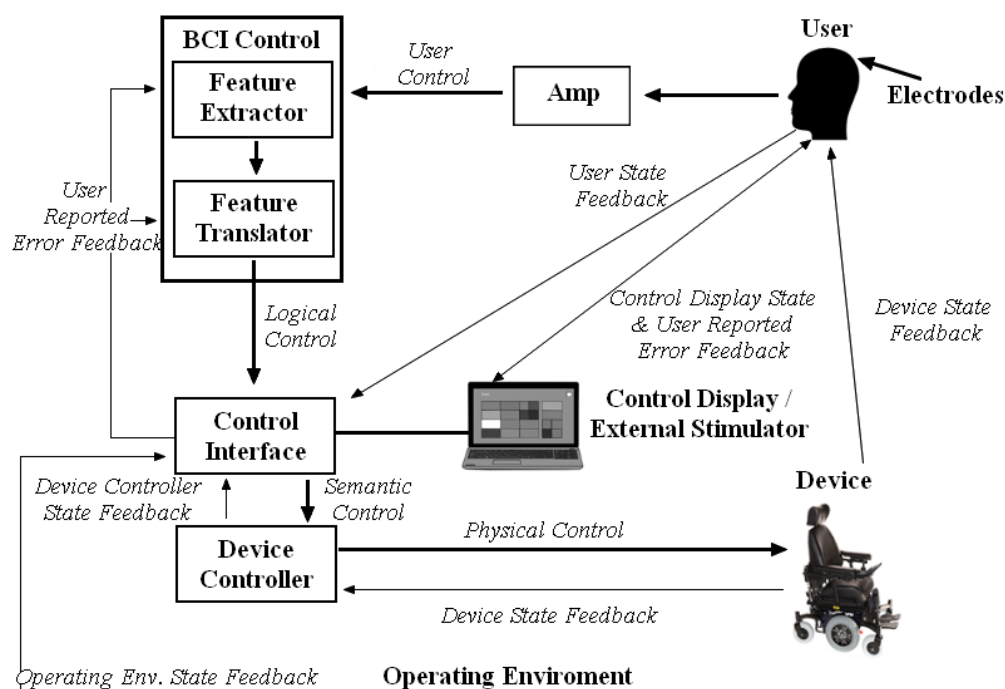
Tyto systémy jsou určeny pro pacienty, kteří nemohou komunikovat s okolím, např. díky smíšené fatické poruše. V současnosti nejpokročilejší systémy používají "ustálený zrakový evokovaný potenciál" (SSVEP). Zde dochází k propojení EEG snímače mozkových signálů a počítače, kde je vytvořena speciální aplikace. Ustáleným zrakovým potenciálem se vybere požadovaný čtverec se skupinou symbolů a tento proces se opakuje až do doby, kdy je vybráno určité písmeno či znak. Tato technologie nahrazuje jednoduchou slovní komunikaci. [3] [4]

Virtuální končetina

Jedna z aplikací BCI systému pro náhradu hybnosti končetinou, je tzv. virtuální ruka (např. po úrazech míchy). Tato aplikace graficky zobrazuje dlaně a je propojena se snímačem EEG signálů. Pacient si představuje pohyb pravou či levou rukou, snímač vyhodnotí elektrické signály z mozku a v aplikaci se vizualizuje vhodnou formou daná virtuální dlaň. [3]

Neuroprotetické náhrady

Zpracováním a propojením signálu EEG s neuroprotézou, umožňuje pomocí elektrických impulsů přemostit např. míšní léze. K prvnímu úspěšnému pokusu s využitím neinvazivního BCI systému o obnovení funkce dlaně u kvadruplegického pacienta došlo v roce 2000. [3]



Obr. 9. Schéma pro ovládání externích zařízení pomocí BCI

Výše uvedené příklady ukazují, že lze univerzálně mapovat nejen řídicí akce pro hardwarové platformy, ale i příkazy operačního systému či systémové zkratky bez nutnosti dalšího technologického prostředí. Budoucím řešením tohoto výzkumu bude především nasazení komplexního BCI rozhraní do oboru aplikované uživatelské robotiky (např. neuroprotetika u poranění CNS), ovládání dálkově řízených modelů (např. asistenční roboti), externích zařízení či ovládání softwaru (např. spelling systém po CMP). Velmi zajímavou aplikací může být také řešení problému lock/unlocked in syndromu. Tyto předpoklady potvrzuje i architektura navržených aplikací vytvořených v posledních letech na FAI UTB. Nový směr výzkumu je zaměřen na tzv. hybridní systémy. Díky propojení systémů BCI a EMG je možné překládat „myšlenky v činy“. Kombinace fyziologických signálů EEG a EMG patří mezi silné zájmové oblasti výzkumu fyzioterapie. Tam, kde první systém zaznamenává činnost mozku, druhý měří činnost, která se děje ve svalech pacienta. Rozdíly v aktivitě EEG a EMG ve srovnání s normálním vzorem u zdravého pacienta, mohou poukazovat na příčinu ztráty funkce motoriky. To může pomoci zejména s různými stupni poruch hybnosti nezávisle na typu postižení. V budoucnu se budeme snažit tyto poznatky v našem multioborovém týmu přetransformovat do různých klinických aplikací ve fyzioterapii.

[5] [7] [9] [13] [16]

5 ZÁVĚR

Technologie BCI systémů je relativně nová výzkumná oblast s velkým aplikačním potenciálem. Ten spočívá především v možném zkvalitnění života pacientů s trvalým neurologickým deficitem. K dnešnímu datu již nalezneme mnoho výzkumů zabývajících se touto neuro-informatickou oblastí. Nicméně na poli klinické fyzioterapie, jsou výzkumné aktivity s návazností na využitelnost těchto technologií v klinické praxi na počátku a možnosti jsou poměrně neznámé. Díky BCI systémům má již pacient s neurologickým deficitem možnost rehabilitace nejen pasivně, ale i aktivně pomocí „koncentrované pozornosti - síly myšlenek“. První poznatky naší multioborové spolupráce zatím s relativně jednoduchými aplikacemi BCI rozhraní ukazují na nové možnosti v této oblasti medicíny.

Na přípravě tohoto článku se podílela následující pracoviště. Klinika léčebné rehabilitace, Fakultní nemocnice Ostrava, Ústav rehabilitace, Lékařská fakulta, Ostravská univerzita, Neurochirurgické oddělení, Krajská nemocnice Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav informatiky a umělé inteligence, Fakulta aplikované informatiky a Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

REFERENCE

- [1] SHIH, Jerry J., Dean J. KRUSIENSKI a Jonathan R. WOLPAW. *Brain-Computer Interfaces in Medicine. Mayo Clinic Proceedings* [online]. 2012, 87(3), 268-279 [cit. 2018-02-19]. DOI: 10.1016/j.mayocp.2011.12.008. ISSN 00256196. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025619612001231>
- [2] ANUPAMA, H. a G. M. LINGARAJU. *BRAIN COMPUTER INTERFACE AND ITS TYPES - A STUDY* [online]. [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.e-ijaet.org/media/0001/7818-IJAET0805886-BRAIN-COMPUTER-INTERFACE.pdf>
- [3] PFURTSCHELLER, Gert, Gernot R. MÜLLER-PUTZ, Reinhold SCHERER a Christa NEUPER. *Rehabilitation with Brain-Computer Interface Systems* [online]. [cit. 2018-02-19].
- [4] *Fastest brain-computer-interface speller developed* [online]. In: . [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.kurzweilai.net/fastest-brain-computer-interface-speller-developed>
- [5] ŽÁK, Roman. *Řízení systémů pomocí aktivizace mozkových center*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 61 s. ISBN 978-80-7454-685-3. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav informatiky a umělé inteligence. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/41570>
- [6] AMIRI, Setare, Reza FAZEL-REZAI a Vahid ASADPOUR. *A Review of Hybrid Brain-Computer Interface Systems. Advances in Human-Computer Interaction* [online]. 2013, 2013, 1-8 [cit. 2018-

02-19]. DOI: 10.1155/2013/187024. ISSN 1687-5893. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/ahci/2013/187024/>

- [7] *EEG and EMG in rehabilitation. Ant neuro* [online]. [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://www.ant-neuro.com/show-case/eeg-and-emg-rehabilitation>
- [8] ŠVEJDA, Jaromír. *Návrh algoritmu pro biometrickou identifikaci osob pomocí analýzy EEG signálu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013, 84 s. ISBN 978-80-7454-683-9. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav informatiky a umělé inteligence. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/41571>
- [9] *Biomechatronics in medical rehabilitation*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 9783319528830.
- [10] GAGGIOLI, Andrea. *Advanced technologies in rehabilitation: empowering cognitive, physical, social and communicative skills through virtual reality, robots, wearable systems and brain-computer interfaces*. Washington DC: IOS Press, c2009. Studies in health technology and informatics, v. 145.
- [11] Kennedy, P.R., et al., *Direct control of a computer from the human central nervous system*. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 2000. 8(2): p. 198–202.
- [12] Shain, W., et al., *Controlling cellular reactive responses around neural prosthetic devices using peripheral and local intervention strategies*. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2003. 11(2): p. 186–188.
- [13] Buchanan, T.S., et al., *Neuromusculoskeletal modeling: Estimation of muscle forces and joint moments and movements from measurements of neural command*. Journal of Applied Biomechanics, 2004. 20(4): p. 367–395.
- [14] Zheng T., W. Chan Kit, and Y. Hu, *A human computer interface driven rehabilitation systém for upper limb motion recovery*. in IEEE International Conference on Virtual Environments Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, July 2 – 4, 2012. p. 26–29.
- [15] Jasper, H.H., *The ten-twenty electrode system of the International Federation*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 1958. 10(2): p. 371–375.
- [16] Knaepen, K., et al., *Human-robot interaction: Kinematics and muscle activity inside a powered compliant knee exoskeleton*. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2014.

- [17] Schutte, L.M., et al., *Improving the efficacy of electrical stimulation-induced leg cycle ergometry: An analysis based on a dynamic musculoskeletal model*. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 1993. 1(2): p. 109–125.
- [18] Homan, R.W., J. Herman, and P. Purdy, *Cerebral Location of International 10–20 System Electrode Placement*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 1987. 66(4): p. 376–382.
- [19] Pilcher, W.H., et al., *Intraoperative electrocorticography during tumor Resection - Impact on seizure outcome in patients with gangliogliomas*. Journal of Neurosurgery, 1993. 78(6): p. 891–902.
- [20] Cecotti, H., *Spelling with non-invasive Brain–Computer Interfaces – Current and future trends*. Journal of Physiology-Paris, 2011. 105(1–3): p. 106–114.
- [21] KHUSHABA, Rami N., Chelsea WISE, Sarath KODAGODA, Jordan LOUVIERE, Barbara E. KAHN a Claudia TOWNSEND. *Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking*. Expert Systems with Applications [online]. 2013, 40(9), 3803–3812 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.12.095. ISSN 09574174. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417412013371>
- [22] KHUSHABA, Rami N., Luke GREENACRE, Sarath KODAGODA, Jordan LOUVIERE, Sandra BURKE a Gamini DISSANAYAKE. *Choice modeling and the brain: A study on the Electroencephalogram (EEG) of preferences*. Expert Systems with Applications [online]. 2012, 39(16), 12378–12388 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.04.084. ISSN 09574174. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417412006811>
- [23] TAYLOR, Grant S. a Christina SCHMIDT. *Empirical Evaluation of the Emotiv EPOC BCI Headset for the Detection of Mental Actions. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* [online]. 2016, 56(1), 193–197 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1177/1071181312561017. ISSN 1541-9312. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1071181312561017>
- [24] BOBROV, Pavel, Alexander FROLOV, Charles CANTOR, Irina FEDULOVA, Mikhail BAKHNYAN, Alexander ZHAVORONKOV a Simon ROGERS. *Brain-Computer Interface Based on Generation of Visual Images. PLoS ONE* [online]. 2011, 6(6), e20674- [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1371/journal.pone.0020674. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0020674>
- [25] ANDERSON, E. W., K. C. POTTER, L. E. MATZEN, J. F. SHEPHERD, G. A. PRESTON a C. T. SILVA. *A User Study of Visualization Effectiveness Using EEG and Cognitive Load. Computer Graphics Forum* [online]. 2011, 30(3), 791–800 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1111/j.1467-8659.2011.01928.x. ISSN 01677055. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-8659.2011.01928.x>
- [26] Emotiv: *Emotiv epoc + - 14 Channel Wireless EEG Headset* [online]. [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://www.emotiv.com/product/emotiv-epoc-14-channel-mobile-ee/>