

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Řízení počítače myšlenkou. Technologická
prognóza BCI trhu.**

Technology Forecasting of BCI Market.

STUDIJNÍ PROGRAM

Řízení rozvojových projektů

STUDIJNÍ OBOR

Projektové řízení inovací v podniku

VEDOUcí PRÁCE

ŠTĚDRŇ BOHUMÍR, DOC. RNDR., CSC.

TOPURKO

MARTA

2020

Topurko Marta. Řízení počítače myšlenkou. Technologická prognóza BCI trhu. Praha: ČVUT 2019.
Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.



**MASARYKŮV ÚSTAV
VYŠŠÍCH STUDIÍ
ČVUT V PRAZE**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citovala a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 07. 05. 2020

Podpis:

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Bohumíru Štědroňovi, doc. RNDr., CSc. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

Abstrakt

Diplomová práce se věnuje inovativním technologiím umožňujícím sčítání informací přímo z mozku. V rámci práce je čtenář seznámen s principem fungování těchto technologií. Je obeznámen se základními nejdůležitějšími faktory, na kterých jsou tyto technologie založeny. Práce je taktéž zasazena do historického kontextu, kde jsou zmíněny nejdůležitější milníky vývoje technologií. Jedná se o velmi inovativní koncept a jeho použití je v současné době mnohdy prozatím neimplementovatelné. V práci jsou popsány návrhy, se kterými technologiemi by mohlo dojít ke kolaboraci, pro širší využití BCI technologií. V současné fázi rozvoje jsou nejvíce používané v lékařství a ve vojenství. Přitom možnosti využití BCI technologií jsou velmi široké. Jednat se může například i o řízení koncentrace, komunikace, identifikace osobností nebo také o seberealizaci. Zároveň z důvodů inovativnosti konceptu se zkoumá i vliv nových technologií na mozek, ale též legislativa, která se dané problematiky může týkat. Momentálně technologie vyrábí privátní společností nebo jejich vývoj je dotovaný vládou nebo nestátními organizacemi. Čtenář se na konci práce může seznámit s navrhovanými scénáři vývoje BCI trhu v letech 2020–2030. Může být inspirací nebo podkladem pro kohokoliv, kdo zvažuje investici do daných technologií nebo se zajímá o inovace v oblasti inovativních technologií, medicíny či čtení myšlenek pomocí počítače.

Klíčová slova

BCI, prognóza, vývoj, elektroencefalografie, trh

Abstract

This thesis deals with Brain Computer Interface technologies. During the reading of the thesis a reader is acquainted with the principles of operation of these technologies. These technologies enable researchers to gather information directly from the brain. The reader will be acquainted with the basic factors on which these technologies are based. The work is also put in historical context, there are mentioned the most important milestones in the development of technology. The concept of BCI technologies is very innovative and usage at the present times is often unimplementable. In the work there are also suggestions which technologies could collaborate with BCI technology and make it more usable. At today's stage of development, BCI technologies are the most used in medicine and the military. The potential possibilities of BCI technology are very wide. This can be, for example, concentration management, communication, identification of personalities or self-realization. At the same time, due to the innovativeness of the concept, the influence of new technologies on the brain is also examined. A big question that BCI is facing is also legislation concerning the given issue. At a given stage, the technologies are produced by private companies or its production is subsidized by government or impartial organizations. At the end of the work, the reader can get acquainted with the proposed scenarios of BCI market development in the years 2020 - 2030. The thesis can be an inspiration for anyone who is considering investing in BCI technologies, or a reader interested in innovative technology, medicine or leading the computer by power of thought.

Key words

BCI, prognosis, growth, electroencephalography, market

OBSAH

1	SEZNAM ZKRATEK	11
2	ÚVOD	5
3	CÍL PRÁCE, VÝZKUMNÉ METODY A ROZSAH	6
4	BRAIN – COMPUTER INTERFACE	7
5	SHRNUTÍ PRINCIPU NERVOVÉ SOUSTAVY	10
6	KLASIFIKACE BCI TECHNOLOGIÍ	13
6.1	SYNCHRONNÍ, ASYNCHRONNÍ A HYBRIDNÍ BCI	13
6.2	AKTIVNÍ A PASIVNÍ BCI	14
6.3	INVAZIVNÍ, NEINVAZIVNÍ A ČÁSTEČNĚ INVAZIVNÍ BCI	14
7	VYSVĚTLENÍ PRINCIPU METODY EEG	18
7.1.1	Artefakty	18
7.1.2	Hodnocení signálů EEG	20
7.1.3	Přístupy pro analýzu dat EEG	23
8	MILNÍKY HISTORIE	28
9	AI, STROJOVÉ UČENÍ, HLOUBKOVÉ A PŘENOSOVÉ UČENÍ V BCI	35
9.1	UMĚLA INTELIGENCE	35
9.2	STROJOVÉ UČENÍ	37
9.3	PŘENOSOVÉ UČENÍ	39
9.4	HLOBOKÉ UČENÍ	40
10	APLIKACE	42
10.1	VYUŽITÍ BCI V LÉKAŘSTVÍ	43
10.2	APLIKACE PRO KONCENTRACI	51
10.3	BCI V KOMUNIKACI	53
10.4	APLIKACE BCI PRO VYLEPŠENÍ PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ	55
10.5	APLIKACE VE HŘE	56
10.6	APLIKACE V INTERNETU VĚCI	57
10.7	APLIKACE VE STÁTNÍ SPRÁVĚ, OBRANĚ A IDENTIFIKACI OSOBNOSTI	58
10.8	APLIKACE BCI VE VOJENSTVÍ	60
10.9	APLIKACE V SEBEREALIZACI	61
10.10	VIRTUÁLNÍ REALITA A BCI	62
11	CO MŮŽE ZABRZDIT ROZVOJ BCI	65

12	EKONOMICKÁ SITUACE	72
12.1	SPOLEČNOSTI	74
12.1.1	EMOTIVE.....	75
12.1.2	NeuroSky	78
13	PROGNÓZY	80
13.1.1	Analýza faktorů.....	80
13.1.2	Scénáře vývoje trhu.....	83
14	ZÁVĚR	90
15	ZDROJE	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	98
	SEZNAM GRAFŮ	99

1 SEZNAM ZKRATEK

- AEP – „Auditory Evoked Potentials“ Sluchové Evokované Potenciály
- AI – „Artificial intelligence“ Umělá Inteligence
- BCI – „Brain Computer Interface“ Rozhraní Mezi Mozkem a Počítačem
- BSS – „Blind Source Separation“ Oddělení Slepého Zdroje
- CAGR – „Compound Annual Growth Rate“ Složená Roční Růstová Míra
- CCA – „Canonical Correlation Analysis“ Kanonická Korelační Analýza
- CIT – „Concealed Information Test“ Test Skrytých Informací
- CNN – „Convolutional Neural Networks“ Konvulční neuronová síť
- CNS – Centrální Nervový Systém
- EEG – Elektroencefalografie
- EP – Evokované Potenciály
- ERPs – „Event-Related Potentials“ Technika Založená na Událostech
- fMRI – Funkční Magnetická Rezonance
- fNIRS – Blízká Infračervená Spektroskopie
- ICA – „Independent Component Analysis“ Analýza Nezávislých Složek
- ICs – „Independed Components“ Nezávislé Komponenty
- MEG – Magnenoencefalografie
- PCA – „Principal Component Analysis“ Analýza Hlavních Komponent
- PCs – „Principal Components“ Hlavní Komponenty
- PET – Pozitronová Emisní Tomografie
- PNS – Periferní Nervový Systém
- SSVEP – „Steady-state Visually Evoked Potential“ Vizuálně Evokovaný Potenciál v Ustáleném Stavu
- VEP – „Visually Evoked Potentials“ Vizuálně Evokované Potenciály
- VR – „Virtual Reality“ Virtuální realita

2 ÚVOD

Řízení počítače přímo mozkiem do nedávné doby vypadalo spíše jako sci-fi. Jsme zvyklí ovládat naše zařízení jiným způsobem. Za nejběžnější rozhraní mezi počítačem a člověkem je považován fyzický pohyb. Například člověk uchopí do ruky počítačovou myš a kurzorem pohybuje po obrazovce. Je to nejjednodušší způsob řízení počítače a je nejvíce rozšířen. Lze komunikovat s počítačem i pomocí pohybu oka. Jedná se o elektrookulografii. Je to technologie, která sleduje pohyb očí. Elektrookulografie zaznamenává změny klidového potenciálu oka mezi přední a zadní částí oka, a to pomocí elektrod přiložených na kůži při vnitřním a zevním koutku oka. Mezi další rozhraní mezi počítačem a člověkem je možné zařadit například dýchací signály. Ke komunikaci mezi počítačem a člověkem může dojít i pomocí signálů, které nelze kontrolovat. Jsou to elektrické signály vznikající ve svalech. Jedná se o takzvané biosignály.

Dalším typem rozhraní mezi člověkem a počítačem je mozek. (BCI – Brain Computer Interface). V budoucnosti počítač dovede sčítat mozkové signály takovým způsobem, že dokáže rozpoznávat i myšlenky. V budoucnu lze očekávat, že řízení mechanických přístrojů nebo například implantátů bude probíhat pomocí myšlení. Tímto typem řízení počítače se v této práci budu zabývat.

Celosvětový trh BCI představoval v roce 2019 přibližně 1200 milionů amerických dolarů. Geometrický průměr tempa růstu mezinárodního trhu v posledních 5 letech byl ve výši 10 %. V dalším desetiletí jeho růst podle některých předpovědí poroste až na 17 %.

Potenciálním uživatelem BCI technologie se může stát kdokoliv. Jedná se o člověka s určitými nemocemi, o osobu s komunikačním postižením, o hráče počítačových her, vojáka v armádě či řidiče leteckého provozu. Jisté vize tvrdí, že ovládání počítače myšlenkou bude nejběžnější způsobem komunikace se všemi zařízeními.

BCI technologie by mohly být využité ve složitých komplexních provozních prostředích, ale i v běžném životě. BCI se může stát revolučním hlavním proudem v komunikaci mezi člověkem a počítačem. BCI by v budoucnu mohlo zvýšit produktivitu práce a to na bázi okolí, u kterého se předpokládá nastavení takových podmínek, aby se člověk mohl co nejlépe se koncentrovat. Technologie umí sčítat, v jakém stavu se lidský mozek nachází a podle toho je možné i odvodit, zda jsou okolní podmínky nastavené optimálním způsobem.

Důležitost a potenciál BCI technologie bude popsán v této Diplomové práci

3 CÍL PRÁCE, VÝZKUMNÉ METODY A ROZSAH

Hlavním cílem diplomové práce je zmapování současného trhu s technologiemi, které umožňují přímou komunikaci mezi mozkiem a zařízením, specifikovat charakteristiky trhu a následně navrhnout scénáře budoucího vývoje.

Otázky pro práci jsou následující:

Jaké jsou technologické scénáře vývoje BCI trhu pro příštích 10 let?

Jaké jsou hlavní trendy a nejistoty, které tyto scénáře formují?

Použité výzkumné metody v této práci jsou následující:

- Průzkum odborné literatury
- Odborné rozhovory
- Analýza založená na teoretických poznacích

Na začátku práce je definován pojem Brain Computer Interface, jakožto rozhraní mezi mozkiem a počítačem, a vysvětlení principu jeho fungování. Následně jsou popsány základní principy nervové soustavy člověka pro lepší pochopení potenciálu využití BCI technologií pro člověka. Na příkladu EEG technologií jsou vysvětleny principy hodnocení a analýzy sčítaných signálů. Jsou popsány milníky historie pro uvedení do problematiky řízení počítače myšlenkou. Dále jsou rozebrány možné kolaborace BCI technologií s jinými relativně novými koncepty jako jsou umělá inteligence, strojové učení nebo hloubkové učení.

Jsou popsány aktuální možnosti aplikace a také ty potenciální a následně jsou zformovány faktory, které tento rozvoj mohou zpomalit. V práci je zhodnocena ekonomická situace BCI trhu a uvedeny její nejdůležitější hráči.

Na bázi všech informací bylo navrženo 5 scénářů. Tyto scénáře byly zhodnoceny a prokonzultovány odborníky z oblasti inovativních technologií.

4 BRAIN – COMPUTER INTERFACE

Brain computer interface (BCI), česky rozhraní mezi mozkiem a počítačem, lze definovat jako obecný termín pro technologie, které měří mozkovou aktivitu jedince za účelem provedení určitých úkolů¹. Rozhraní mezi mozkiem a počítačem zajišťuje přímý způsob interakce s exténními zařízeními. BCI je napojeno na nervový systém a téměř eliminuje prostřední smysly.

Slovo rozhraní je spojení mezi systémy, zařízeními nebo lidmi. Nejčastěji je asociováno s výpočetní technikou, je však aplikovatelné prakticky na jakoukoliv aktivitu, kde probíhá interakce mezi člověkem a strojem. Rozhraní existuje pro usnadnění této interakce².

Fungování BCI zajišťují mozkové buňky – neurony, ty jsou navzájem propojené pomocí dendritů a axonů vykazujících elektrickou aktivitu, která je vyvolaná rozdíly v elektrických potenciálech na membráně každého neuronu³.

Navrhování BCI je složitý a komplexní úkol, jeho výzkum čerpá z několika oborů jako jsou neurověda, informatika, fyzika a elektrotechnika. Pokrok v BCI technologiích vedl k novému netradičnímu přístupu k fyziologickým problémům, které byly rezistentní vůči tradičním lékařským řešením⁴.

¹ THOMPSON, M., Critiquing the Concept of BCI Illiteracy. *Science and Engineering Ethics* [online]. 2019, 25(4), 1217-1233 [cit. 2019-11-30]. DOI: 10.1007/s11948-018-0061-1. ISSN 13533452.

² YONCK, R. The age of the interface: from processing codes punched out on cards to interpreting our brain waves, our computers are progressively learning how to read our minds. Future interfaces will help man and machine understand each other better. *The Futurist* [online]. 2010, 44(3), 14-19 [cit. 2020-02-18]. ISSN 00163317.

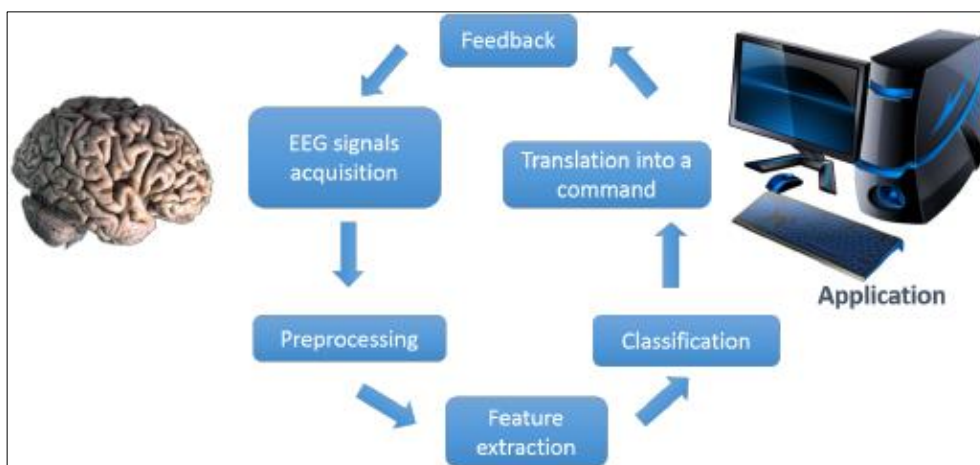
³ ŽÁK, R., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: *Řízení systémů pomocí aktivizace mozkových center* [online]. 2017, [cit. 2019-11-30]. DOI: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41570/žák_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

³ KROEKER K. L. Improving Brain-Computer Interfaces. *Communications of the ACM* [online]. 2011, 54(10), 11-14 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/2001269.2001275. ISSN 00010782.

⁴ ŽÁK, R., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: *Řízení systémů pomocí aktivizace mozkových center* [online]. 2017, [cit. 2019-11-30]. DOI: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41570/žák_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁴ KROEKER, K. L. Improving Brain-Computer Interfaces. *Communications of the ACM* [online]. 2011, 54(10), 11-14 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/2001269.2001275. ISSN 00010782.

Architektura BCI je zobrazená na následujícím obrázku 1: Architektura BCI⁵.



Obrázek 1: Architektura BCI

Architektura BCI funguje na principu uzavřené smyčky. Obvykle se jedná o 6 hlavních fázi: záznam mozkové aktivity (snímání dat), předběžné zpracování, extrakce funkcí, klasifikace, překlad do příkazu a zpětná vazba.

4.1.1.1 Záznam mozkové aktivity

Záznam mozkové aktivity umožňuje získat hrubé (raw signals) nebo surové signály, které znázorňují mozkovou aktivitu uživatele. K získání signálu je možné použít různé druhy zařízení. Nejvíce využívané jsou EEG (elektroencefalografické) technologie. EEG technologie umožňuje měřit napěťové potenciály vycházející z neuronů, které se nachází v mozku.

4.1.1.2 Předběžné zpracování signálu

Předběžné zpracování spočívá v čištění a odstranění šumu z naměřeného signálu za účelem extrahování relevantních informací. Jedná se také o odstraňování artefaktů, nežádoucích signálů vznikajících svalovou aktivitou, mrkáním nebo pod vlivem vnějších elektrických polí⁶.

⁵ CLERC, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE F., *Brain-computer interfaces, 2, Technology and applications* [online]. 2016 [cit. 2020-02-21]. ISBN 9781119347552.

⁶ KNAPOVSKÝ, M., ŠMRHA, M., Brain-computer interface, České vysoké učení technické, [online]. 2018 [cit. 2019-10-20]. Dostupné na: https://nit.felk.cvut.cz/~dark/Vyuka/AST2013/2013_05_07_uty/knapovsky_smrha_bci_vypracovani.pdf

4.1.1.3 Extrakce prvků do funkcí

Extrakce prvků spočívá v popisování signálu v podobě malého počtu proměnných nazývaných „funkce“. Funkcí může být například síla signálu EEG na některých senzorech na určitých frekvencích. Při klasifikaci sada funkcí čerpaných ze signálu v určitém časovém intervalu bude přiřazená do tříd. Jedna třída odpovídá konkrétnímu vzorci mozkové aktivity (například pohyb má svůj konkrétní vzorec)⁷.

4.1.1.4 Klasifikátor

Klasifikační algoritmus se nazývá klasifikátor. Jeho úkolem je rozpoznání vzorů mozkové aktivity nebo rozpoznání povelů dle získaných parametrů a následné generování příkazů. Například, když je zaznamenána myšlenka o pohybu levou rukou, lze ji přeložit do příkazu „posuň kurzor na obrazovce směrem doleva“. Tyto příkazy lze použít k řízení dané aplikace, například textového editoru nebo při ovládání robota.

4.1.1.5 Zpětná vazba

Zpětná vazba se poskytuje uživateli, aby ho informovala o vzorci mozkové činnosti, který byl rozpoznán. Cílem je pomoci uživateli modulovat mozkovou aktivitu takovým způsobem, aby vylepšila kontrolu BCI. Ovládání BCI je skutečně dovednost, kterou je potřeba se naučit.

Při použití BCI jsou nezbytná stádia online a offline. Při offline kalibrační fázi se určuje nastavení systému. Online je provozní fáze, během níž systém rozpoznává vzorce mozkové aktivity a převádí je do příkazů. Výzkumná komunita v současné době hledá řešení, jak se vyhnout nákladné offline kalibrační fázi⁸.

⁷ CLERC, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE F., *Brain-computer interfaces, 2, Technology and applications* [online]. 2016 [cit. 2020-02-21]. ISBN 9781119347552.

⁸ CLERC, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE F., *Brain-computer interfaces, 2, Technology and applications* [online]. 2016 [cit. 2020-02-21]. ISBN 9781119347552.

5 SHRNUÍ PRINCIPU NERVOVÉ SOUSTAVY

K lepšímu pochopení fungování BCI technologii je potřeba zhruba načrtnout, na jakých principech funguje nervová soustava.

5.1.1.1 *Mozek*

Mozek je jedním z nejdůležitějších lidských orgánů. Řídí pohyb, chování a reguluje rovnováhu lidského těla. Mozek umožňuje poznávání, vyjadřování emoci, ukládání vzpomínek, řídí motorické činnosti. V průměru má přes 86 miliard neuronů a existují zde i další typy buněk v téměř stejném množství. Propojení neuronů je zásadní pro mozkovou aktivitu, jelikož tvoří spojení mezi všemi mozkovými buňkami. Hlavní funkcí lidského mozku je vnímání, zahrnující snímání signálů z vnějšího prostředí a je jádrem porozumění lidských smyslů, pocitů a emocií. Mozek reguluje a řídí lidské chování a fyzickou aktivitu, reguluje paměťové funkce, metody myšlení a jiné procesy přemýšlení⁹.

5.1.1.2 *Neuron*

Mozková buňka – neuron se skládá z buněčného těla a výběžků, buď krátkého – dendritu nebo dlouhého – axonu. Spojení dvou neuronů se nazývá synapse. Informace, která spojeními prochází, je elektrický signál, odpovídající depolarizaci membrány axonů – akční potenciál, jinak řečeno okamžik, kdy se membránový potenciál buňky zvýší a zase sníží. Axon přenáší akční potenciál až do synapse. Molekuly emitované na synapsích pod vlivem akčních potenciálů se nazývají neurotransmitery. Mohou být excitační nebo inhibiční a tím se určuje odpověď, která bude obdržena. Odpověď může být buď budivá nebo tlumivá.

5.1.1.3 *Centrální nervový systém a periferní nervový systém*

Neurony jsou uspořádány do cest traktů nebo sítí, jejichž spojení určuje jejich roli. V nervových centrech se signály z různých nervových cest shromažďují a zpracovávají. Díky synapsím může být jeden neuron spojen až s několika tisíci dalších neuronů. Tradičně se role neuronů rozdělují na CNS a PNS, kde CNS je Centrální Nervový Systém, ke kterému patří mozek a mícha a PNS je periferní nervový systém, ke kterému patří párové nervy

⁹ SALIH, T. A., ABDAL M., Z., Brain computer interface based smart keyboard using neurosky mindwave headset. *Telkomnika* [online]. 2020, 18(2), 919-927 [cit. 2020-04-21]. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i2.13993. ISSN 16936930

vybíhající z mozku a míchy. Běžně jsou za eferentní označovány neurony, které přenášejí informace z CNS do PNS a za aferentní neurony přenášející informace z PNS do CNS.

Centrální nervový systém se skládá z mozku a míchy. Součástí mozku jsou mozkový kmen, mozeček a dvě hemisféry mozku. Mozek je chráněn třemi plenami a je uložen v lebeční dutině.

Mozkový kmen se nachází v nejvíce kaudální části mozku a zajišťuje východ 12 párům nervů, známých jako hlavové nervy. Mozeček se nachází mezi středním mozkem, Vorolovým mostem a prodlouženou míchou. Na povrchu se nachází šedá hmota tvořená neurony, která sestává z velkého množství nervových buněk obsahující málo nervových vláken. Bílá hmota se nachází pod šedou hmotou a obsahuje vysoký podíl myelinizovaných nervových vláken – axonů.

Každá hemisféra mozku je složena z několika laloků (frontální, parietální, temporální, týlní a ostrovní kůra). Z funkčního hlediska má každá polokoule své vlastní specifické funkce, zejména komplexní funkce (například jazyk v čelních a spánkových oblastech dominantní hemisféry, prostorovou orientaci v pravém parietálním laloku, organizaci komplexních gest v čelním laloku). Ve spodních částech hemisfér se nacházejí bazální ganglie složené z šedé hmoty.

Centrální nervový systém navazuje spojení mezi jejími součástmi prostřednictvím asociativních vláken (struktura v mozku spojující různé části stejné hemisféry mozku). Vlákná se táhnou směrem k míše, mozku a následně k Periferní nervové soustavě. Periferní nervová soustava je částí nervové soustavy obsahující nervy a neurony, která však nepatří do centrální nervové soustavy a nachází se mimo mozek a míchu. Skládá se z šedé hmoty a je regulačním centrem pro některé reflexní reakce.

PNS je tvořena z 12 párů hlavových nervů, které jsou spojeny s mozkem a 31 párů míšních nervů, které jsou napojené na míchu. Mozkomíšní nervy tvoří svazečky vláken a myelinu a jsou buď dostředivá (senzitivní, které vedou bolest) nebo odstředivá (podporují motoriku). Míšní nervy vychází z míchy v páteři, aby zásobily zbytek našeho těla. Hlavové nervy inervují hlavu a krk včetně našich smyslových orgánů.

Různé systémy (motorické, senzomotorické, smyslové) mohou mít buď stoupající nebo sestupné dráhy vedoucí z periferního receptoru do oblasti mozku zapojené do

interpretace signálu nebo jdoucí od kůry až k efektoru (tím může být například sval). Další cesty mohou být citové, vizuální, sluchové, vestibulární a čichové ústrojí¹⁰.

¹⁰ CLERC, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE F., *Brain-computer interfaces, 2, Technology and applications* [online]. 2016 [cit. 2020-02-21]. ISBN 9781119347552.

6 KLASIFIKACE BCI TECHNOLOGIÍ

Klasifikovat BCI lze do různých kategorií podle jejich vlastností. Zejména se klasifikují jako aktivní a pasivní, synchronní a asynchronní, jako závislé nebo nezávislé a invazivní, neinvazivní nebo dalším typem jsou hybridní. Tyto kategorie lze mezi sebou kombinovat. Může se například jednat o BCI aktivní, asynchronní a neinvazivní.

6.1 Synchronní, asynchronní a hybridní BCI

Synchronní nebo asynchronní fáze interakce mezi uživatelem a systémem určuje načasování interakce. Synchronní je systém, ve kterém uživatel může ovládat BCI pouze v určitých časech. V případě, že interakce je povolena kdykoliv, rozhraní je považováno za asynchronní.

Hybridní BCI ve stručnosti lze popsat jako BCI, které kombinuje mozkové signály s jinými signály (které mohou, ale nemusí vycházet z mozku). Pro ovládání BCI mohou být použity různé neurofyziologické markery a pokud se tyto markery kombinují, lze je považovat za hybridní. Může se jednat například o kombinaci představovaného pohybu rukou a mozkové reakce na podnět. Hybridními jsou systémy, které kombinují příkazy BCI a jiné mozkové příkazy (např. Svalové signály) nebo tradiční mechanismy interakce (například počítačová myš)¹¹.

Hybridní BCI se skládají ze dvou a více BCI nebo alespoň jednoho BCI a dalšího systému. Hybridní BCI, stejně jako jiné musí splňovat následující kritéria: zařízení musí reagovat na signál zaznamenaný přímo z mozku a musí existovat alespoň jeden mozkový signál, který uživatel může úmyslně modulovat, aby dosáhl cílového chování. Signál se zpracovává v reálném čase a uživatel musí získat zpětnou vazbu¹².

¹¹ CLERC, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE F., *Brain-computer interfaces, 2, Technology and applications* [online]. 2016 [cit. 2020-02-21]. ISBN 9781119347552.

¹² PFURTESCHELLER G., et kol., *The hybrid BCI*, *Frontiers in Neuroscience*, [online]. 2010 [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnpro.2010.00003/full>

6.2 Aktivní a Pasivní BCI

V posledních letech se vývoj rozhraní mezi mozkiem a počítačem odvrátil od svého původního účelu – tím byl subjekt ovládající vykonavatele. Místo toho se stává nástrojem poskytující duševní stav. Cílem pasivní BCI je odhadovat rozmanitost duševních stavů, jako je zapojení pozorných a kognitivních zdrojů, které se protínají s pozorností, duševní únavou a kognitivní zátěží – a stejně tak detekce chyb a emočního stavu operátorů.

Pasivní BCI, které se nepoužívá k řízení aplikaci prostřednictvím mentálních příkazů, ale místo toho pasivně analyzuje duševní stav uživatele. Aplikace monitoruje duševní zatížení uživatele v reálném čase za účelem přizpůsobení daného rozhraní¹³. Pasivní BCI zkoumá vnímání, povědomí a poznání uživatele bez kontroly, aby obohatila interakci mezi člověkem a počítačem implicitními informacemi.

Aktivní BCI je takové rozhraní, kdy je jeho uživatel aktivně zaměstnán při provádění mentálních úkolů. Využívá mozkové reakce uživatele na dané podněty. Příkladem může být imaginární pohyb rukou jako mentální příkaz. BCI založené na evokovaných potenciálech jsou považované za aktivní. Aktivní typ BCI je BCI vycházející z mozkové aktivity, kterou uživatel přímo a vědomě ovládá nezávisle na vnějších událostech¹⁴.

6.3 Invazivní, neinvazivní a částečně invazivní BCI

V praxi existují tři typy BCI systému podle toho, zda technologie je implantována do těla nebo je použita externě. Jedná se o invazivní, částečně invazivní a neinvazivní typ. U invazivní metody během chirurgického zákroku probíhá implantace do šedé kůry mozkové. Signály získány touto metodou mají nejlepší možnou kvalitu, roste však riziko poškození mozkové tkáně. Na bázi této metody probíhá nejvíce léčba nevidomých bez vrozených vad.

Zachycení biologických signálů z mozku invazivním způsobem je možné pomocí dvou metod: elektrokortikografie (ECoG) a interkortikálním neuronovým záznamem. Při

¹³ CLERC, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE F., *Brain-computer interfaces, 2, Technology and applications* [online]. 2016 [cit. 2020-02-21]. ISBN 9781119347552.

¹⁴ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

záznamu ECoG jsou elektrody připevněné na vnější straně kůry, zatímco při intrakortikálním zaznamenávání neuronů jsou elektrody implantovány uvnitř kůry¹⁵.

ECoG je metoda extrakortikálního invazivního elektrofyziologického monitorování, která používá elektrody připojené pod lebkou. S nižším chirurgickým rizikem, poměrně vysokém poměru signál-šum a vyšším prostorovým rozlišením ve srovnání s intrakortikálními signály invazivních zařízení má ECoG lepší vyhlídky v lékařské oblasti. ECoG má větší šířku pásma pro shromažďování potřebných informací z mozku. Na tomto pásmu probíhá trénování mozku pro ovládání systému BCI. Invazivní BCI jsou méně náchylné k artefaktům, které budou popsány níže. I přes to, že informace o kortikální a neuronální dynamice invazivních metod jsou spolehlivé, při zvážení každodenních aplikací se potenciální přínos z důvodu zvýšení kvality signálu snižuje kvůli existenci chirurgického rizika. Implantace invazivních zařízení je také časově náročná¹⁶.

Jakákoliv aplikace BCI musí být prováděna v souladu se zásadami autonomie pacientů, jejich informovaného souhlasu, závazků osob provádějících zákrok o prospěšnosti jejich jednaní a přísahu o dodržování kodexu lékařské etiky. V případě invazivních BCI, u kterých je nezbytný chirurgický zákrok, se předpokládá zvážení všech možných očekávaných přínosů a zvážení všech možných škod a rizik. Otevření lebky i přesto, že je ve dnešní době dobře kontrolovatelný proces, zahrnuje významná rizika, a zákrok do mozku lze zdůvodnit pouze v případě, že neexistuje jiná možnost. Není možné morálně akceptovat otevření lebky jiné osoby. Je to možné pouze v případě, že podstupované riziko je vyvážené vyhlídkou na očekávané zlepšení¹⁷.

Částečně invazivní BCI zařízení jsou implantovaná dovnitř lebky, ale část snímacího systému se nachází mimo mozek, nikoliv v šedé mozkové hmotě. Pro tuto technologii je

¹⁵ RASHID, M., ISLAM M., SULAIMAN N., BARI B., SAHA M. a HASAN, M. Electroocortigraphy based motor imagery movements classification using long short-term memory (LSTM) based on deep learning approach. *SN Applied Sciences* [online]. 2020, 2(2) [cit. 2020-01-22]. DOI: 10.1007/s42452-020-2023-x. ISSN 25233963.

¹⁶ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

¹⁷ CLERC, M., BOUGRAIN. L., a LOTTE F., *Brain-computer interfaces, 2, Technology and applications* [online]. 2016 [cit. 2020-02-21]. ISBN 9781119347552.

typická elektrokortikografie, která umožňuje vytvářet například kinematické BCI zařízení s jednou dimenzí kontroly pohybu.

Neinvazní metody BCI se používají nejčastěji. Jsou nejsnadnější v implementaci, avšak kvůli tlumení lebkou má signál špatné rozlišení. Stanovení oblasti mozku, která je zdrojem vln, je obtížnější¹⁸.

Mozková aktivita zaznamenaná neinvazními metodami je snímána pomocí metod EEG (Elektroencefalografie), MEG (Magnenoencefalografie), PET (Pozitronová emisní tomografie) fMRI (Funkční magnetická rezonance) či fNIRS (Blízká infračervená spektroskopie). EEG umožňuje měřit napěťové potenciály vycházející z mozkových neuronů. Snímače elektroencefalografu jsou umístěny přímo na hlavě a kvalita signálu může být zdeformovaná při průchodu přes kostní tkáň. Zároveň EEG je nejvíce používaná neinvazivní metoda pro snímání mozkových signálů¹⁹.

fNIRS, fMRI a EEG jsou neinvazivní technologie, které používají externí neurozobrazování k zaznamenávání mozkové aktivity. Tyto techniky zobrazují strukturu a funkčnost mozku a zkoumají propojení jednotlivých oblastí mozku, při kterém mohou být poskytnuté dvourozměrná a trojrozměrná zobrazení.

fNIRS používá blízké infračervené světlo k posouzení úrovně agregace okysličeného hemoglobinu a neokysličeného hemoglobinu. Technologie fNIRS je závislá na hladině kyslíku v krvi. Kvůli limitům světla fNIRS nelze použít pro měření kortikální aktivity v mozku pod 4 cm. Taktéž časové rozlišení fNIRS je relativně nižší než elektrické nebo magnetické signály.

fMRI monitoruje mozkové činnosti na principu hodnocení změny v oblastech mozku související s krevním tokem a spoléhá přitom na magnetické signály ovlivněné množstvím kyslíku v krvi. fMRI má vyšší prostorové rozlišení a shromažďuje informace

¹⁸ KNAPOVSKÝ, M., ŠMRHA, M., Brain-computer interface, České vysoké učení technické, [online]. 2018 [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: https://nit.felk.cvut.cz/~dark/Vyuka/AST2013/2013_05_07_utery/knapovsky_smrha_-_bci/vypracovani.pdf

¹⁹ RASHID, M., ISLAM M., SULAIMAN N., BARI B., SAHA M. a HASAN, M. Electroocortigraphy based motor imagery movements classification using long short-term memory (LSTM) based on deep learning approach. *SN Applied Sciences* [online]. 2020, 2(2) [cit. 2020-01-22]. DOI: 10.1007/s42452-020-2023-x. ISSN 25233963.

z mozku z hlubších oblastí než fNIRS. U fMRI je však stejnou nevýhodou jako u fNIRS nízké časové rozlišení zpomalené kvůli proudění krve. Nejvýznamnější nevýhodou fMRI je nezbytnost drahého a těžkého skeneru generujícího magnetické pole. Požadované skenery jsou nepřemístitelné anebo vyžadují pro přemístování hodně úsilí. V porovnání s ostatními technologiemi jsou neinvazivní zařízení založená na EEG nejvíce používané BCI díky relativně vysoké kvalitě signálu, spolehlivosti a mobilitě v porovnání s jinými zobrazovacími přístupy²⁰.

fMRI a fNIRS vykazují požadované vysoké prostorové rozlišení. Nevýhodou je časové zpoždění zapříčiněné skutečností, že tok okysličené krve navazuje na nervové buňky až po několika sekundách. Další nevýhodou je, že fMRI je vázaná na laboratoř a fNIRS dosahuje pouze přibližně 3 cm hluboko do mozku²¹.

Nevýhodou EEG je to, že kvůli omezenému počtu elektrod mají signály nízké prostorové rozlišení i přes to, že časové rozlišení je vysoké. Při použití signálu EEG pro systém BCI je třeba brát v úvahu nižší poměr signál-šum, protože faktory, jakými jsou okolní šum či subjektivní faktory jako je míra únavy, by mohly kontaminovat EEG signály²².

²⁰ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21].
Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

²¹ KÜBLER, A. The history of BCI: From a vision for the future to real support for personhood in people with locked-in syndrome. *Neuroethics* [online]. 2019, 1-18 [cit. 2019-10-22]. DOI: 10.1007/s12152-019-09409-4. ISSN 18745490.

²² GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21].
Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

7 VYSVĚTLENÍ PRINCIPU METODY EEG

EEG je elektrofyziologická monitorovací technika, která zaznamenává elektrické signály vycházející z mozku. EEG snímá rozdíl elektrických potenciálů vznikajících z neurologických iontových proudů produkovaných mozkem. Technologie poskytuje automatický záznam elektrické aktivity mozku v reálném čase pomocí více elektrod umístěných na pokožce hlavy. V posledních několika letech došlo k rychlému pokroku BCI založeného na EEG. Tento vzestup částečně mapuje zlepšení počítačového zpracování a zlepšení rychlosti zpracování, a to pomocí technické analýzy signálu²³.

EEG je nejčastěji používanou technikou k měření mozkové aktivity: elektrody jsou umístěny na pokožce hlavy a mohou být použity ve dvojicích k měření elektrických rozdílů. Technika EEG je jedním z nejvíce studovaných neinvazivních rozhraní také z důvodu, že má vysoké časové rozlišení. Hlavní výhody EEG spočívají v relativně nízké ceně seřízení, dobré přenositelnosti a relativně snadnému použití. Jednou z hlavních nevýhod EEG je kvalita prostorového rozlišení, jež má tendenci být nízké. U skalpu aktivita naměřená jedním EEG kanálem odpovídá průměrné aktivitě milionů neuronů. Lze však měřit pouze určité typy aktivity v povrchových vrstvách mozku. Amplituda elektrické aktivity je měřena v mikrovoltech. Naměřený signál pro každý kanál je připojen k zesilovači, který zvyšuje signály 1 000 až 100 000 krát. V digitálním akvizčním systému je analogový signál digitalizován a obvykle vzorkován rychlostí 256 až 512 Hz a poté filtrován, aby se odstranily nežádoucí frekvence, takzvané artefakty²⁴.

7.1.1 Artefakty

Artefakty jsou nežádoucí signály v EEG záznamu. Jsou rozděleny do dvou skupin – technické a biologické. Technické jsou způsobeny síťovým rušením nebo šumem přístroje. Biologické artefakty mohou být vyvolané například pohybem očí, při kterém se generuje elektrický biopól způsobující velké amplitudy v naměřeném signálu, také může být

²³ SALIH, T. A., ABDAL M., Z., Brain computer interface based smart keyboard using neurosky mindwave headset. *Telkomnika* [online]. 2020, **18**(2), 919-927 [cit. 2020-04-21]. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i2.13993. ISSN 16936930

²⁴ KOSMYNA, N. a LÉCUYER A. A conceptual space for EEG-based brain-computer interfaces. *PLoS ONE* [online]. 2019, **14**(01), 1-30 [cit. 2020-01-2]. DOI: 10.1371/journal.pone.0210145. ISSN 19326203.

způsobený srdeční aktivitou, amplitudu však zasahuje velmi mírně. Třetím typem biologických artefaktů jsou artefakty vyvolané svalovou aktivitou, kde během kontrakcí svalů vzniká elektrické pole²⁵.

Odstraňování artefaktů je jedním z trendů ve výzkumu BCI, což je vývoj přenositelných BCI zařízení a vývoj účinných přístupů ke zpracování signálů. Je náročné poskytnout spolehlivý systém v reálném čase, který by mohl shromažďovat, extrahovat a předběžně zpracovávat dynamická data s odstraňováním artefaktů ve stejném čase²⁶.

Na základě široké kategorie nepodřízených algoritmů pro vylepšení signálu technologie oddělení slepého zdroje (BSS – Blind Source Separation) odhaduje původní zdroje a parametry systému a odstraňuje artefaktové signály jako jsou mrknutí očí a pohyby, nacházejících se ve zdrojích signálu.

Existuje několik algoritmů BSS, například analýza hlavních komponent (PCA – Principal Component Analysis), kanonická korelační analýza (CCA – Canonical Correlation Analysis) a analýza nezávislých složek (ICA – Independent Component Analysis).

PCA je jednou z nejjednodušších technik BSS, která konvertuje korelované proměnné na nekorelované proměnné, jinak řečeno hlavní komponenty (PCs – principal components), pomocí ortogonální transformací.

CCA odděluje komponenty od nekorelovaných zdrojů a detekuje lineární korelaci mezi dvěma vícerozměrnými proměnnými, které byly použity při odstraňování svalových artefaktů ze signálu EEG.

²⁵ ŽÁK, R., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: *Řízení systémů pomocí aktivizace mozkových center* [online]. 2017, [cit. 2019-11-30]. DOI: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41570/žák_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

²⁶ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

ICA rozkládá pozorované signály na nezávislé komponenty (ICs – independent components) a rekonstruuje čisté signály odstraněním obsahujících IC. ICA je nejvíce používaný přístup k odstraňování artefaktů²⁷.

7.1.2 Hodnocení signálů EEG

EEG signály jsou sumační neurální potenciály, zaznamenané v oblasti skalpu. Jsou registrovány v pásmovém rozmezí 0,5 - 70 Hz. Hodnocení signálu vychází z okulometrického vyhodnocení charakteru křivek Alfa, Beta, Théta a Delta, vznikajících při vzorkovací frekvenci 256 Hz.

Měření signálu, založené na silném vnitropásmovém napojení, má různé behaviorální stavy (pásmo myšleno křivky Alfa, Beta, Théta a Delta), kde různá kmitočtová pásma představují různé charakteristiky a vzorce. U EEG je časové rozlišení mimořádně vysoké – na úrovni milisekund při tom EEG nevyžaduje vysoce intenzivní magnetické pole jako u jiných neinvazivních nebo invazivních technik²⁸.

Při hodnocení signálu je potřeba brát do úvahy, že existuje rozdíl mezi využitím EEG v klinické neurologické praxi a hodnocením elektrické aktivity mozku v experimentálních podmínkách na studium pohybu. Na rozdíl od klinické neurochirurgie, kde existují ustálená pravidla pro registraci a hodnocení získaných záznamů, při studiu pohybu se užívají moderní matematické postupy. Studium pohybového chování obsahuje mnoho modifikací, jež jsou přizpůsobené designu studií spojených s aktivním pohybem.

Elektrická aktivita mozku je snímána pomocí speciální čepice zhotovené z pružné tkaniny. V čepici jsou zabudované registrační nepolarizovatelné, chloridem stříbrným

²⁷ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

²⁸ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

protažené elektrody ukončené plochými elektrodami s centrálním otvorem. Pro snížení elektrodového odporu horními otvory čepice se aplikuje vodivý gel²⁹.

Rutinní EEG vyšetření jsou prováděna registrací mozkové aktivity z 19 elektrod. Elektrody na hlavě nejsou umístěné náhodně, a jsou řízené pomocí jednoduchého antropometrického měření, které bylo navrženo v roce 1957. Jedná o měření, kde podkladem je soustava antropometrických bodů na lidském těle. Jsou to místa, kde je kostra přikryta kůží, nikoliv svalem či tukem. Měří se zde vzdálenost mezi jednotlivými body na kostře promítnutými na povrch těla.

System pro EEG vyšetření je založen na procentuální vzdálenosti elektrod, která je buď 10 % nebo 20 %. Pro usnadnění orientace jsou jednotlivé elektrody označené písmenem a číslem. Elektrody jsou číslovány zleva doprava. Lichá čísla jsou pro levou hemisféru, sudá pro pravou³⁰.

Podle³¹ je s 20 elektrodami možné získat hrubou topografickou reprezentaci a s 64 elektrodami nebo více vytvořit poměrně přesnou kontinuální mapu potenciálu. Není rozumné překročit 265 elektrod (charakterní systém v současnosti na trhu) a to hned ze dvou důvodů. Na jednu stranu by bylo obtížné získat měření bez vytvoření izopotenciálu, tedy křivek spojujících body se stejnou hodnotou elektrického potenciálu (v případech, kdy jsou elektrody umístěny pomocí vodivého gelu). Druhým důvodem je to, že tento počet je dostatečný pro správné znázornění přítomného elektrického potenciálu na pokožce hlavy.

Zaznamenávání mozkové aktivity se provádí pomocí elektroencefalografu. Vzhledem k tomu, že síla signálu v mozku je v rozmezí desítek mikrovoltu, signál je potřeba zesilovat.

²⁹ PÁNEK, D.. *Elektroencefalografické koreláty pohybového chování a výkonnostní zátěže*. Vydání první. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2016. 105 stran. ISBN 978-80-246-3435-7.

³⁰ PÁNEK, D.. *Elektroencefalografické koreláty pohybového chování a výkonnostní zátěže*. Vydání první. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2016. 105 stran. ISBN 978-80-246-3435-7.

³¹ CLERK, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE, F. (2016). *Brain-computer interfaces 1: Methods and perspectives*. [online]. 2016. ISBN 9781848218260

K zesílení celého signálu z mozku je používán zrcadlový filtr – horní propust. Důvodem je potlačování snímání vrstvami, jakými jsou mozkomíšni mok, lebka a kůže³².

Naměřený signál je spojitý. Tento signál musí být převeden do digitalizovaného výsledného signálu. Proces digitalizace je provedený pomocí analogově-digitálního převodníku. Původní spojitý elektrický bio signál je převeden na diskretní posloupnost vzorků signálů vybraných v pravidelných časových intervalech. Signál je před převodem filtrován pro potlačení artefaktů. Při filtraci se bere ohled na zvolení minimálně nutné vzorkovací frekvence. Pro rutinní EEG vyšetření je dostačující vzorkovací frekvence 256 Hz.

Rutinní EEG je natáčeno v průběhu 15-20 minut s převážně zavřenými očima. Je však pravidlem, že se klidová EEG aktivita sleduje při zavřených očích a její reakce na otevření a opětovné zavření očí. Encefalografista hodnotí výskyt jednotlivých frekvencí ve vztahu k oblasti mozku a aktuálnímu stavu úrovní bdělosti. Rozpoznání bdělého stavu CNC s kolísání úrovní bdělosti a různých spánkových stádií jsou klíčovými pro správnou interpretaci zachycených frekvenčních a amplitudových změn.

U většiny zdravé populace je elektroencefalografická aktivita definovaná jako suma základních čtyř frekvencí: Alfa, Beta, Théta, Delta.

- Alfa vlny mají frekvenci ve výši od 8 do 13 Hz a objevují se ve stavu bdění a relaxace. Tyto vlny jsou přítomny v zadní části lebky. Jejich maximální hodnoty jsou dosahovány se zavřenými očima a jejich intenzita se tlumí při otevření očí. Jsou případy, kdy u některých jedinců se při bdělém stavu Alfa vlny nevyskytují, každopádně se nejedná o žádnou abnormalitu.

- Beta vlny mají frekvenci nad 13 Hz. Beta vlny se vyskytují v bdělém stavu a při otevřených očích.

- Delta vlny mají frekvenci pod 4 Hz. Jsou to nejpomalejší vlny a normálně se vyskytují během spánku. Předpokládá se, že delta aktivita je součástí procesu kódování a

³² ŽÁK, Roman, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: *Řízení systémů pomocí aktivizace mozkových center* [online]. 2017, [cit. 2019-11-30]. DOI: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41570/žák_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

uvolňování informací. U starších jedinců je delta aktivita občas krátkodobě viditelná ve stavu bdělosti.

- Théta vlny mají frekvenci 4-8 Hz. Většinou nereagují na otevření očí a výraznější mohou být při emočním vzrušení. Zejména jsou spojované s celkovou inteligencí člověka³³.

7.1.3 Přístupy pro analýzu dat EEG

Existují dva přístupy pro analýzu dat EEG. První je technika založená na událostech (ERPs – event-related potentials), druhá zkoumá hodnotu klidového stavu.

U ERP se jedná o události v organismu, které vznikají jako reakce na podnět. Jedná se tedy o neurální činnosti vznikající jako reakce na podnět. Obecně se ERP používá ke studiu nervových aktivit a zkoumají se reakce na podněty, jak fyzické, tak duševní. Technika ERP se používá v různých oborech.

ERP jsou elektrické potenciály generovány neurony v mozku související s vnějšími či vnitřními událostmi. ERP lze rozdělit do dvou kategorií: exogenní a endogenní.

Exogenním jsou smyslové ERP, které nesouvisí s kognitivním zpracováním ani nejsou jím ovlivněné. Mají nízkou latenci, což znamená, že doba mezi akcí a reakcí je nízká. Jsou závislé na fyzických vlastnostech podnětu, ne na vědomí subjektu.

Endogenní ERP se vyznačuje vysokou latencí, ke které dochází, jelikož mozek zpracovává podněty. Proto je také ERP kognitivní.

Různé složky ERP jsou definované třemi faktory: jejich amplitudou, průměrnou dobou trvání mezi podměty a nervovou odezvou, a zda vychýlení jsou pozitivní či negativní. ERP lze dále charakterizovat jako kauzální událost (např. poslech zvuku, identifikace objektu či lidí, počítání objektů, čtení gramaticky nesprávných vět).

Odpovědí nervové soustavy na stimulaci receptorů podle české a neurologie a neurochirurgie jsou evokované potenciály (EP). Jsou to změny elektrické aktivity mozku, ale i jiných částí nervové soustavy po působení úmyslného podnětu. V sobě tyto potenciály zahrnují vizuálně evokované (VEP – visually evoked potentials) potenciály a sluchové

³³ PÁNEK, D.. *Elektroencefalografické koreláty pohybového chování a výkonnostní zátěže*. Vydání první. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2016. 105 stran. ISBN 978-80-246-3435-7.

evokované potenciály (AEP – auditory evoked potentials). Jevy ERP, které mohou být spojené s jakoukoliv z níže uvedených kategorií, jsou evokované potenciály.

ERP je možné charakterizovat následovně³⁴:

- Jazykové komponenty – některé komponenty ERP se týkají porozumění jazyka. Složka N400 – je nejznámější – lze ji obvykle pozorovat, pokud se naráží na slova, která nejsou nijak v souvislosti se slovy nebo větami, například „rád hraje videohry“ a „rád hraje videohry žirafa“. Dalším příkladem je komponent P600 lze zaznamenat, pokud subjekt detekuje syntaktické anomálie, jedná se například o větu „Nic, že tebe poznávám“, která vyvolává vyšší amplitudu P600, než věta „Rád tebe poznávám“.

- Paměťové komponenty – bylo zjištěno, že některé komponenty ERP souvisí s pamětí. Tyto komponenty se objevují, když dochází k vykonávání mentálního úkolu více než jednou. Úloha může být provedena po několika hodinách, dnech či týdnech v závislosti na typu paměti (dlouhodobé či krátkodobé) a na komponentu ERP určenému k testování. Pokaždé, když osoba reaguje na stejné podněty, budou viditelně podobné ERP komponenty. Kromě toho, pokud osoba na tyto podněty již reagovala v minulosti, objeví se také složky související s pamětí, protože subjekt si již bude pamatovat, že byl těmto podnětům v minulosti vystaven. Komponenty ERP související s pamětí jsou zároveň slabinou spojenou s používáním ERP ke zkoumání nervové aktivity. Podnět, který vyžaduje odhalení subjektu nebo jeho překvapení bude problematický, protože scénář musí být několikrát opakován, aby získal přijatelný medián mezi akcí a reakcí a amplitudy komponenty.

- Komponenty související s emocemi – amplitudy mnoha komponentů ERP lze zvýšit pomocí emocionálních podnětů. Může to být například obličej se šťastným výrazem, místo neutrálních výrazů jako je krajina. Některé emoční reakce mohou být patrné po použití stejných podnětů více než jednou (podobně jako u složek souvisejících s pamětí), což je problém, který je potřeba vzít do úvahy.

³⁴ LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

- Složky související s odezvou – pokud subjekt reaguje na motorickou odezvu a ne na podněty, může být viditelná složka ERP související s odezvou obvykle v motokortexu. Tato složka se vyskytuje také v případech, kdy subjekt musí reagovat na podněty náročnějším způsobem, například subjekt musí odpovědět pouze v případě konkrétního obrázku, v průběhu promítání obrázků vybírá jeden požadovaný³⁵.

P300 je komponent ERP, který získává v BCI technologiích větší pozornost. Jedná se o takzvanou „Překvapivou vlnu“. Je tvořena krátkým vzestupem napětí, které vrcholí 300 milisekund poté, co do mozku dorazí informace o nějaké překvapivé, nečekané události. Pomocí P300 počítač reaguje na konkrétní informaci. V roce 2003 dobrovolníci dokázali psát za pomoci P300 až 8 znaků za minutu, se spolehlivostí 80 %. Jednalo se o proces, kdy se člověk musel soustředit na jedno písmeno či znak a když člověk viděl na obrazovce sloupec nebo řádek s potřebným znakem, v duchu si musel říci „to je ono“ (PETR, J., 2003).

Pro studii BCI založené na EEG je vlna P300 reprezentativní potenciální odezvou vyvolanou v mozkové kůře sledovaného objektu. P300 představuje kladný pokles napětí. Zejména u úkolů vizuálně evokovaných potenciálů se považuje proces, při němž se prezentuje několik obrázků za sekundu při vysokých zobrazovacích rychlostech, že má potenciál posílit symbiózu mezi člověkem a počítačem. Úkolem je trvalá pozornost a načasované reakce, které měří rychlost, s jakou subjekt reaguje na vizuální podnět, koreluje s hodnocením bdělosti, únavy nebo psychomotorických dovedností³⁶.

Další typ přístupu pro analýzu dat je hodnota klidového stavu. Záznam EEG v klidovém stavu je záznam získaný při použití zařízení ke sledování mozku jedince. Jedná se o periodu, kdy jedinec nereaguje na žádný podnět, kdy se nepohybuje a nemyslí na nic zvláštního. Hodnoty údajů o klidovém stavu jsou stále ve stádiu zkoumání a nemají žádné závěrečné zhodnocení. Naměřená korelace výsledků výkonů subjektu v úkolech při výkonů

³⁵ LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

³⁶ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21].
Dostupné na:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

funkce a v klidovém stavu jsou různé. Nebyly prokázány žádné monotónní korelace mezi klidovým EEG a evokovanými potenciály³⁷.

Nákladová efektivita a dostupnost zařízení EEG jsou zásluhou vývoje suchých senzorů, což taktéž stimuluje další výzkum ve vývoji vylepšených senzorů. Zároveň tendence senzorových technik se zaměřuje na zvyšování kvality signálu, vylepšení spočívá ve zlepšení materiálu senzorů a zdůrazňování uživatelského zážitku při sběru signálů prostřednictvím zařízení BCI³⁸.

Vzhledem k pohodlí nošení EEG zařízení byly vyvinuté měkké ohebné podložky pro rozšířené drátěné senzory na bázi křemíku pro suchá BCI. Studie představila měděné dráty, aby zajistila kontakt s pokožkou hlavy na místech pokrytých vlasy. Jsou vykazované dobré výkony proveditelnosti. Byly navrženy flexibilní nositelné senzory pro EEG a další biologické signály pro sledování inteligentních osobních zařízení a elektronických zařízení ve zdravotnictví. Pro terapii ve zdravotnictví může být přínosná metoda BCI s uzavřenou smyčkou, která používá okamžité řešení bio signální stimulace. Taktéž přínosem může být zpětnovazební učení, ve kterém se učení provádí pomocí zpětné vazby, která bude podporovat zlepšení tréninkové přesnosti v BCI aplikaci. Přínosy přenosu extrahovaných prvků a modelů školení mezi předměty nebo úkoly, jako je zlepšení účinnosti školení a zvýšení přesnosti klasifikace jsou zřejmé³⁹.

Na závěr Trendy myslí musí být dekodovány takovým způsobem, aby lidé mohli modulovat a interpretovat své myšlenky, aby se vypořádali se systémem BCI. Tyto signály jsou v BCI považovány za kontrolní signály.⁴⁰

³⁷ LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

³⁸ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21].
Dostupné na:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

³⁹ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21].
Dostupné na:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

⁴⁰ RASHID, M., ISLAM M., SULAIMAN N., BARI B., SAHA M. a HASAN, M. Electrocardiography based motor imagery movements classification using long short-term memory (LSTM) based on deep learning approach. *SN Applied Sciences* [online]. 2020, **2**(2) [cit. 2020-01-22]. DOI: 10.1007/s42452-020-2023-x. ISSN 25233963.

Hodnocení mozkových signálů sčítaných různými technologiemi je komplexní a komplikovaný proces. Na zpracování signálů mozku pracují týmy odborníků a v daný moment se jedná spíše o pokročilejší než závěrečnou fázi zpracování těchto signálů. V dostupné literatuře se zejména jedná o návrhy různých konceptů. Realizace zpracování signálu není dosud prozkoumaná.

8 MILNÍKY HISTORIE

Začátky encefalografie jsou datované před 100 lety. Z toho prvních 60 let se formulovala vize komunikace mezi počítačem a člověkem a dalších 40 let probíhá materializace této vize.

Jeden z prvních výzkumů rozhraní mezi mozkiem a počítačem byl publikován v 70. letech 20. století a zaměřil se na externí přenosový kanál bez závislosti na periferních nervových nebo výstupních cestách mozku. První koncept BCI byl navržen pro měření a dekódování mozkových vlnových signálů pro kontrolu protetické paže pro provedení určitého úkonu⁴¹.

V 70. letech minulého století Jacques J. Vidal vydal článek „Směrem k přímé komunikaci mezi mozkiem a počítačem“ o klíčových teoretických a technických návrzích pro přímou komunikaci mezi mozkiem a počítačem, kde určil všechny klíčové body pro vybudování funkčního rozhraní mezi mozkiem a počítačem⁴².

Ve stejném období skupiny vedené Schmidtem, Fetzem a Bakerem zjistily, že opice naučily kontrolovat mozkovou aktivitu s použitím principu: trest-odměna. Později bylo zjištěno, že rozptýlené skupiny neuronů v různých oblastech mozku kolektivně řídí motorické příkazy⁴³.

Zařízení, řízené výhradně lidskou mozkovou činností, bylo poprvé použito v roce 1964, při operaci mozku, prováděné doktorem Grayem Walterem. Bylo propojeno „další“ tlačítko k projektoru k motorickým oblastem pacienta, čímž vytvořil přímé rozhraní mezi

⁴¹ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

⁴² KÜBLER, A. The history of BCI: From a vision for the future to real support for personhood in people with locked-in syndrome. *Neuroethics* [online]. 2019, 1-18 [cit. 2019-10-22]. DOI: 10.1007/s12152-019-09409-4. ISSN 18745490.

⁴³ ŽÁK, Roman, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: *Řízení systémů pomocí aktivizace mozkových center* [online]. 2017, [cit. 2019-11-30]. DOI: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41570/žák_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

mozkem a počítačem. Pacient byl schopen přepnout snímek projektoru pouhým pomyslením o této činnosti⁴⁴.

Hans Berger objevil lidský EEG a spekoval o možnosti čtení myšlenek ze stop EEG pomocí sofistikovaných matematických analýz. V sedmdesátých letech EEG bylo navázáno na laboratoř kvůli zařízením, zejména zařízením sbírajícím data⁴⁵.

Grey Walter, průkopník EEG, postavil první automatický frekvenční analyzátor a počítač „průměrných přechodů“ se záměrem rozlišovat skryté myšlenky a jazyk lidské EEG. Fetz (1969) publikoval první referát o invazivní operaci kondicionování kortikálních hrotů u zvířat. Pouze tamní vývoj BCI nás trochu přiblížil ke splnění snů těchto průkopníků EEG technologií⁴⁶.

Pro zkoumání tematiky byly použity opice, jelikož mají pokročilé schopnosti uchopení a manipulaci s předměty. Bylo vybudováno BCI, kdy opice používala joystick pro natahování pro jídlo. Po řadě pokusů a experimentů se podařilo uzavřít zpětnovazební smyčku. Opice byly schopny cvičením dosáhnout a uchopit předměty na obrazovce počítače tím, že manipulovaly s joystickem, v té době, kdy pohyby robotického ramene byly skryty. Po tom, co zvířata mohla vidět pohyb ramene, mohla je ovládat tím, že ho viděly⁴⁷.

V praxi to probíhá následovně. Nejprve musí být změřená aktivita mozku. Ve Fraunhoferovém institutu pro počítačovou architekturu a softwarovou techniku v Berlíně k tomu používají snímací zařízení připomínající čepici se 128 elektrickými vývody. Snímané signály Brain-Computer interface převádí na řídicí signály pro PC. První pokusy stály výzkumnému týmu spoustu námahy. Zkušební osoby musely dlouho trénovat, než na

⁴⁴ KEROUS, Bojan, Filip SKOLA a Fotis LIAROKAPIS. EEG-based BCI and video games: a progress report. *Virtual Reality* [online]. 2018, **22**(2), 119-135 [cit. 2020-01-10]. DOI: 10.1007/s10055-017-0328-x. ISSN 13594338.

⁴⁵ BIRBAUMER, N. Breaking the silence: Brain 13computer interfaces (BCI) for communication and motor control. *Psychophysiology* [online]. 2006, **43**(6), 517-532 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2006.00456.x. ISSN 00485772.

⁴⁶ BIRBAUMER, N. Breaking the silence: Brain 13computer interfaces (BCI) for communication and motor control. *Psychophysiology* [online]. 2006, **43**(6), 517-532 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2006.00456.x. ISSN 00485772.

⁴⁷ ŽÁK, R., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: *Řízení systémů pomocí aktivizace mozkových center* [online]. 2017, [cit. 2019-11-30]. DOI: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41570/žák_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

displeji byly zachyceny první pohyby. Po více než sto hodinách tréninku se kurzor začal trhavě pohybovat. V roce 2006 tato počáteční fáze trvala 20 minut a hovoří se ne o tréninku, ale o „kalibrovacím systému“. Průlom způsobil berlínský výzkum, když proces učení byl převeden z člověka na stroj. Proband už se nemusel pokoušet myslet tak, aby mu rozuměl počítač, ale počítač byl vybavený algoritmy, které mu umožňovaly rozpoznat význam myšlenkových vzorů⁴⁸.

Jeden z experimentů na bázi Brain Computer Interface byl proveden v roce 2008 na opici. Za pomoci myšlenek opice ovládla robotickou ruku a přijala ji za vlastní.

Do mozku zvířete byly zavedené senzory – šíře zhruba lidského vlasu. Pomocí senzoru byly zachycené mozkové impulzy, jež počítačovému programu umožnily pohyb protézou. K tělu robotická ruka byla připevněná umělými klouby a svěráky mezi umělými prsty. Úkolem opice bylo se za pomoci protézy nakrmit. Opice zvládla pohyby po cvičích s vědci⁴⁹.

Před tím, než protéza byla ovládána přímo příslušnou částí mozku, lidé v oblasti rozhraní počítače a mozku zvládali pohyby animovaného kurzoru počítače v trojrozměrném kurzoru, používali k tomu víčko elektrod. Studie společnosti Mell Velliste z Pittsburské univerzity byla velkým krokem dopředu ve vývoji technologií BCI. Bylo ukázáno, jak signály z mozku mohou ovládat napojená ramena, a dokonce i spolupracovat v reálném čase.

V průběhu studií byla navržena protetická ruka, která se mohla volně otáčet kolem ramena a ohnout se v loktu. Ruka se skládala z dvou protilehlých prstů. V průběhu studie zvířata vlastními končetinami pohybovat nemohla. Do mozku, konkrétně do motorické kůry – části, která řídí pohyb, bylo opici implantováno 116 drobných elektrod. Každá elektroda byla naladěna na určitý směr v trojrozměrném prostoru.

Po širokém pohybu pomocí, kterého se ruka dostala na potřebné místo, následovaly menší pohyby. Opice měla za úkol dosáhnout jídlo. Mezi činnostmi mozku a odpovídajícím pohybem se objevuje zpoždění sedmina vteřiny. Protéza řízená pomocí myšlenky je

⁴⁸ 34) FLOHR, M., Ted' jen nepomyslet na nic špatného, Chip.cz, [online]. 2006 [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: <https://www.chip.cz/casopis-chip/earchiv/rubriky/magazin/ted-jen-nepomyslet-na-nic-spatneho/>

⁴⁹ ŽÁK, R., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: *Řízení systémů pomocí aktivizace mozkových center* [online]. 2017, [cit. 2019-11-30]. DOI: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41570/žák_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

pomalejší než skutečný pohyb ruky. Opici trvalo asi dvakrát tolik času k dokončení úkolu, než kolik by bylo využito, kdyby to prováděli vlastními končetinami⁵⁰.

V roce 2002 experiment s ovládním počítače pouhou myšlenkou byl posunutý na novou úroveň. Opice, která hrála videohru, při které pomocí joysticku kontrolovala kurzor, bylocílem bylo zasáhnout terč. Po tom, co byl terč zasažený, dostala odměnu. Po několika tisících pokusů za den, s 97 % úspěšností, byly zaznamenávány mozkové signály a posílané do protetické páže. Účelem bylo uvést do pochodu rozhraní mezi mozkiem a počítačem tak, aby opice zvládala úkol pomocí pouhé myšlenky, bez použití vlastního těla. Výzkum byl úspěšný a primát zvládl hrát hru bez zapojení vlastního těla.

O deset let později ve výzkumu ovládním zařízení mozkiem opice se naučila ovládat avatar. Zvířata byla vytrénovaná ovládat počítačové tělo ve virtuálním světě. Při doteku avatarů se posílají elektrické zprávy do mozku opice a zpravují ho tak o tom, zda se avatar dotýká terče, za který opice opět očekává odměnu.

Na obrázku č. 2: *Rozhraní mezi mozkiem a počítačem* je znázorněn proces, při kterém se opice učila ztotožňovat s robotickým tělem – avatarem. Schéma ukazuje, jak se opice může vytrénovat, aby začala uvažovat ve virtuálním světě z perspektivy první osoby, jako že ona je avatar. Opice používá výlučně mozkovou aktivitu k ovládním virtuálních končetin.

Na obrázku primát používá joystick k ovládním kurzoru na obrazovce. Při vykonávání této činnosti jsou zaznamenány elektrické signály mozku. Zjistilo se, že signál je možné přečíst a rozpoznat poslání, ve kterém je zaznamenán konkrétní pohyb končetiny. Signál je po posléze převedený do digitálního příkazu a poslán do virtuálního prostředí. Ve virtuálním prostředí jsou reprodukovány pohyby, které mozek pomocí elektrických signálů vysílá v reálném čase.

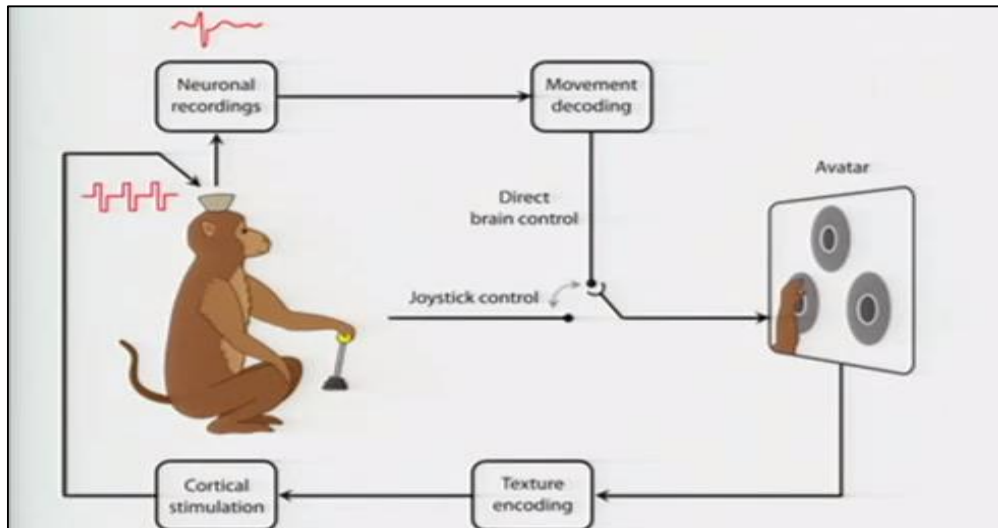
Zpětná vazba z virtuálního prostředí se vrací do mozku a je zpracovaná přímo mozkiem bez použití kožních senzorů. Zvíře cítí ve virtuálním prostředí povrchovou strukturu skrze elektrické signály. Musí se dotknout terče, pokud se dotkne správného terče, dostane odměnu. Zpětná vazba proběhne ze začátku jako kódování virtuálního prostředí,

⁵⁰ VELLISTE M, P. S, SPALDING MC, WHITFORD AS, Schwartz AB. Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding. Nature [Online]. 2008 [citováno 2020-04-13]; (7198):1098. Dostupné z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbro&AN=edsbro.A183424109&lang=cs>

následně probíhá kortikální stimulace mozku, po kterých opice nachází hmatové rozdíly a může stiskem vybrat potřebný terč.

V průběhu čtyř týdnů se mozek naučil zpracovávat tyto nové podněty a získává novou smyslovou dráhu⁵¹.

Na následujícím Obrázku 2: Opice kontrolující robota myšlenkou⁵² je schematicky zobrazen proces komunikace opice s robotem pomocí myšlenky.



Obrázek 3: Opice kontrolující robota myšlenkou.

Po všech výzkumech byl BCI koncept interpretován jako přímá komunikace mezi mozkiem a extéřním zařizemím. V posledním desetiletí se BCI dostává do lidské pozornosti. BCI systémy mají za cíl přeložit lidské kognitivní vzorce pomocí mozkových aktivit. Využívá zaznamenané mozkové činnosti ke komunikaci s počítačem za účelem ovládní extéřních zařizemí nebo prostředím způsobem kompatibilním se záměry lidí⁵³.

⁵¹ TED Talks, 2013, Miguel Nicolelis: A monkey that controls a robot with its thoughts. No, really., Youtube video. [citováno 2020-04-13]; Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=CR_LBcZg_84

⁵² TED Talks, 2013, Miguel Nicolelis: A monkey that controls a robot with its thoughts. No, really., Youtube video. [citováno 2020-04-13]; Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=CR_LBcZg_84

⁵³ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

V roce 2010 Wang a kol. postavili BCI systém na SSVEP na vizuálně evokovaných potenciálech v ustáleném stavu (SSVEP – steady-state visually evoked potential) pro dálkové ovládaní automobilů. Bylo použito 5 různých blikajících frekvenčních vzorů LED o rozměrech 3 cm*3 cm. Byly použité frekvence 9, 11, 13, 15 a 17 odpovídající 5 akcím vpřed, vzad, odbočení doleva, odbočení doprava a zastavení pro dálkové ovládaní vozu.

V roce 2011 byl navržený systém k ovládaní ruční ortézy pro osoby s tetraplegií. Za rok byl navržený bezdrátový BCI s EEG, kde signály pro ovládaní elektrického vozíku byly blikání očí⁵⁴.

Podle MARKET FUTURE RESEARCH byly v posledních letech nejvýznamnější tyto události ve vývoji BCI:

V roce 2017 společnost Natus Medical Incorporated získala obchodní aktiva neurochirurgických společností.

V roce 2018 společnost Brain Products GmbH uvedla na trh actiCHamp Plus. Technologie nabízí aktivní a pasivní elektrodové záznamy pro použití k laboratornímu nahrávání EEG signálu. Zároveň při zaznamenávání probíhá škálovatelnost signálu.

V roce 2018 se společnost EMOTIVE spojila společností SAP SE. Účelem byl vývoj řešení uživatelského zážitku pro zlepšení produktivity pomocí mobilní neurotechnologie. Společnost se zaměřila na poskytování hands-free interakce se stroji.

V roce 2018 společnost Neurosky, Inc., uvedla na trh náhlavní soupravu MindWave Mobile EEG. Přístroj pracuje na pochopení principů činnosti mozku. Ke stejnému účelu v roce 2017 společnost Nihon Kohden Corporation vyvinula náhlavní soupravu CerebAir EEG, která je uživatelsky přívětivá a kterou může obsluhovat kdokoliv.

Přestože jsou BCI technologie v oblasti výzkumu přítomné více než 40, let teprve nedávno se dostaly do pozornosti medií chytlavé články typu „psaní prostřednictvím myšlení je možné“ nebo „člověk ovládá robotickou ruku pomocí pouhé myšlenky“. Novinářské články jsou velmi křiklavé a zachycují pozornost a naděje vědců a vývojářů v této oblasti. Vize, které mohou být naplněné pomocí BCI technologie jsou dostatečně velké, aby

⁵⁴ LIN, L., A Wireless BCI-Controlled Integration System in Smart Living Space for Patients. Wireless Personal Communications: An International Journal [Online]. 2016 [2020-10-17]; Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssjs&AN=edssjs.55F29FC3&lang=cs>

dokázaly upoutat veřejnost a s tím i velké potenciální zdroje pro financování. Jaké jsou tedy v danou dobu skutečné možnosti BCI a jaké jsou jejich potenciály je popsáno v následující části práce.

9 AI, STROJOVÉ UČENÍ, HLOUBKOVÉ A PŘENOSOVÉ UČENÍ V BCI

BCI technologie začínají úspěšně kolaborovat s dalšími technologiemi. Zejména posledních 10 let s vývojem umělé inteligence, strojového učení a hloubkového učení se rozpracovávají různé projekty, při kterých by BCI technologii pomocí kolaborace mohly urychlovat vývoj a nacházet nové možnosti uplatnění.

Hlavním přínosem aplikace hlubokého učení je úspora časově náročného předzpracování mozkového signálu před provádění následujících technických kroků. Současně hluboké učení zachycuje na různých úrovních symbolické prvky a nepostřehnutelné závislosti. Uskutečnění těchto dvou výhod se může projevit tím, že se využijí přímé mozkové signály k tomu, aby se identifikovatelné informace učily prostřednictvím zpětného šíření. Přenosové učení je zatím běžně používáno k vylepšení regenerace kapacit pro strojové učení. Kombinace přenosového učení a hlubokého učení se široce používá v lékařských aplikacích a pro obecné aplikační účely jako klasifikace obrazů a rozpoznávání objektů.

Pokroky v přenosovém učení mohou zmírnit omezení BCI, jelikož nebude potřeba kalibrace dat, bude zachyceno méně artefaktů pro přenášené informace a přístroj BCI může spoléhat na předchozí použitelná data a tím zvyšovat velikost datových sad, které následně mohou být použité při aplikaci BCI⁵⁵.

V této kapitole budou popsány základní principy umělé inteligence, strojového a hloubkového učení. A zároveň znázorněny perspektivy jeho použití.

9.1 Umělá inteligence

Umělá inteligence (AI – Artificial intelligence) je věda o vytváření strojů nebo systémů, které budou při řešení určitého úkolu užívat takové postupy, které v případě, že by je vykonával člověk, považovali bychom je za projev jeho inteligence.

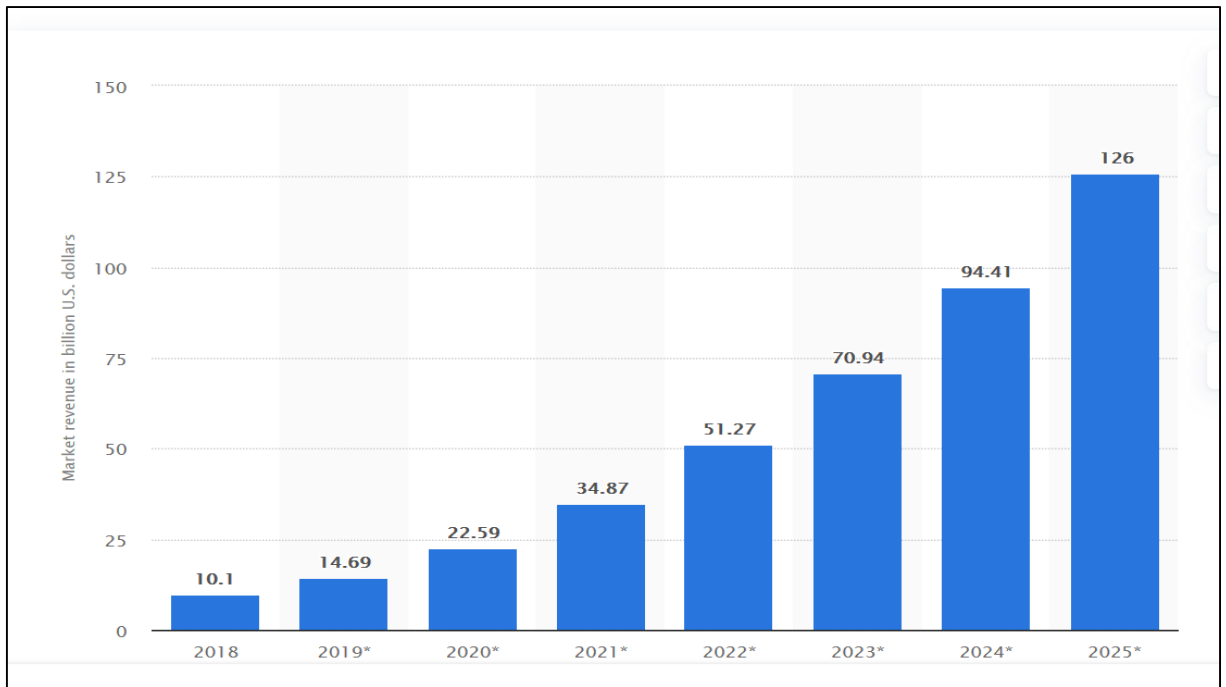
⁵⁵ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

V dnešní době AI dosáhla velkého pokroku ve dvou oblastech, a to ve vnímání a v poznávání. AI umí přepsat diktovaný text třikrát rychleji než člověk a její chybovost je 5 %. A v roce 2016 rozpoznávala obrazy s chybovostí menší než 4 %.⁵⁶

Principem učení v umělé inteligenci je opakování ukázkových situací. Na příklad AI dostane sadu obrázků, na kterých je zobrazený kůň v různých polohách, v různých barvách a plemenech. Tyto obrázky jsou prohlíženy umělou inteligencí a ta začíná postupně formulovat algoritmus, podle kterého zvíře pozná. Proces probíhá na principu vrstev. V nejnižší vrstvě AI rozpozná základní tvary a barvy, v další vrstvě části těla a v nejvyšší vrstvě AI rozpozná, že na obrázku je kůň. Po mnoha pokusech AI dokáže rozpoznat i zvíře na neznámém obrázku, který v sadě nebyl.

Na následujícím obrázku č. 3: *Výnosy AI na světových trzích* podle STATISTA je znázorněn budoucí vývoj výnosů z aplikace AI do systémů. V roce 2018 toto množství činilo 10, 1 milionů amerických dolarů. V roce 2025 se předpokládá, že tato suma bude 126 milionů amerických dolarů. Z uvedených dat je vidět, že za 7 let výnosy porostou téměř dvanáctkrát.

⁵⁶ CEJNAROVÁ, Andrea, *Umělá inteligence: V budoucnosti to bez ní nepůjde*. Siemens Visions [online]. 4.1.2019 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/umela-inteligence-v-budoucnosti-to-bez-ni-nepujde>



Obrázek 3: Výnosy AI na světových trzích⁵⁷

9.2 Strojové učení

Strojové učení se v minulém desetiletí začalo aktivně prozkoumávat vědci a inženýři z oblasti BCI. Podle Computer Word je podskupina umělé inteligence, která systémům umožňuje se učit a předvídat výsledky bez výslovného naprogramování, často zaměňována za umělou inteligenci.

Strojové učení je podmnožinu výpočetní inteligence, která spoléhá na vzorce počítačových systémů, ke zkoumání konkrétních úkolů bez použití explicitních pokynů. Mezi strojovým učením a počítačem je zcela zásadní rozdíl: počítače se programují s jasně definovaným cílem, stroje vybavené AI se učí prostřednictvím příkladů⁵⁸.

⁵⁷ STATISTA, [Brain Computer interface revenue worldwide in 2018 and 2025](https://www.statista.com/statistics/1015013/worldwide-brain-computer-interface-market-value/), [online]. 2009, [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: <https://www.statista.com/statistics/1015013/worldwide-brain-computer-interface-market-value/>

⁵⁸ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

Termín byl poprvé navržen s cílem popsat systémy, které při svém rozhodování používají výsledky implicitního zpracování, které lidský mozek již provádí (např. člověk pozoruje svíčku, nevyžaduje při tom žádné zvláštní duševní akce spojené s tímto úkolem, mozek svíčku identifikuje automaticky pouhým pasivním prohlížením). Ačkoli jsou nástroje strojového učení v současné době považovány za velmi výkonné, lidský mozek je účinnější například při označování údajů o životním prostředí. Můžeme tedy pomocí existujících systémů rozpoznávat vzory efektivněji a rychleji rozpoznávat a označovat obrazy jiných podnětů⁵⁹.

Teorii strojového učení vědci nasazují pro interpretaci neurofyzilogických signálů, které jsou založené na neuronových sítích. V rozhraní BCI se klasifikují naměřené křivky například podle toho, zda zaznamenají pohyb pravé nebo levé ruky. Po dvaceti minutovém psaní počítač z hodnot EEG dovede sepsat funkci, která dokáže roztřídit, zda byla použita levá ruka či pravá ruka. Z diagramu je možné rozeznat, co se děje v kortexu. Měření ukazuje, jaké aktivity v mozku předcházejí pohybu. Zároveň je jasné, že toto rozhraní má určité hranice a třeba na myšlené telefonní číslo program nedokáže přijít⁶⁰.

Úkoly strojového učení jsou klasifikovány do dvou modelů: učení pod dohledem a učení bez dohledu. U učení pod dohledem, data se rozdělují do dvou podmnožin, tréninková sada a testovací sada (nová data).

U učení pod dohledem pro klasifikaci a regresi může být aplikováno to, co bylo naučeno ve fázi školení. Používají se zde označení příkladů, aby se otestovala testovací sada, na které se klasifikuje typ události nebo předpovídá se budoucí události.

Učení bez dohledu se provádí, pokud data použitá k trénování nejsou klasifikovaná, ani nijak označená. Obsahuje pouze vstupní data a odkazuje na pravděpodobnostní funkci, která popisuje skrytou strukturu, jako je seskupování nebo sdružování datových bodů. K tomu, aby strojové učení proběhlo, je potřeba vytvořit model učení.

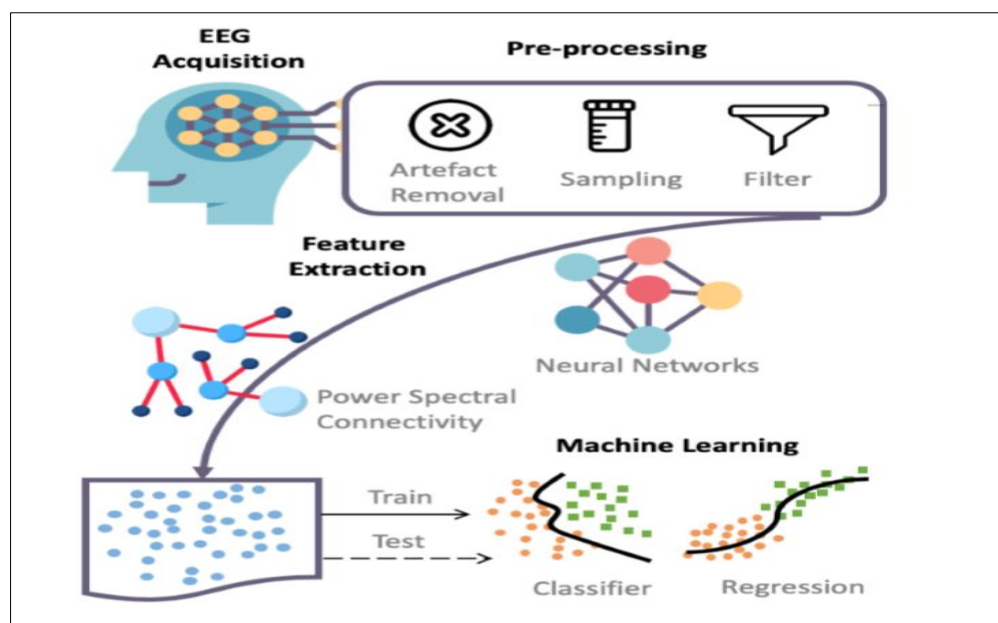
⁵⁹ KOSMYNA, N. a LÉCUYER A. A conceptual space for EEG-based brain-computer interfaces. *PLoS ONE* [online]. 2019, **14**(01), 1-30 [cit. 2020-01-2]. DOI: 10.1371/journal.pone.0210145. ISSN 19326203

⁶⁰ FLOHR, M., Ted' jen nepomyslet na nic špatného, *Chip.cz*, [online]. 2006 [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: <https://www.chip.cz/casopis-chip/earchiv/rubriky/magazin/ted-jen-nepomyslet-na-nic-spatneho/>

V aplikaci BCI založené na EEG byly využity a vyvinuty různé typy modelů pro strojové učení. V posledních deseti letech mezi nejvíce rozšířené modely strojového učení v BCI patří lineární klasifikátory, neuronové sítě, nelineární Bayesovské klasifikátory, nejbližší sousední klasifikátory a kombinace klasifikátorů.

K tomu, aby bylo možné aplikovat algoritmy strojového učení na EEG data, je potřeba předem zpracovat signály EEG a extrahovat funkce ze surových dat (raw data) jako funkce výkonu frekvenčního pásma a funkce připojení mezi dvěma kanály.

Na obrázku č. 3: *Předběžné zpracování dat, rozpoznávání vzorů a potrubí strojového učení* je prezentováno zpracování EEG dat, rozpoznání vzoru a strojové učení:



Obrázek 4: *Předběžné zpracování dat, rozpoznávání vzorů a potrubí strojového učení*⁶¹

9.3 Přenosové učení

Vzhledem k tomu, že EEG signály nejsou statické, vykazují relace BCI výrazné klasifikační problémy konzistence. Kvůli této skutečnosti, pro zapojení BCI do strojového učení, je nezbytné zapojení přenosového učení. Přenosové učení využívá znalostí získané

⁶¹ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

při řešení jednoho úkolu pro řešení jiného souvisejícího. Přenosové učení je tedy sada metodik určených pro zvýšení výkonu klasifikátora školeného na jeden úkol⁶².

Přenosovým učením je přístup v hlubokém učení (a strojovém učení), kde se znalosti přenášejí z jednoho modelu na druhý⁶³. Díky přenosovému učení je možné vyřešit konkrétní úkol pomocí úplně nebo částečně školeného modelu, který byl vytvořený pro řešení jiného modelu. Nedávný průzkum klasifikoval přenosové učení do čtyř kategorií: učení o hloubkovém přenosu založeno na instancích, založené na mapování, založené na sítích a kontradiktorní učení.

9.4 Hluboké učení

Hluboké učení je specifická skupina algoritmů strojového učení, ve kterých klasifikátor a funkce jsou určeny přímo z dat. Termín hlubokého učení se týká architektury modelu, který je založen na kaskádě trénovaných modulů extraktorů funkcí a nelinearit. Existující typy architektur jsou Konvulční přírodní síť (CNN - Convolutional Neural Networks), Generativní konradiktovní síť (GAN – Generative Adversarial Network), Rekurentní neuronová síť (RNN – Recurrent Neural Network) a Hluboká neuronová síť (DNN – Deep Neural Network). Pro aplikace BCI se hluboké učení více používá své srovnání se strojovým učením. Důvodem je to, že v současné době se většina výzkumu strojového učení soustředí na statická data, jež nejsou optimální pro přesnou kategorizaci rychle měnících se mozkových signálů.

Při výzkumu aplikace RNN na klasifikaci zvukových stimulů, bylo využito rezervoáru RNN ke klasifikaci tří anglických samohlásek a, u, i. Jejich výsledek ukázal míru přesnosti 83,2 % . Rámec navržený pro řešení klasifikace vizuálních objektů. Poté, co se RNN naučí mozkové činnosti, kategorizace objektů dosáhla míru přesnosti přibližně 83 %.

V posledních několika letech se výzkum RNN v BCI založených na EEG podstatně zvýšil s mnoha studii⁶⁴.

V kapitole Aplikace jsou uvedeny možnosti aplikace hlubokého učení v pro BCI technologie. Jelikož hluboké učení se zavedlo do BCI konceptu relativně nedávno, lze předpokládat, že posune BCI technologii na novou úroveň.

⁶⁴GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

10 APLIKACE

Technologie v každodenním životě zauímají stále důležitější místo – zejména počítačové systémy. Téměř v každé domácnosti můžeme nalézt počítače a smartphony. Lidí je používají denně a intenzita využití se jenom zvyšuje. Technologie, vyjma pomoci uživateli s činnostmi, které se běžně od něj očekávají, se také začínají měnit a dovedou monitorovat i přímo náš mozek.

Doposud bylo monitorování mozku z velké části používáno pro lékařské účely. Pokroky v technologii související s monitorováním mozkových vln umožňují teorii zařízení pro monitorování mozku v různých jiných oblastech. Proto lze očekávat, že Brain – Computer technologie budou mít obsáhlé využití v budoucnu.

Slibná budoucnost BCI povzbudila velkou komunitu, která se zabývá mozkovou aktivitou, ke stanovení různých směrů výzkumu BCI. Se zlepšením dostupnosti a zvýšením kvality EEG se dramaticky zvýšily výzkumy BCI založené na EEG pro klasifikaci a předpovídání kognitivních stavů, například sledování stavů operátorů pro úkoly a sledování jejich duševních stavů a produktivity. EEG signály obsahují podstatné informace týkající se zdravotního stavu lidského mozku, například EEG lze použít ke kategorizaci neregenerativních chorob.

BCI technologie využívají intuitivní a přirozené lidské mechanismy zpracování myšlení a mohou usnadnit interakci člověka s počítačem. Běžné zařízení, které spojuje člověka a počítač využívá manuálního rozhraní. BCI technologie by mohly být využité ve složitých komplexních provozních prostředích, ale i být běžným rozhraním v každodenním životě. BCI se může stát revolučním hlavním proudem v rozhraních mezi člověkem a počítačem⁶⁵.

⁶⁵ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

V oblasti komunikaci pomocí BCI technologií se obvykle odkazuje na ANO/NE komunikaci a je to první aplikace, ve které bylo BCI použito. Psaní na stroji je druhá nejstarší oblast užití BCI a zároveň jedna z nejméně používaných⁶⁶.

10.1 Využití BCI v lékařství

Trend zvyšování využití počítačů mění každodenní život díky využití různých aplikací. Rychlost transformace naší společnosti roste, v níž jedna desetina populace trpí motorickými nedostatky, 2,5 % populace je postižená komunikačními poruchami. Osoby se zdravotními potížemi jsou často prvními, kdo používá nové technologie jako kompenzace svých nedostatků a obnovení sociálních vazeb. Informační a komunikační technologie tak výrazně zlepšují integraci, nezávislost a bezpečnost osob se zdravotními potížemi v mnoha aspektech jejich každodenního života⁶⁷.

10.1.1.1 Motorické syndromy

K motorickým syndromům se zařadil periferní neuropatický syndrom, který vzniká při poškození periferních nervů při traumatu, intoxikaci či nemoci. Dalším je pyramidální syndrom, při kterém je možné pozorovat poruchy motorických příkazů, a to od parciálního deficitu po celkový deficit. Dalším je cerebelární syndrom, který je výsledkem buď poškození mozečku anebo jedné z mozkových cest. Lidé s cerebrálním syndromem „se chvějí“ při chůzi. Nejčastějším příznakem je mozková ataxie, která se projevuje tak, že zasažený má abnormální chůzi a má posturální problémy. Při pohybu je možné pozorovat například nedostatek koordinace v prostoru, nedostatek koordinace v čase a třes. Pokud dojde k poruše řeči, jedná se o mozkovou dysartrii. Poslední motorický syndrom je extrapyramidový syndrom – je výsledkem poškození extrapyramidového systému. Je spojen s hypertonií, v klidovém stavu s chvěním nebo s potížemi se zahajovacím pohybem. Je možné pozorovat například posturální poruchy a abnormality chůze, přešlapování, psychickou pomalost a jiné.

⁶⁶ KOSMYNA, N. a LÉCUYER A. A conceptual space for EEG-based brain-computer interfaces. *PLoS ONE* [online]. 2019, **14**(01), 1-30 [cit. 2020-01-2]. DOI: 10.1371/journal.pone.0210145. ISSN 19326203.

⁶⁷ CLERC, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE F., *Brain-computer interfaces, 2, Technology and applications* [online]. 2016 [cit. 2020-02-21]. ISBN 9781119347552.

10.1.1.2 Parkinsonova choroba

Choroba, kde se jedná o progresivní degrační onemocnění mozkové motorické funkce, je Parkinsonova choroba. Identifikuje se jako abnormální mozkové onemocnění, které se začalo diagnostikovat pomocí EEG signálů. Byl navržen přístroj založený na EEG s architekturou CNN. Jedná se o počítačově podporovaný diagnostický systém pro detekci Parkinsonové choroby. Vysoká výkonnost navrhovaného modelu umožňuje jeho klinické použití. Jedna z architektur hlubokého učení CNN s názvem Echo State Networks byla navržena za účelem klasifikace EEG signálů vybraných pacientů s poruchami chování, behaviorálními poruchami a zdravých kontrolních subjektů. Behaviorální poruchy jsou hlavním rizikovým prvkem, způsobujícím Parkinsonovou chorobou. Přesnost testované sady k rozeznání choroby je 85 %⁶⁸.

10.1.1.3 Alzheimerova choroby

Pořád není známá příčina Alzheimerové choroby. Jelikož způsobuje demenci ve vyšším a středním věku, vědci se domnívají, že inteligentní asistenční technologie mají potenciál k péči o demenci. BCI modely strojového učení a hlubokého učení se používají k výzkumu a detekci Alzheimerové choroby. Sledování dopadů nemocí je zde taktéž velmi důležité. Pro podporu klinického zkoumání by bylo možné používat screening EEG signálů u lidí, kteří jsou náchylní k Alzheimerově chorobě, aby se zjistil původ vývoje nemoci. Je navržen klasifikační model hlubokého učení s CNN architekturou, a jeho přesnost dosahuje v průměru 80 %. Při klasifikaci jsou použity 2 sady EEG se dvěma různými klasifikačními subjekty, jeden subjekt je předmětem mírného postižení Alzheimerovou chorobou a druhá kontrolní skupina je stejného věku bez postižení.

10.1.1.4 Schizofrenie

BCI modely na bázi EEG pro klasifikaci Alzheimerové choroby byly taktéž použity pro diagnostiku schizofrenie. Výsledky výzkumů naznačují, že nástroje by bylo možné použít při podpoře diagnózy schizofrenie. Byla navržena modifikovaná architektura

⁶⁸ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

hlubokého učení s vysokou přesností v kategorizaci pacientů s první fází schizofrenie a zdravých jedinců.

10.1.1.5 Autismus

Výcvik mozku pomocí BCI technologií zahrnuje velké množství využití. Vyvíjí se technologie, které by mohly umožnit normalizovat duševní stav lidem s autismem pomocí výcviku mozku.

10.1.1.6 Deprese

Strojové a hluboké učení neuronových sítí bylo úspěšně aplikováno na EEG signály pro screening různých neurologických poruch, například rozpoznávání a diagnostika. Nedávné výzkumy taky prokázaly účinnost těchto technologií pro detekce deprese. Systém založený na EEG s architekturou CNN a metodou přenosového učení ukazuje, že informace EEG signálu jsou kritické pro rozpoznávání deprese. Během výzkumu bylo prokázáno, že 8 elektrod na spánkových oblastech EEG zařízení by mohlo poskytnout vyšší přesnost při detekci velkých depresí ve srovnání s jinými oblastmi skalpu. Výsledky výzkumu by mohlo mít účinný dopad na budoucí systémy BCI založené na EEG pro screenování deprese. Experimenty se screeningem deprese založené na EEG na signálech depresivních a nedeprativních jedinců dosáhly přesnost 93, 5 %⁶⁹.

10.1.1.7 Syndrom uzamčení

U syndromu uzamčení – jedná se o výsledek poškození motorických drah u mozkového kmene. U tohoto syndromu ovlivněn samovolný pohyb končetin a obličeje, stejně jako polykání, fonace a okulomotorika. Senzorické a kognitivní funkce jsou zachované. Pacient je schopen vnímat své okolí a je dokonale při vědomí. Největší výzva při syndromu uzamčení je komunikace⁷⁰.

V posledních dvou desetiletích byl prováděn rozsáhlý výzkum pro lidi se syndromem uzamčení. BCI bylo nainstalováno doma k dlouhodobému využití za účelem zvýšení kvality

⁶⁹ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

⁷⁰ SEKHAVAT, Y. Battle of minds: a new interaction approach in BCI games through competitive reinforcement. *Multimedia Tools and Applications: An International Journal* [online]. 2019, 1-16 [cit. 2020-01-19]. DOI: 10.1007/s11042-019-07963-w. ISSN 13807501.

života. Udržování komunikace s lidmi se syndromem uzamčení významně přispělo ke zvýšení jejich pocitu plnohodnotnosti. Instalace BCI technologie se pro tyto lidi praktikuje od roku 2010 a bude pravděpodobně vnímaná jako nedílná součást sama sebe. Zabraňuje úplné ztrátě komunikace a následné sociální izolaci a umožňuje nezbytné podmínky pro subjektivní a intersubjektivní zkušenosti osob.

10.1.1.8 Amyotrofická laterální skleróza

Amyotrofická laterální skleróza je formou degenerativního, progresivního poškození, jak centrálních motorických neuronů, tak periferních motorických neuronů. Porucha postihuje končetiny, stejně jako degutaci a fonaci, což ztěžuje komunikaci pacienta⁷¹.

10.1.1.9 Epilepsie

Jednou z abnormálních poruch mozku, které lze léčit pomocí BCI, je epilepsie. Jedná se o nemoc, kdy pacient trpí opakujícími a nevyprovokovanými záchvaty. Signály EEG jsou ukazatelé, které je možné monitorovat a studovat za účelem mapování záchvatu elektrické aktivity mozku. Proto výzkumy BCI založené na EEG mohou predikovat epilepsii. V lékařské oblasti se EEG záznamy používají ke screeningu záchvatů pacientů s epilepsii s automatickým systémem detekce záchvatů. Momentálně je vyvinutý rámec, kde detekce epileptických záchvatů je přesná přibližně na 98 %. Předpokládá se, že implementace BCI a zpracování signálu EEG v reálném čase jsou vhodné pro standardní klinickou aplikaci a péče o pacienty s epilepsií.

10.1.1.10 Rehabilitace a terapie po mrtvici

Mezi další použití BCI v lékařském světě patří rehabilitace a terapie. Bylo provedeno několik studií o použití EEG na bázi BCI při rehabilitaci mrtvice, za účelem obnovení motorických schopností, které byly ztraceny v důsledku mrtvice⁷².

⁷¹ LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

⁷² LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

Cévní mozková příhoda se v populaci vyskytuje docela často. Neinvazivní BCI podporuje cílený přenos mozkových signálů pro podporu pohybu končetinami. BCI má velký potenciál v usnadnění rehabilitace poškození motorového aparátu člověka. S použitím pomocných pocitů zaměňuje kortikální působení související se sensorickými a motorickými. Při zkoumání účinnosti rehabilitace pro ty, co zažili mrtvici, je viditelné, že při kombinaci BCI technologie s fyzikálními terapiemi, se výsledky rehabilitace zlepšily. Taktéž bylo zjištěno, že použití BCI pro rehabilitaci mozkových poruch u pacientů po mozkové příhodě by jim mohly pomoci normalizovat funkčnost těla a zlepšit kvalitu života⁷³.

10.1.1.11 *Kontrola protézy a ovládaní invalidního vozíku*

V oblasti zdravotnictví pomáhají náhlavní soupravy sbírat důležité informace z mozku k vývoji různých softwarů. Rovněž jsou využitelné k tomu, aby lidem s těžkým zdravotním postižením umožnily účinně ovládat robotické přístroje. Jedná se i o nejjemnější pohyby jako pohyb rukou nebo blikání. BCI se používá při pomoci lidem, kteří ztratili svalovou kapacitu pro obnovení komunikace a kontroly zařízení⁷⁴.

Velmi důležité využití BCI je kontrola protézy pomocí mozkových signálů. Protéza je totiž zařízení, které nahrazuje chybějící část těla. Odhaduje se, že každý den jenom v USA kolem 500 lidí ztratí končetinu. Podle amerických výzkumníků se toto číslo do roku 2050 zvýší přibližně na 3,5 milionů. Při sledování mozku EEG a ECoG vědci vyvíjí protézu, která se bude pohybovat a fungovat pomocí myšlenek majitele a je naděje, že ji budou moci cítit jako chybějící končetinu. V roce 2014 byl zaveden systém kontroly protetiké páže pomocí ECoG signálu, sledování očí a počítačového vidění pro identifikaci objektu. Po tréninku byly osoby schopné na 100 % zvednout jednoduchý objekt a se 70% úspěšností zvednout jeden objekt mezi jinými objekty. Vědci mají různé cíle a úroveň úspěchu. V jedné studii bylo dosaženo 70% úspěšnosti při pohybu čtyřmi různými směry. Důležité je zjištění, že subjekt byl schopný ovládat protézu i o pár měsíců později. Z hlediska bezpečnosti je totiž velmi

⁷³ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21].
Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

⁷⁴ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21].
Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

důležité zabezpečit protézu a zajistit, aby entita se zlými úmysly nemohla převzít kontrolu protézy nebo jej používat k jiným úmyslům.

Pomocí EEG lze ovládat invalidní vozík. Stejně jako u některých typů protéz je invalidní vozík navržený tak, aby zvýšil mobilitu. Byly navrženy některé alternativy pro ovládání invalidního vozíku, včetně použití pohybu očí, hlasu nebo jazyka. U systémů založených na úrovni EEG signálu pacienta je potřeba se zabývat zlepšením výkonu, a to z hlediska přesnosti a doby reakce, celkového výkonu při jízdě a standardizovat hodnocení vozičkářů. Stejně jako v případě protéz, musí být zváženy také bezpečnostní otázky, které zabraňují škodlivým subjektům v ovlivňování nebo rušení používání invalidního vozíku⁷⁵.

10.1.1.12 Zvýšení kvality spánku

Kvalita spánku je zásadní pro lidské zdraví. Byly zkoumány stádia spánku, a probíhají také hodnocení stádií za účelem porozumění, diagnostiky a léčby poruch spánku. Vzhledem k lehkosti a přenositelnosti zařízení EEG, je EEG zvláště vhodný pro rozpoznání skóre spánku. CNN by aplikován na klasifikaci spánkové fáze velkým množstvím studií, a to pomocí jedнокanálového EEG. Při zpracování výsledků simulace byla uvedena přesnost 93 % pro klasifikaci 2 až 6 tříd spánkových stupňů⁷⁶.

10.1.1.13 Kontrola a zlepšení vlastní mozkové činnosti pomocí neurofeedbacku

Rehabilitovat a rekvalifikovat mozkovou aktivitu je možné pomocí školení neurofeedbacku založeného na technologiích EEG. Na základě jejich zjištění se začal zkoumat neurofeedback za účelem zlepšení kognitivní funkce u zdravých jedinců a jedinců s neurotickými poruchami například (Např. porucha pozornosti, ADHD, porucha učení, mrtvice, epilepsie, kognitivní dysfunkce, deprese, úzkost a další).

Neurofeedback požaduje od uživatele, aby trénoval svou mozkovou aktivitu udržováním vzorců mozkových vln blízko prahu definovaného školitelem. Mozková aktivita generuje minimální elektrické signály, které lze měřit a zaznamenávat pomocí

⁷⁵ LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

⁷⁶ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

elektroencefalografie EEG. Data jsou čtená a prezentovaná v reálném čase uživateli pomocí vizuálních nebo zvukových stimulů. Uživatelům může být zobrazený sloupcový graf, který stoupá nebo klesá v závislosti na tom, zda mozkové vlny dotyčných jsou nad nebo pod prahem. Uživatelé se musí naučit ovládat a regulovat svou mozkovou aktivitu tak, aby vlny byly udržovány v definovaném prahu. Trénink tohoto typu trvá 20 až 30 minut po tom, co byly elektrody umístěny. Výzkumy ukazují, že zlepšení související s kognitivní flexibilitou a kontrolou začátečníci začínají vnímat po prvních pěti až deseti školeních. Tato kognitivní zlepšení přetrvávají dlouhodobě i po skončení tréninku. Některé výzkumné projekty taktéž navrhuji upravit komerční videohry tak, aby se z nich staly videohry BCI za účelem školení feedbacku⁷⁷.

Podle Organizace spojených národů bude v roce 2050 v rozvinutých zemích jedna ze tří osob ve věku 60 a více let. Z toho důvodu je studium aplikací zaměřených na pomoc starším osobám prvořadě důležité. Starší lidé procházejí četnými změnami, které znamenají horší kognitivní výkon, než mladí dospělí. Například vizuálně prostorové vnímání, paměť nebo pozornost jsou u starších lidí ovlivněné věkem. Normální stárnutí znamená změny nervových funkcí a plasticity mozku, což je jedna z největších starostí starších lidí.

Studie od Gomez-Pilar a kol. představuje slibné výsledky týkající se neurofeedback užitečností na bázi BCI pro zvýšení čtyř neuro-psychologických funkcí, které by mohly pomoci se zvýšením plasticity mozku. Softwarová aplikace řízená pomocí BCI založená na motorických snímcích poskytuje interaktivní školení umožňující získávání kognitivních změn po pěti sezeních. Podle výsledku studie lze zlepšit čtyři kognitivní funkce u starších lidí: vizuálně-prostorovou, řeční, paměťovou a vizuální.

Plastika mozku může být obnovena do standardnějšího stavu jedincům, kteří mají poškození. Zejména normalizovat mozkové funkce, a to pomocí indukce mozkové aktivity. Ukázalo se, že školení neurofeedbackem je vhodným způsobem kontroly vlastní mozkové činnosti. Dalším důležitým poznatkem je to, že neurofeedback může vést nekontrolovaným

⁷⁷ MERCADO, J., M. TENTORI, I. ESPINOSA-CURIEL a L. ESCOBEDO. Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: the case of autism. *Multimedia Tools and Applications* [online]. 2019, **78**(10), 13675 - 13712 [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1007/s11042-018-6916-2. ISSN 15737721.

neurofeedbackem k neuroplastickým změnám a mikrostrukturálním změnám v bílé a šedé hmotě⁷⁸.

10.1.1.14 Vyšetřování migrény, bolesti

BCI technologie lze použít také v jiných oblastech zdravotnictví jako je vyšetřování migrény, bolesti a depresivních poruch. Byla navržena umělá neuronová síť k detekci migrénových subjektů. Předpokládá se, že tato síť bude moci být použita pro diagnostiku migrény. Přístupy ke zpracování signálů založených na BCI by mohly být použity v tréninku pro kontrolu fantomové bolesti končetin a pacientům pomohou reorganizovat senzomotorickou kůru pomocí kontroly ruky⁷⁹

Skupiny potenciálních uživatelů BCI technologii jsou relativně často malé a jen zřídka odůvodňují investice a zapojení kapitálu, který je velmi často klíčovým faktorem úspěchu každého produktu. Stát často zasahuje do BCI průmyslu z důvodu nedostatku zájmu soukromých investorů v poskytování finančních prostředků na biomedicínský výzkum. Financování je často přiděleno výzkumným týmům, které jsou často obeznámeny s vývojem produktu. Vědci se s pacienty často přímo nesečkali a většinou si neuvědomují existující alternativy k vyvíjenému zařízení. Zejména to platí pro výzkum BCI.

Cílem lékaře je najít rovnováhu mezi cenou a přínosem nákupu a následujícím užitím systému. Kolik je investic a jaký podíl by měl být pojištěn? Podobně v souvislosti s klinickým nebo nemocničním používáním musí lékař, který předepisuje léky, vzít v úvahu časovou investici a dovednosti potřebné k provozu systému. Na celém světě jsou nemocniční lidské zdroje pod tlakem finanční optimalizace. Požadavkem je také kromě minimálního času i minimální vyžadování zdravotnického personálu. Je nepraktické požadovat přítomnost inženýra, aby se zajistilo správné fungování softwarového řešení.

⁷⁸ GOMEZ-PILAR, Javier, Rebeca CORRALEJO, Luis F. NICOLAS-ALONSO, Daniel ÁLVAREZ a Roberto HORNERO. Neurofeedback training with a motor imagery-based BCI: neurocognitive improvements and EEG changes in the elderly. *Medical* [online]. 2016, **54**(11), 1655-1666 [cit. 2020-01-10]. DOI: 10.1007/s11517-016-1454-4. ISSN 01400118.

⁷⁹ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

Na technologiích BCI pracuje mnoho organizací a nespočet lidí. Byl vytvořen například výzkumný tým Brain Gate, který je tvořen předními specialisty na neurologii a neurovědy, počítačovými experty, programátory, inženýry, matematiky, neurochirurgy a dalšími experty podobných oborů. Cílem spolupráce tohoto týmu je posun v oblasti neurotechnologií, kde objektem zájmu jsou ochrnuté, či jinak postižené osoby, jež nemohou použít svoje tělo k interakci s vnějším prostředím.

10.2 Aplikace pro koncentraci

10.2.1.1 Koncentrace při řízení vozidla

Mentální únava označuje stav, který se projeví při provádění dlouhého a únavného úkolu. Zejména, pokud je k úkolu zapotřebí delšího soustředění. Například při řízení automobilů či řízení motorových vozidel, které je považováno za jedno z nejnebezpečnějších záležitostí pro zdraví jedince a veřejné zdraví. V tomto případě by mohly technologie pasivní BCI přispět ke snížení počtu nehod. Existuje velké množství jednoduchých zařízení, jako je například zaznamenávání pohybu očí, umožňující detekovat mikro spánek. EEG může pomoci zabránit nebezpečným chybám v chování ještě efektivněji a s větším předstihem. Na prototypové scéně jsou stále pasivní BCI studovány pomocí stimulatorů jízdy⁸⁰.

Únava, ve smyslu nedostatku ostražitosti, by mohla vést ke katastrofickým incidentům, zejména, pokud se jedná například o řízení vozidel. Výzkumy zaměřené na detekci únavy získávají hodně pozornosti v rámci komunity BCI. Zejména v posledních letech s pokrokem v učení v hlubokém učení CNN. Toto učení má stejný koncept jako učení u dítěte, které se snaží rozpoznávat předměty a umět je pojmenovat. Zpětnou vazbu dítěti poskytují rodiče. Cílem učení je optimalizace vnitřních parametrů, aby byla chyba predikce minimalizována. Pro BCI technologii jsou navrženy prostorově-časové konvoluční neuronové sítě (CNN) založené na EEG pro detekci únavy u řidičů. Tato struktura byla aplikována na osm lidských subjektů v rámci experimentu, kde byly shromažďovány

⁸⁰ CLERK, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE, F. (2016). *Brain-computer interfaces I: Methods and perspectives*. [online]. 2016. ISBN 9781848218260

vícekanálové signály EEG. Výsledky experimentu dosáhly míry přesnosti 97,37 % v klasifikaci únavy⁸¹.

Existují oblasti, v nichž jsou analytické kapacity operátora průběžně požadovány a kde kognitivní zátěž může rychle vyvinout značné napětí, pokud jsou podněty příliš zatěžující. Řídicí letového provozu sledují informace přicházející z několika různých zařízení současně a musí rychle reagovat v případě špatného nasměrování nebo dojde-li k nepředvídané situaci. Setkávají se s velkým množstvím komplexních informací. Aby se předešlo možnosti nebezpečného stavu, může pasivní BCI pomoci přizpůsobit informační rozhraní podle kognitivního zatížení řídicích jednotek vzduchu, a tím formovat obtížnost daného úkolu⁸².

BCI na bázi EEG poskytuje zpětnou vazbu o schopnosti pacienta se soustředit a provádět nějakou činnost, což podle pacientů také pomáhá soustředit se delší dobu.

10.2.1.2 Koncentrace při stresu

Další položkou, která může negativně ovlivnit lidskou bezpečnost a blahobyt, je stres. Stres je jednou z hlavních příčin nebezpečného lidského chování a lidských chyb, které by mohly způsobit různé nehody, například při práci ve výškách. Detekce a rozpoznávání stresu v BCI se staly důležitou oblastí výzkumu. Nedávné studie navrhly nový rámec BCI s modelem učení CNN. Byly shromážděny signály od 10 stavebních dělníků, u kterých byla měřena jejich hladina kortizolu, stresového hormonu. Výsledkem navrhované konfigurace byla maximální míra přesností 86,62 %. Tato studie prokázala, že v rámci BCI algoritmus CNN by mohl být konečný klasifikátor pro rozpoznávání hladiny stresu na základě EEG⁸³.

⁸¹ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21].

⁸² CLERK, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE, F. (2016). *Brain-computer interfaces 1: Methods and perspectives*. [online]. 2016. ISBN 9781848218260. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

⁸³ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

10.2.1.3 Zvýšení koncentrace pomocí her

Využití BCI ke zvýšení koncentrace má i jinou formu. V herním průmyslu BCI technologie utvrzují svoji pozici. Nové typy her se stávají alternativní vzdělávací metodou v různých oborech učení a rehabilitací. Při tréninku pozornosti prostřednictvím neuronové zpětné vazby, koncentrace uživatele je celá snímaná BCI rozhraním a je prezentovaná uživateli tak, aby dotyčný měl možnost sám řídit svůj stav pozornosti. Použití neurologické zpětné vazby se ukázalo být účinným, při pomoci léčení lidí s deficitem pozornosti. Začlenění těchto her do procesu školení pozornosti, ve kterém je vzdělávací úkol navržen jako terapeutická hra, vytváří motivující a poutavé prostředí. Tyto hry mohou být také vzdělávací, jsou zábavné a efektivní při dlouhodobém nasazení⁸⁴.

10.2.1.4 Koncentrace při studium

Selektivní časová a prostorová pozornost je schopnost detekovat a vybrat cílovou položku relevantní pro daný úkol (účel hloubkového zpracování) a ignorovat další položky, které se vyskytují zároveň nebo postupně. Úkol spočívá v detekci cílových položek, což je obvykle 10 – 20 % všech vyskytujících se, z řady destruktivních položek (80 - 90% vyskytujících se). Část studentů trpí více než ostatní, je pro ně obtížnější výběr a zpracování informací během delší doby, jedná se o studenty trpící poruchou pozornosti. Spojením, přidáním virtuální reality a zapojením pasivního BCI získává se systém, který studentovi umožní překonat obtíže ovládnutím přítomnosti distraktorů v jejich simulovaném prostředí a odměnit je, aby zůstali pozorni⁸⁵.

10.3 BCI v komunikaci

10.3.1.1 Kompenzace komunikace u osob s postižením

Využití BCI technologií pro alternativní komunikaci, by mělo kompenzovat poruchy u osob s postižením řeči, jazyka či psaní, kde se jedná zejména o poruchy vrozené, například

⁸⁴ SEKHAVAT, Y. Battle of minds: a new interaction approach in BCI games through competitive reinforcement. *Multimedia Tools and Applications: An International Journal* [online]. 2019, 1-16 [cit. 2020-01-19]. DOI: 10.1007/s11042-019-07963-w. ISSN 13807501.

⁸⁵ CLERK, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE, F. (2016). *Brain-computer interfaces 1: Methods and perspectives*. [online]. 2016. ISBN 9781848218260

sluchové postižení, mentální postižení nebo autismus, poruchy získané, například po mozkové cévní příhodě, úrazech mozku, nádorech mozku nebo degenerativní onemocnění – amyotrofická laterální choroba, Parkinsonova choroba či sklerózy multiplex.

Lidé, kteří trpí neurologickými nemocemi nemohou ovládat svaly na neurální bázi. BCI systémy nabízejí těmto lidem další alternativní cestu z jejich vlastních nervových drah. Alternativou je přímé použití mozkových signálů v počítači bez použití jakéhokoliv hlasitého svalu. Přístup je založený na vizuálním evokovaném potenciálu v ustáleném stavu (SSVEP). V současné době tento přístup poskytuje vysoký výkon a spolehlivou komunikaci pro implementaci neinvazivního BCI. V systémech BCI založených na SSEVP jsou nejdůležitějšími parametry, v porovnání s ostatními BCI, kratší doba detekce signálu elektroencefalografie a vyšší přesnost (ERKAN, E., 2018).

Nové technologie také pomáhají zvyšovat společenské propojení mezi lidmi, jsou to například nedávno vyvinuté uši Necomimi. Jedná se o velké plyšové kočičí ucho, které se má pohybovat takovým způsobem, který odráží emoční stav uživatelů. Interakce s ostatními lidmi se může stát mnohem upřímnější záležitostí. EEG zde může pomoci koordinovat například v situaci sociálního stresu.

10.3.1.2 Komunikace pomocí pravopisných⁸⁶zařízení

Široce zkoumanou klinickou oblastí je implementace pravopisných zařízení BCI, z níž jednou známou je aplikace na bázi P300. Na základě pravopisu založeného na P300 s využitím platformy BCI2000 i nezkušení uživatelé mohou používat tento pravopisný nástroj, který je ovládaný mozkiem⁸⁷.

10.3.1.3 Komunikace mezi člověkem a počítačem

Rozhraní bez osoby, která zařízení dává příkazy, bylo navrženo pro použití BCI jako implicitního komunikačního kanálu mezi člověkem a počítačem. Pasivní BCI se označuje

⁸⁷ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

za BCI, kde se uživatel nesnaží ovládat svou mozkovou aktivitu. Pasivní BCI systémy byly nasazeny v nedávném výzkumu adaptivní automatizace. Byl vyvinut první systém adaptivní automatizace, v systému byly sledovány úkoly rozdělené mezi člověkem a strojem na základě indexu zapojení, který byl vypočítán pomocí mozkové aktivity uživatelů⁸⁸.

10.4 Aplikace BCI pro vylepšení pracovního prostředí

Využití BCI systému předpokládá i zvýšení pracovní produktivity v pracovním prostředí. Taktéž ke zvýšení produktivity přispívá i detekce chybovosti, ke kterým BCI technologie mohou přispět.

10.4.1.1 Chytré kanceláře

Najít jednoduchý a inteligentní způsob detekovat nejlepší podmínky prostředí a poté je upravit, vyžaduje mnoho úsilí. Zejména proto, že tyto podmínky jsou pro každého člověka jiné. Nedávný výzkum byl provedený za účelem vývoje chytrých kanceláří využívající různé technologie jako smartphony, ústní příkazy, gesta ale i aktivní mozkové signály. Většina systémů vyžaduje přímou interakcí uživatele.

První inteligentní kancelář byla poprvé představena v roce 2006, systém byl nejprve ovládán pomocí hlasových příkazů a gest. V posledních letech bylo provedeno mnoho výzkumů provedených za účelem použití BCI technologií v kancelářích, za účelem zlepšení pracovních zkušeností a zvýšení produktivity. Systém byl navržen tak, aby zlepšil zapojení uživatele zamezením vnějšího rozptylování. K pasivnímu měření úrovně zapojení uživatelů pomocí zařízení ThinkGear od NeuroSky. Úroveň koncentrace uživatele byla použita k určení neprůhlednosti inteligentní skleněné dlaždice, která by se mohla proměnit z plně neprůhledné na úplně transparentní. Podle toho, jak se uživatel soustředil, systém zvýšil neprůhlednost okna jako signál pro ostatní, aby uživatele nerušili. K aktivnímu získávání mozkových signálů pracovníka a jejich použití k ovládní kancelářského prostředí byly použity náhlavní soupravy od EMOTIVE. Systém umožňuje uživatelům ovládat teplotu a jas pomocí svých myšlenek. Systém každopádně pasivně nekontroluje prostředí, je

⁸⁸ AL-HUDHUD, G. *et al.* Analyzing Passive BCI Signals to Control Adaptive Automation Devices. SENSORS, [s. l.], [online]. 2019, n. 14, [cit. 2020-01-26]. DOI 10.3390/s19143042. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000479160300010&lang=cs>

vyžadován jeho zásah. Použití BCI u inteligentních kanceláří je rostoucí oblast, která má stále prostor pro zlepšení⁸⁹.

10.4.1.2 Detekce chyb

Použití EEG k detekci interakčních chyb je krokem vpřed ve vytváření systému, který se dokáže sám opravit. Zejména se jedná o případy, kdy poskytnutá odpověď v systému je nedostatečná, například pomocí dotykových rozhraní. Odpověď může být o dost přesnější, pokud zpětnou vazbu poskytuje ne statický počítač, ale spíše robot. I v tomto případě by rozpoznávání chyb mohlo umožnit napravit nepřiměřené chování v průběhu několika sekund, ať už je v interakci s člověkem, nebo pokud je člověk v interakci se strojem⁹⁰.

10.5 Aplikace ve hře

Mozkové vlny lze také použít ke zlepšení své zkušenosti s filmem nebo hrou. Například sledování mozku se používá k získání nefiltrovaného, pravdivé zpětné vazby při testování nových produktů nebo ke zlepšení videohry pro maximální potěšení hráče.

Některá BCI zařízení jsou levná, snadno přenositelná a snadno se vybavují. Kompaktní a bezdrátové náhlavní soupravy BCI vyvinuté pro herní trh jsou flexibilní, mobilní a nevyžadují zapojení mnoho úsilí při použití. Jejich přesnost není tak vysoká jako u jiných zařízení BCI používaných například v lékařských oblastech, jsou ale stále praktická pro vývojáře her a úspěšná na trhu zábavy. Některé specifické modely jsou kombinovány se senzory pro detekci více signálů, jako například výrazy obličeje, které by mohly zlepšit použitelnost pro aplikaci v zábavě⁹¹.

⁸⁹ AL-HUDHUD, G. *et al.* Analyzing Passive BCI Signals to Control Adaptive Automation Devices. *SENSORS*, [s. l.], [online]. 2019, n. 14, [cit. 2020-01-26]. DOI 10.3390/s19143042. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000479160300010&lang=cs>

⁹⁰ CLERK, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE, F. (2016). *Brain-computer interfaces 1: Methods and perspectives*. [online]. 2016. ISBN 9781848218260

⁹¹ GU, X. *et al.* EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

Zatím co většina současných aplikací BCI se zaměřuje na lékařské použití, výzkumníci a vývojáři se zaměřují na to, aby výhody BCI byly použité v herním průmyslu. Zapojení BCI do systému umožní i jednotlivcům se zdravotními postiženími užívat hry ovládané jejich myslí. Neurální hry kombinují BCI a tradiční hry. Obvykle ke zlepšení herních zážitků, se používají EEG systémy, a to díky dostupnosti a nízké ceně některých EEG. Zařízení BCI lze použít buď jako vstupní zařízení, jako nahrazení joysticku, myši, klávesnice nebo jako způsob užívání živé zpětné vazby. Použití BCI jako vstupního zařízení vyžaduje, aby uživatel aktivně generoval signály mozku pro hraní hry. BCNI Horizon 2020⁹² uvádí, že herní společnosti v blízké budoucnosti posunou svoji pozornost na možnost využití BCI technologií v této oblasti.

Výhody hraní BCI oproti tradičním hrám přináší pro hráče řešení, které může negativně ovlivnit herní průmysl. Například roboti (software, který ovládá avatar ve hře místo hráče), mohou negativně ovlivnit herní zážitek ve hrách pro více hráčů. Tradiční způsob rozlišování mezi hráčem a robotem může být vylepšeno nebo nahrazeno těmi, co používají EEG. Použití BCI jako zpětné vazby může vylepšit hru zvýšením vzrušení a koncentrace uživatelů úpravou úrovně obtížností. BCI hry lze kategorizovat podle typu mozkové aktivity zaznamenané a použité ve hře. Hry založené na P300 mají různé typy a tvary. Zejména proto, že P300 souvisí s rozhodováním, zpracováním podnětu, dochází k němu při použití zvláštního paradigma, ERP se používá pro cílové udržování koncentrace ve hře. Hra může být navržena jako tréninkový nástroj pro zvýšení pozornosti (potenciálně pro uživatele s diagnostikovanou ADHD)⁹².

10.6 Aplikace v internetu věcí

Další oblast, ve které BCI najde svoje uplatnění, je internet věcí. Internetem věcí podle Slovníku informačních technologií je systém vzájemně propojených výpočetních zařízení, mechanických a digitálních strojů, předmětů, zvířat nebo lidí vybavených jedinečnými identifikátory a schopností přenosu dat do sítě bez nutnosti interakce člověka a člověka nebo člověka a počítače.

⁹² LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

Očekává se, že do roku 2020 bude více než 50 miliard zařízení připojeno k internetu. S šířením internetu věcí se očekává přímý dopad na řadu různých oblastí, jako třeba automatizace věcí v domácnosti, ve výrobě, průmyslu dopravě a zdravotnictví. Jednotlivci budou mít příležitost integrovat se a kontrolovat širokou škálu každodenních činností pomocí jejich smartphonů nebo jiných bezdrátových zařízení, hlasem nebo gestikulací.

V této oblasti BCI vystupuje jako nová alternativa pro podporu interakce mezi internetem věcí a jednotlivcem. Vytváří totiž přímou komunikační cestu mezi internetem věcí a jedincem. Nedávné výzkumy ukazují, jak BCI dokáže překládat myšlenky člověka do fyzických akcí, jako například je ovládaní myšlenkou invalidního vozíku a zařízení podporující internet věcí. Kognitivní interaktivita založená na BCI nabízí několik výhod. Jednou je inherentní soukromí vyplývající ze skutečnosti, že mozková aktivita je neviditelná, proto není možné jí pozorovat a replikovat. Další výhodou je interakce v reálném čase⁹³.

Vědci hledají odpověď na spoustu otázek. Stále není jasné, zda je podstatné zpracování informací založeno na jednotlivých buňkách či jejich skupinách. Pracují jednotlivé sousední buňky podobně, či se zabývají úplně odlišnými informacemi a jsou navzájem závislé?

10.7 Aplikace ve státní správě, obraně a identifikaci osobnosti

Ukázalo se, že mozkové vlny každého člověka mají jedinečné vzory, které mohou být individuální charakteristikou jedince, a lze je tedy použít za různým účelem v oblasti kybernetické bezpečnosti. Mezi takové výzvy patří například ověření uživatele (např. použití mozkových vln jako biometrie), kryptografie (např. mozkové vlny mohou být používány pro generování náhodných čísel široce používaných v kryptografických aplikacích) a detekce lži.

⁹³ ZHANG, X., YAO L., ZHANG S., KANHERE S., SHENG Q. a LIU Y.. Internet of Things Meets Brain-Computer Interface: A Unified Deep Learning Framework for Enabling Human-Thing Cognitive Interactivity [online]. 2018 [cit. 2020-01-11]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.1805.00789&lang=cs>

10.7.1.1 Biometrie

U ověřování uživatelů s použitím BCI se jedná o biometrii, pomáhající biometrickému rozpoznávání lidí. Biometrika je v současnosti použita v mnoha oborech spojených s bezpečností, ověřováním uživatelů a identifikaci. Jedná se o přístup odlišný od tradičních papírových pasů nebo průkazů totožnosti. Není to nic, co my vlastníme, ale něco, čím jsme. Biometrie je charakteristická a jedinečná pro každou osobu. V dnešní době má mnoho společností data set, obsahující určité biometrické údaje, které se používají ke sledování pracovní doby zaměstnanců a brání neoprávněným osobám ve vstupu do areálu společnosti. Pokud jde o přijatelnost, je obtížné s jistotou určit, jak budou autentizační systémy založené na mozkových vlnách akceptovány ve chvíli, kdy budou k dispozici⁹⁴.

10.7.1.2 Kryptografie

Kryptografie je studie matematických systémů pro řešení bezpečnostních problémů, které se týkají soukromí a autentizace. V počítačové vědě a bezpečnosti je obvykle spojena s procesem výroby prostého textu (běžná zpracovatelná data) na šifrovaný text (šifrovaná nečitelná data) a naopak. Byla navržena metoda generování klíčů, která využívá skenování EEG pro ověřování a šifrování uživatelů. Při experimentování dešifrování pomocí EEG skenerů při dešifrování byla 82,05 – 100 %, při kterém každý záznam EEG byl jen sekundový.

Došlo ve velkém pokroku ve vývoji spolehlivých elektroencefalografických pro detekce lži nebo disimulaci. Neinvazivní technologie BCI pro detekci lži jsou lépe přenositelné a snadněji využitelné v porovnání s tradičními detektory lži⁹⁵.

10.7.1.3 Detekce lži

Detektory lži jsou dalším příkladem využití BCI založené na ERP. Dnes nejznámější detektor lži je polygraf – zařízení, které zaznamenává hladiny krevního oběhu, srdeční frekvence a potu v době, kdy osoba odpovídá na řadu otázek, aby bylo zjištěno, jestli lže.

⁹⁵ MUNYON, Charles N. Neuroethics of Non-primary Brain Computer Interface: Focus on Potential Military Applications. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2018 [cit. 2020-01-30]. DOI: 10.3389/fnins.2018.00696. ISSN 1662453X.

Při detekci lži polygrafem, je potřebný odborník, aby interpretoval výsledky. Výsledky polygrafického testu obvykle neposkytují úplný obraz o klamaní. BCI detektor lži, bude vycházet z toho, že průměrný člověk nemůže při lhaní ovládat fyziologickou reakci svého těla. Pokud člověk lže, bude pravděpodobně cítit vinu, stres nebo jiné emoce, které budou viditelné při skenování ERP. Součástí ERP, důležitou pro detektor lži bude P300. EEG nahrávky byly pořízeny v době, kdy člověk prohlížel tři typy podnětu: sonda (známá pouze pro vinu), cíl (známá všem), a irelevantní (neznámá pro všechny). Nejpresnější metoda detekce lži na základě BCI, zkoumána v tomto výzkumu, dosáhla přesnosti 92,4 %⁹⁶.

Etická analýza tradičních detektorů lži může být široce aplikovaná i na neinvazivní BCI. Ve Spojených státech Amerických při zkoumání tematiky do úvahy se, spíše než z etického hlediska, se uvažovalo přípustnost EEG u soudu. V současné době neexistuje mezinárodní konsensus o soukromí jednotlivce při použití EEG technologií. Tato skutečnost znamená, že v nejbližší budoucnosti výsledky jednotlivce pomocí BCI technologií nebude považována za legální⁹⁷.

10.8 Aplikace BCI ve vojenství

Aplikace BCI technologie má své důležité místo ve vojenském sektoru. Jak ve všech ostatních oblastech použití, tak i v armádě BCI technologie jsou nejvíce používány v lékařství. Zejména, pokud se jedná o invazivní přístroje BCI. Vývoj restorativních BCI technologií bude z nejvyšší pravděpodobnosti zaměřený na zlepšení posttraumatické paměti a na poruchy nálady. Stejně jako v civilu, při použití technologie je potřeba zvažovat dobrovolnost použití technologie a podstoupené riziko⁹⁸.

⁹⁶ LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

⁹⁷ MUNYON, Charles N. Neuroethics of Non-primary Brain Computer Interface: Focus on Potential Military Applications. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2018 [cit. 2020-01-30]. DOI: 10.3389/fnins.2018.00696. ISSN 1662453X.

⁹⁸ MUNYON, Charles N. Neuroethics of Non-primary Brain Computer Interface: Focus on Potential Military Applications. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2018 [cit. 2020-01-30]. DOI: 10.3389/fnins.2018.00696. ISSN 1662453X.

Augmentativní, jinak řečeno kompenzující poruchy komunikace technologie, by mohly posilovat nativní funkce, potlačení stavů, které narušují optimální výkon, nebo usnadňují komunikaci mezi účastníky vojenské operace nebo komunikaci s jinou než lidskou infrastrukturou. Zvyšování letality a schopnosti přežít a udržování bojové pohotovosti jsou základními požadavky při výcviku válečných sil. Při tom pojetí autonomie a soukromí vojáků mohou být jiné ve srovnání s civilisty. Jakýkoliv zásah, který by mohl představovat větší než minimální riziko, bude vyžadovat intenzivní etické vyšetření a riziko pro subjekt využívající BCI technologii, není dostatečné zvažovat jenom jako při aplikaci invazních technologií nebo chirurgického rizika. V těchto případech je potřeba brát do úvahy také možnost modifikace limbického systému, ale i jiných funkcí při aplikaci technologií napojených přímo na mozek.

Dobrovolnictví ve vojenském prostředí je komplikovanější vzhledem k přítomnosti zde hierarchické struktury a také vnitřnímu tlaku, při kterém jsou vojáci ochotni přijmout jakoukoliv technologii, jelikož na něj může záležet přežití ne jenom jejich, ale i spoluúčastníků. Při použití BCI technologii může dojít také ke zkreslení emoční a psychologické reakce, při bojích, zejména pokud se jedná o úmyslný útok či neúmyslný, za účelem zastrasování. Je obtížné předvídat důsledky těchto změn na duševní zdraví dotčených a je potřeba je sledovat aktivně, a to i z pohledu dlouhodobé perspektivy. Je potřeba též zvažovat, jak snadno technologie může být použita jako rušivý element protivníkem, v případě, že před aplikací se dostane do rukou útočníků⁹⁹.

10.9 Aplikace v seberealizaci

Kromě využití BCI ve zdravotnictví a informačně zábavní oblasti, aplikace BCI souvisí se seberealizací. Týká se zejména plné realizace vlastního potenciálu. Podle Abrahama Maslova seberealizace představuje růst jednotlivce směrem k naplnění nejvyšších úrovní potřeb, těch, které se vztahují k významu. Podle Carla Rogersa seberealizace je pohonem pro lidi. Zde se chápe jako schopnost vyjádřit a aktivovat všechny schopnosti lidského organismu. Mohlo by zahrnovat vyjádření vlastní kreativity, hledání duchovního

⁹⁹ MUNYON, Charles N. Neuroethics of Non-primary Brain Computer Interface: Focus on Potential Military Applications. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2018 [cit. 2020-01-30]. DOI: 10.3389/fnins.2018.00696. ISSN 1662453X.

osvícení, hledání znalostí a touha je předat společnosti: cokoli, co individuum určí jako smysluplné. Aktualizace není pouze zážitková, ale také generativní: aktivně se rozvíjí a přináší se do konkrétní expresivní reality. Existují fascinující možnosti, jak mohou BCI pomoci s intelektuální, kreativní a uměleckou realizací. BCI má možnost realizovat více našeho lidského potenciálu, což by mohla být další motivace k přijetí této technologie¹⁰⁰.

Postupem času bude vývoj BCI pravděpodobně směřovat k organickým uživatelským rozhraním. Napojení BCI do života uživatele organickým způsobem zvýší důvěru a nezávanost na přístroje a ty se stanou součástí našich životů. Nakonec to může dokonce vést k vývoji nového systému, dalšího parametru naší paměti a vnitřních procesů, které by existovaly mimo naše tělo. Výsledkem by mohl být obrovský nárůst našich kvalitativních osobních znalostí a inteligence, které bychom mohli přenést na jakýkoliv úkol nebo problém.¹⁰¹

10.10 Virtuální realita a BCI

Virtuální realita (VR) otevírá nový prostor pro výzkum pro rozhraní mezi člověkem a počítačem. BCI lze uvažovat i jako nové vstupní zařízení pro aplikace VR, které doplňují ostatní způsoby, jako je řeč a gestikulace schopné poskytovat další informace. Aktivní BCI výrazně umožňují uživateli vydávat příkazy do zařízení nebo zadávat text bez fyzického zapojení jakéhokoli druhu; pasivní BCI monitoruje stav uživatele (např. úroveň pracovní zátěže, stav pozornosti) a lze je aktivně zapojit do rozhraní VR/AR. Uvažuje se o různých způsobech aplikací, nabízené scénáře se nachází v široké škále od zábavy po rehabilitaci¹⁰².

¹⁰⁰ SWAN, M. The Future of Brain-Computer Interfaces: Blockchaining Your Way into a Cloudmind. *Journal of Evolution & Technology*, [online]. 2016 [cit. 2019-12-18]. Dostupné na: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.techlib.cz/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=120541880&lang=cs&site=ehost-live>.

¹⁰¹ YONCK, Richard. The age of the interface: from processing codes punched out on cards to interpreting our brain waves, our computers are progressively learning how to read our minds. Future interfaces will help man and machine understand each other better. *The Futurist* [online]. 2010, 44(3), 14-19 [cit. 2020-02-18]. ISSN 00163317.

¹⁰² HUGGINS, J. E. *et al.* Workshops of the seventh international brain-computer interface meeting: not getting lost in translation. *Brain-Computer Interfaces*, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 71–101, 2019. [cit. 2019-12-22]. DOI 10.1080/2326263X.2019.1697163. Dostupné na: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.techlib.cz/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=140469116&lang=cs&site=ehost-live>

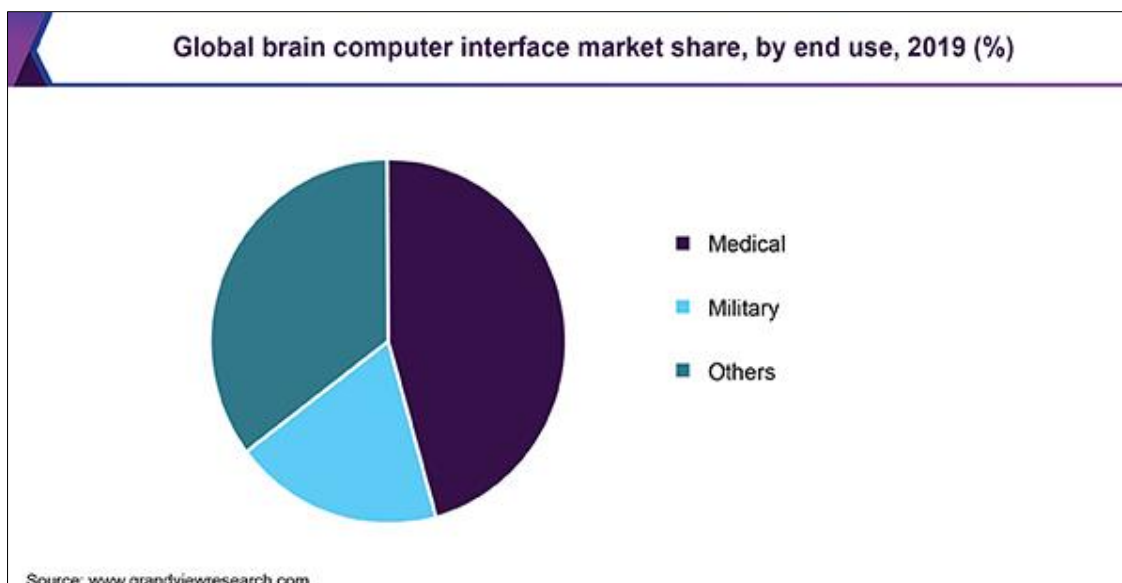
Pohlující virtuální realita může být bezpečnou náhradou za BCI technologie použité ve skutečnosti a může sloužit jako přechodná fáze z laboratorního do skutečného nasazení. Taktéž VR může poskytnout subjektu zpětnou vazbu, která je nejvíce podobná podnětům poskytnutým v reálném světě, což by zlepšilo přizpůsobení BCI. Navíc podle účastníků VR je velmi příjemná, na rozdíl od BCI, kde je možné realizovat jenom na základě rozsáhlého školení¹⁰³.

Pomocí BC Surfování na webu by mohlo nabýt nové podoby. Několik výzkumných skupin navrhlo další posun od psaní k ovládání celého webového prohlížeče, příkladem je „Prohlížeč mozku“ založený na principu motorických obrazů, který umožňuje výběr příkazů jako „další“ a „předchozí“. V další kategorii manipulace se odkazuje na aplikace, které se používají k přímé manipulaci (změna rychlosti, odeslání příkazu k odbočení doleva) virtuálních a fyzických objektů, např. pohyb vpřed na vozíku, výběr položky ve videohře atd¹⁰⁴.

Na grafu na obrázku 5 nejsou dostupná čísla, jelikož se jedná o privátní agenturu a výstupy jsou sice zveřejněné, ale v omezené formě. Z grafu lze vyčíst, že nejvíce BCI technologie jsou použité v lékařství a vojenství.

¹⁰³ FRIEDMAN, D. Human-Computer Interface Issues in Controlling Virtual Reality With Brain-Computer Interface. *Human-Computer Interaction*, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 67–94, 2010. [cit. 2020-02-10]. DOI 10.1080/07370020903586688. Dostupné na: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.techlib.cz/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=49152691&lang=cs&site=ehost-live>

¹⁰⁴ KOSMYNA, N. a LÉCUYER A. A conceptual space for EEG-based brain-computer interfaces. *PLoS ONE* [online]. 2019, 14(01), 1-30 [cit. 2020-01-2]. DOI: 10.1371/journal.pone.0210145. ISSN 19326203.



Obrázek 5: Celosvětový BCI trh, podle užití, 2019¹⁰⁵

¹⁰⁵ www.grandviewresearch.com

11 CO MŮŽE ZABRZDIT ROZVOJ BCI

BCI technologie jsou velmi inovativní a vkládají se do nich velké naděje. V rámci aplikace existuje velké množství potenciálních uživatelů. Jedna z nejvíce pokrokových vizí je to, že v budoucnu technologie budou přímo napojeny na mozek a nebude potřeba zadávat příkazy ručně. Už teď ale existuje řada faktorů a názorů, které jsou k BCI technologiím skeptické, dokonce přímo tyto technologie určují spíše jako škodlivé než přínosné.

11.1.1.1 BCI negramotnost

V konceptu BCI se uvádí pojem, který umožňuje lépe rozumět celkové problematice BCI, je „BCI negramotnosti“ („BCI illiteracy“). BCI negramotným lze charakterizovat jedince, který nedosahuje určité úrovně výkonu. Zároveň rychlost jeho odborné přípravy je nedostatečná. Podle různých BCI výzkumů jedná se o 10 % až 15 % BCI uživatelů. BCI negramotnost není určitou vlastností jedince, může se jednat o změnu v úrovni vnímání, únavě, frustraci nebo v sociálních faktorech jako je emoční stav, interakce v průběhu přípravy nebo užití BCI¹⁰⁶.

Autorka pojmu BCI negramotnost tvrdí, že BCI systémy, které nesplňují minimální úroveň použitelnosti pro své potenciální uživatele, budou odmítnuty v použití BCI technologie, jelikož zde jim hrozí selhání.

11.1.1.2 Ohrožení soukromí

Stálý nárůst popularity hraní BCI her je doprovázen rostoucí potřebou bezpečnosti v této oblasti. Skutečností je, že vstupem do hry s EEG skenováním uživatele, je potenciální hrozbou pro jeho soukromí. V roce 2012 bylo demonstrováno, k jakým narušením v této oblasti může dojít. V experimentu byla použita komponenta ERP související se se známým objektem a škodlivá entita s přístupem ke vstupu EEG. Škodlivá entita byla schopna extrahovat citlivé informace týkající se uživatelů. Přístup k EEG skenerům lze získat prostřednictvím postranního kanálu nebo samotné hry (hra může být navržena tak, aby ukradla informace uživatele).

¹⁰⁶ THOMPSON, M., Critiquing the Concept of BCI Illiteracy. *Science and Engineering Ethics* [online]. 2019, 25(4), 1217-1233 [cit. 2019-11-30]. DOI: 10.1007/s11948-018-0061-1. ISSN 13533452.

Velké společnosti a nemocnice udržují velké soubory s daty EEG skenerů, které mohou souviset se zdravotními a osobními informacemi obsazenými v různých databázích. Potenciální útočník může získat skenování EEG ze hry a z dat z nemocnice a porovnat skenování (identifikace pomocí skenování EEG je možná). V tomto případě útočník může získat podrobnosti o uživatelích a narušit osobní soukromí uživatelů. Tento scénář může vést například k diskriminaci konkrétních uživatelů nebo skupin uživatelů, což může mít vážný dopad¹⁰⁷.

11.1.1.3 Etické faktory

Nezanedbatelné jsou etické obavy týkající se vizuálních BCI, které by mohly odhalit soukromé myšlenky.

Existuje předpoklad, že v budoucnu bude k dispozici neinvazivní zařízení – skener schopný přečíst pomíjivé obrazy, které se jsou uschované v paměti. Předpokládejme také, že policie by zadržela podezřelého teroristu a při hledání tikající bomby by docházel čas. Většina lidí, pokud by se jich zeptali, kde schovali bombu, o které si uchovávali vizuální paměť, by bylo nemohlo potlačit vzpomínku na její obraz a vizuální podrobnosti o její poloze. Zařízení na skenování mozku, pokud je dostatečně citlivé a přesné, by snad dalo policii dostatek informací k tomu, aby je včas dovedly k bombě. Stejně zařízení by při procházení obrázků, které se zjevovaly v jeho myslích, by mohlo objevit neočekávané, dokonce citlivé informace o jeho osobním životě¹⁰⁸.

11.1.1.4 Rušivé aplikace

Ve vojenské sféře, například v Americe, se tolerují vyšší výdaje pro ty, kteří byli zraněni při výkonu vojenských příkazů. Před vývojem technologie by se mělo zvažovat, jaké je riziko, že technologie by mohla být snadno použitelná pro rušivé aplikace za účelem

¹⁰⁷ LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

¹⁰⁸ CHESHIRE, W. Lifting the Impenetrable Veil: Ethical Implications of Neural Vision Decoding. *Ethics* [online]. 2019, **35**(3), 135-142 [cit. 2020-01-02]. ISSN 0266688X.

zneužití. Pokud je předpokládáný přínos vyšší, než riziko zneužití, mělo by se pokračovat na vývoji¹⁰⁹.

Potenciál pro přijetí rušivých technologií ze strany autoritativních států nebo nestátních aktérů by měl být zvažován při přijetí v širokém měřítku BCI technologií, zároveň by se mělo zvažovat možné a potřebné protopatření. Z geostrategického hlediska stojí za zmínku, že je odvedená velká část práce na vývoji BCI technologií například pro detekci lži ve státech, ve kterých vládne autoritativní režim. Vzhledem k rozdílnému chápání osobní svobody a autonomie mezi kulturami, je na místě znepokojování ohledně dalšího vývoje BCI technologií, jelikož by tyto státy nebo režimy je mohly zneužít¹¹⁰.

11.1.1.5 Dobrovolnictví aplikace

Neinvazivní trans kraniální simulace se mohou bez souhlasu objektu provádět jenom pro případ terapie neléčitelné agrese, případně podobných poruch. Je však nepřipustné použití technologií napojených přímo na mozek za účelem pacifikace, výsledku nebo mučení, například se může jednat o simulaci somaticko-senzorických oblastí mozku k záměrnému vyvolávání bolesti, při kterých nedochází k fyzickým traumatům nebo simulace neokortikálních struktur k vyvolávání úzkostí. Zejména, pokud se jedná o detektor lži, při kterém jsou použity škodlivé trans kraniálními podněty v uzavřené smyčce, čímž se utváří agresivní nástroj pro výslech bez způsobení fyzického traumatu¹¹¹.

11.1.1.6 Špionáž

V průběhu výzkumu BCI jeden výzkumný pracovník zmínil možnost použití mobilního BCI robota jako „koncového uživatele jako nástroje pro průzkum ostatních lidí v prostředí bez jejich souhlasu. Druh špionáže.“ Byla položena otázka, zda je vůbec morální používat BCI za jiných než lékařských okolností (ve videohrách či komerčních aplikacích).

¹⁰⁹ MUNYON, Charles N. Neuroethics of Non-primary Brain Computer Interface: Focus on Potential Military Applications. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2018 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.3389/fnins.2018.00696. ISSN 1662453X.

¹¹⁰ MUNYON, Charles N. Neuroethics of Non-primary Brain Computer Interface: Focus on Potential Military Applications. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2018 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.3389/fnins.2018.00696. ISSN 1662453X.

¹¹¹ MUNYON, Charles N. Neuroethics of Non-primary Brain Computer Interface: Focus on Potential Military Applications. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 2018 [cit. 2020-03-31]. DOI: 10.3389/fnins.2018.00696. ISSN 1662453X.

Zazněl i názor o „čtení myslí“, které by mohly jít spolu s technologií? V případě, že zaměstnavatel sleduje svého zaměstnance, v profesích kritických na pozornost, zda prodloužený nepozorný stav vést k propouštění zaměstnanců. Odborníci také uvádějí obavy týkající se zdravotních rizik a bezpečností invazivních BCI. Řeší se taky nechtěné účasti na rozhodnutích na konci života a rozumné zacházení s pacienty s poruchami vědomí¹¹².

11.1.1.7 Sociální dopad vývoje neurověd

Věda, která jako odezva na pokrok v neuro-technologiích, neuroetika, vznikla v posledních dvou desetiletích jako interdisciplinární věda v oblasti bioetiky. Pokroky v neuroimagingu, neurofarmakologii, neuroenergetice, nervové transplantaci, nervovému inženýrství jsou výzvou pro nevědecké oblasti vyvolané rozšířením neurotechnologií. Filozofové, právníci, kliničtí lékaři, sociální vědci, neurologové a další dotčení musí vést dialog o etických, právních a sociálních dopadech vývoje neurověd.¹¹³

11.1.1.8 Nákladovost na použití

Pokud je řeč o jednotlivých technologiích, může se například jednat o Neurofeedback založený na EEG technologiích. Navzdory výhodám, které jsou uvedené v části aplikace, v reálném životě neurofeedback není tak snadno proveditelný. Potenciální uživatelé technologií se budou potýkat s řadou komplikací. Za prvé, školení neurofeedbacku je velmi drahé a zahrnuje velmi nákladné a složité systémy využívající rozhraní BCI – v tomto případě komunikační systém, který monitoruje mozkovou aktivitu a převádí určité vlastnosti na příkazy ovládající zařízení nebo vizuální rozhraní. Za druhé, vyžaduje nepřetržitou podporu odborníka s klinickými a technickými znalostmi. Za třetí, uživatele často považují vizualizaci mozkových vln za příliš abstraktní a matoucí¹¹⁴.

¹¹² GRÜBLER, G., AL-KHODAIRY A., LEEB R., PISOTTA I., RICCIO A., ROHM M. a HILDT E. Psychosocial and Ethical Aspects in Non-Invasive EEG-Based BCI Research 14A Survey Among BCI Users and BCI Professionals. *Neuroethics* [online]. 2014, 7(1), 29-41 [cit. 2019-10-22]. DOI: 10.1007/s12152-013-9179-7. ISSN 18745490.

¹¹³ MERCADO, J., M. TENTORI, I. ESPINOSA-CURIEL a L. ESCOBEDO. Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: the case of autism. *Multimedia Tools and Applications* [online]. 2019, [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1007/s11042-018-6916-2. ISSN 15737721.

¹¹⁴ MERCADO, J., M. TENTORI, I. ESPINOSA-CURIEL a L. ESCOBEDO. Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: the case of autism. *Multimedia Tools and Applications* [online]. 2019, [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1007/s11042-018-6916-2. ISSN 15737721.

11.1.1.9 Nepraktičnost použitelnosti

Byly provedeny výzkumné rozhovory 19 jedinců uživatelů BCI. Jednalo se o polostrukturovaný rozhovor, u kterého se výzkumní pracovníci účastnili mezinárodního výzkumného projektu BCI o neinvazivních BCI založených na EEG pro rehabilitaci mrtvice a asistenční technologie. Na otázku, zda účastníci pocítili nějaké specifické problémy, mnoho účastníků uvedlo, že nepředpokládají žádné konkrétní problémy při každodenním požití technologií. Značná část účastníků však posoudila, že jsou technologie nějakým způsobem v každodenním životě spíše nepraktické. Účastníci zmínili problémy s čepicí, kterou považují za velmi nepohodlnou, dlouhotrvající přípravu a technické problémy, potřebu mytí vlasů po tréninku. K dispozici jsou také spotřebitelské náhlavní soupravy EEG se suchými snímači nebo snadno aplikovatelné mokré elektrody, které nevyžadují aplikaci vodivého gelu jako EPOC od Emotivu. Kvalita signálu takového EEG hardwaru není srovnatelná s profesionálními zařízeními a jejich použití není doporučeno pro závažné aplikace. Byly provedeny studie na využití gelových EEG elektrod, kde subjektivní hodnocení mělo přesnost 96 %, což odpovídá 144 bitu/min a v průměru 28,4 správných písmen za minutu. U hodnocení výkonu pomocí stejného počtu a pozic elektrod a stejné metodě klasifikace výkon suchých elektrod klesl na 84 %, což odpovídá datové rychlosti na 112 bit/min nebo 20,7 správných písmen za minutu. Při porovnání těchto výsledků je zřejmé, že výkon se suchými elektrodami je výrazně nižší¹¹⁵.

V průběhu rozhovoru také jeden z účastníků kriticky poukázal na nevýhodu, že během používání BCI musí celou dobu zůstat znehybněný. Další nevýhodou je, že individuální výkon v průběhu času se může lišit a že kvůli tomuto může být dočasně neschopen navigovat BCI. Je riziko stát se na BCI technologiích závislým¹¹⁶.

¹¹⁵ SPULER, M. A high-speed brain-computer interface (BCI) using dry EEG electrodes. *PLoS ONE* [online]. 2017, 12(2) [cit. 2020-03-1]. DOI: 10.1371/journal.pone.0172400. ISSN 19326203

¹¹⁶ GRUBLER, G., AL-KHODAIRY, LEEB R., PISOTTA I., RICCIO A., ROHM M. a HILDT E. Psychosocial and Ethical Aspects in Non-Invasive EEG-Based BCI Research--A Survey Among BCI Users and BCI Professionals. *Neuroethics* [online]. 2014, 7(1), 29-41 [cit. 2020-01-5]. DOI: 10.1007/s12152-013-9179-7. ISSN 18745490.

11.1.1.10 Záměrné útoky

U modelu hlubokého učení, bez ohledu na to, jak jsou výkonné, je vysoká citlivost na útoky protivníka. Tímto je myšleno záměrné navržení malé poruchy, které mohou být těžko identifikovatelné pouhým pohledem nebo pomocí počítačových programů. Poruchy jsou navrženy, aby například zmátly model hlubokého učení a způsobily zhoršení. Může se jednat o zhoršení i velmi dramatické, ve výkonu BCI. Tento jev byl poprvé objeven v roce 2014 v počítačovém vidění a již od té doby je mu věnována velká pozornost. Kontradiktorní útoky na BCI založené na EEG mohou způsobit velké škody. Například BCI na bázi EEG lze použít k ovládnutí invalidního vozíku nebo exoskeletu (exoskelet - zařízení určené k podpoře člověka při chůzi nebo práci) pro osoby se zdravotními potížemi, při kterých by útočník mohl způsobit poruchy. V nejhorším scénáři mohou kontradiktorní útoky zranit uživatele tím, že jej úmyslně uvedou do nebezpečí. V klinických aplikacích BCI při hodnocení vědomí by mohl kontradiktorní útok vést k nesprávným diagnózám.

Je uvažováno o třech různých scénářích útoku. V prvním má útočník přístup ke všem informacím o cílovém modelu, včetně jeho architektury a parametrů. Druhý případ jsou útoky, kdy útočník sleduje reakce cílového modelu na vstupy, nebo třetí případ, kdy útočník zná některé, ale ne všechny informace o cílovém modelu¹¹⁷.

Je potřeba věnovat větší pozornost bezpečnosti EEG metodě. Hrozbou v tomto kontextu může být útočník, který se pokouší zasáhnout do procesu lékařského vyšetření. Může nahradit skutečný vstup pomocí vstupu obsahující identifikace nemoci, může to vést k falešně pozitivním testům a zbytečné léčbě u pacientů se zhoubným onemocněním. Nahrazení diagnózy může chybně identifikovat, že pacient je zdravý¹¹⁸.

¹¹⁷ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

¹¹⁸ LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. *ACM Computing Surveys* [online]. 2020, **53**(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.

Dalším velkým problémem, kterému čelí BCI jako celek, je nedostatek standardizace platformy a interoperability.¹¹⁹

¹¹⁹ KROEKER, K. L. Improving Brain-Computer Interfaces. *Communications of the ACM* [online]. 2011, 54(10), 11-14 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/2001269.2001275. ISSN 00010782.

12 EKONOMICKÁ SITUACE

Výzkumná organizace Brain-Gate pracuje na vývoji a testování zařízení spojující mozek a počítač pro obnovení komunikace, mobility a celkové nezávislosti lidí s poraněním míchy, mozkovou mrtvicí nebo Amyotrofickou laterální sklerózou.

V roce 2013 tehdejší prezident Barak Obama oznámil financování výzkumu mozku 100 milionů amerických dolarů, které má pomoci neurovědčům pochopit původ poznání, vnímání a další mozkové aktivity. Předpokládalo se, že by výzkum mohl vést k novým a účinnějším léčbám stavů, jako jsou autismus a poruchy nálady a také lidí trpících poraněními mozku. Byl vytvořen program Neural Engineering System Design. Dále se zapojili miliardáři-podnikatelé jako je Elon Musk, podporující společnost Neuralink, BCI společnost, vytvářející zařízení, které mohou být zasažena do lidského mozku pro zlepšení paměti a rozhraní mezi počítačovými systémy. Johnson, zakladatel společností online plateb investoval 100 milionů amerických dolarů do startupu Kernel, jehož cílem je posílit lidskou inteligenci pomocí mozkových implantátů, které mohou spojovat myšlenky lidí s počítači.

Globální trhy v roce 2014 byly oceněny na 723,64 miliony amerických dolarů a podle GRAND VIEW RESEARCH bude do roku 2020 růst se složenou roční mírou růstu – CAGR (Compound Annual Growth Rate) přes 10 %. CAGR je ukazatelem růstu, který měří míru návratnosti investic po dobu trvání investice. Je to ukazatel průměrného tempa růstu. Zohledňuje celkový trend ve více letech – tedy filtruje roční výkyvy a pomáhá posoudit roční nárůst výnosu.

Podle RESEARCH AND MARKETS globální trh BCI byl v roce 2017 byl oceněn na 697 milionů USD a v roce 2023 se očekává, že jeho velikost bude 1 840 miliony USD a během prognózovaného období bude vykazovat CAGR 17, 59 %. Společnost předpokládá růst v důsledku rostoucí poptávky po inovativních technologiích v oblastech neurovědy a informačních a komunikačních technologií.

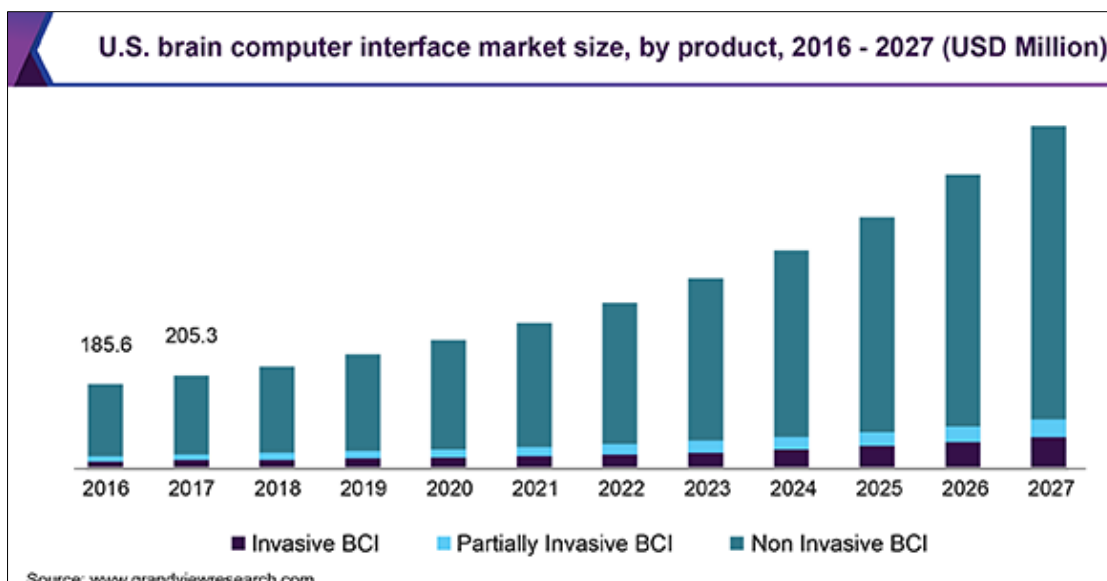
Rychlost výzkumu a vývoje v systémech rozhraní mezi mozkiem a počítačem rychle se zvyšuje. Růst trhu je podporován zejména vysokou mírou smrtelných nehod a počtem lidí, kteří mají smrtelné choroby. V různých formách fondy investují do oblastí výzkumu a vývoje rozhraní mezi mozkiem a počítačem. Proto se předpokládá, že růst BCI bude růst exponenciálně.

Největší podíl na tomto trhu má Severní Amerika, a to hlavně z důvodu rychlého přijetí nových technologií a obrovským investicím do výzkumu a vývoje. Dá se předpokládat, že k urychlení růstu trhu dojde po přijetí technologií v masovém hledisku v Asii a Tichomoří, kde v posledním desetiletí dochází k intenzivnímu ekonomickému růstu. Podle MARKET RESEARCH FUTURE mezi Severoamerické země USA představuje v oblasti největší podíl, jsou zde přítomny klíčové společnosti a klíčové investory, USA následuje Kanada a Mexiko.

Podle MARKET RESEARCH FUTURE Severní Amerika v roce 2017 představovala největší tržní podíl 51, 5 % s tržní hodnotou 523, 2 miliony USD. Evropa ve stejném roce byla druhým největším trhem s hodnotou 265, 4 miliony USD. Mezi evropskými zeměmi v současnosti na trhu dominuje Německo s podílem 26 %, následuje Spojené království s podílem na trhu 22 %. Podle stejné agentury předpokládá se, že růst BCI technologií v UK bude nejvyšší a CAGR dosáhne do roku 2024 18, 5 %. USA podle agentury dosáhne CAGR do roku 2024 14, 3 % a Evropa průměrně 15, 6 %, v Asii a Tichomoří tyto čísla dosáhnou výše 17, 3 %. Očekává se nárůst technologie v ostatních evropských zemích v důsledku růstu přijímání nových technologií nemocnicemi, univerzitami a výzkumnými ústavami.

Podle REPORTS AND DATA na BCI trhu největší BCI segment je umístěn ve zdravotnictví, a to 39, 8 %. Zase nejvíce BCI zařízení jsou neinvazivní, je to 40 % všech zařízení.

Na obrázku 6 nejsou dostupná čísla, jelikož se jedná o privátní agenturu a výstupy jsou sice zveřejněné, ale v omezené formě. Odhadem však je možné říci, že trh BCI během let 2016 až 2027 se skoro zčtyřnásobí. V roce 2027 by velikost amerického BCI trhu by mohla být víc, než 700 mil USD. Ze studie víme, že americký trh BCI roste CAGR 11,5.



Obrázek 6: Velikost BCI trhu, podle typu produktů, 2016-2027 (Mil. USD¹²⁰)

12.1 Společnosti

Pro lepší znázornění trhu, v následujícím paragrafu jsou popsáni nejdůležitější hráči na trhu BCI, popis jejich produkce a potenciální využití. Ze 40 % až 50 % firmy vyrábějící zařízení pro komunikaci mezi mozkiem a člověkem jsou Americké společnosti. Všechny společnosti jsou privátní.

V následující tabulce je přehled EEG zařízení dostupných na trhu, název: Přehled EEG zařízení na trhu¹²¹.

¹²⁰ www.grandviewreserch.com

¹²¹ GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>

Značka	Produkt	Typ senzoru	Spojení
NeuroSky	MindWave	Suchý	Bluetooth
Emotive	EPOC(+)	Suchý	Bluetooth
Muse	Muse2	Suchý	Bluetooth
OpenBCI	EEF Electrode Cap Kit	Mokrý	Kabel
Wearable Sensing	DSI 24, NeuSen W	Suchý, Mokrý	Bluetooth
ANT Neuro	eego/eego sports	Suchý	Wi-fi
Neuroelectronics	STARSTIM, ENOBIO	Suchý	Wi-fi, USB
G.tech	g.NAUTIO series	Suchý	Bezdrátové
Advanced Brain Monitoring	B-Alert	Suchý	Bluetooth
Cognionics	Quick	Suchý	Bluetooth
mBrain Train	Smarting	Mokrý	Bluetooth
Brain Products	LiveAmp	Suchý	Bezdrátové
Brain Products	AntiCHapm	Suchý	Bezdrátové
BioSemi	ActiveTwo	Mokrý (Gel)	Kabel
EGI	GES 400	Suchý	Kabel
Compumedics Neuroscan	G Quick-Cap + Grael 4k	Mokrý	Kabel
Mitsar	Smart BCI EEG Headset	Mokrý	Bluetooth
Mindo	Mindo series	Suchý	Wireless

Tabulka 1: Přehled EEG zařízení na trhu

12.1.1 EMOTIVE

Založení: 2011, USA sídlo: Samn Jose, Californie,

Odhadovaný roční příjem: 2, 8 millionů USD (2018)

Počet zaměstnanců: 31

Konkurence: Neurosky, Cardiomood, NeuroVista¹²²

Společnost se zabývá technologiemi BCI, založených na technologiích EEG a patří do oboru elektroniky.

Produkt, který Emotive nabízí je Eloc Neuroheadset. Neuroheadset mění způsob, kterým komunikujeme s počítačem. Produkty společnosti by se potenciálně mohly využít v mnoha odvětvích. Například hraní her, každodenní počítačové interakce, handsfree systém, design, umění, psychologie, či automobilový průmysl.

Ve společnosti fungují dva týmy pracovníků – neurologové a programátoři. Práce je založená na testování tisíců dobrovolníků za účelem najít vzory, jejichž projevy patří všem lidem.

Samotné zařízení umožňuje zachytit neurosignály z lidského mozku ve vysokém rozlišení. A následně je zpracovat.

Bezdrátová náhlavní souprava má 14 senzorů, a dva další, referenční kanály, ve kterých může být jsou zachycené mrknutí, vodorovné pohledy doleva nebo doprava, zvednutí obočí, levé nebo pravé mrknutí, úsměv, smích, zaťaté zuby a několik výrazů, a kognitivní stav zaznamenány v reálném čase¹²³.

Zařízení je spojeno s počítačem USB přijímačem.



Obrazek 7: Eloc Neuroheadset

122 www.owler.com.

¹²³ IN, J. a JIANG Z. An EEG-Based BCI System to Facial Action Recognition. *Wireless Personal Communications: An International Journal* [online]. 2017, **94**(3), 1579-1593 [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1007/s11277-016-3700-3. ISSN 09296212.

Hlavní část - čelenka, připomíná velká sluchátka, místo reproduktorů jsou přidělané úchyty pro elektrody. Celkem na čelence je 16 elektrod. Elektrody jsou založeny na mokré bázi, a to z důvodu lepšího snímání. Hydratační roztok je potřeba nanést na ten povrch elektrody, který přilehává k hlavě. Vysílač zachytává signál z čelenky, na principu jakéhokoliv bezdrátového zařízení.

Společnost Emotive Systems spolupracuje s vývojáři her. Jednou z možností zapojení do herního procesu je naskenování hráčových pocitů. V případě, že by se hráč začal nudit, bylo by přidáno více protihráčů, v případě nervozity – byla by změněná hudba v pozadí na ještě napínavější.

Wang a kol. navrhl a vyvinul způsoby vytvoření her BCI pro lékařské účely. Byly vyvinuty 2 BCI hry, Dancing Robot a Brain Chi. Obě videohry využívají soupravy na hlavu od EPOC od společnosti Emotive, aby získaly mozkovou aktivitu a vypočítaly pozornost uživatelů při ovládání videoher BCI¹²⁴.

Další možnost je propojovat přístroje Emotive s každodenními činnostmi. Data získaná z mozku by jednoduše bylo možné převést do telefonu za účelem uchování a dalšího zpracování. Stroje je možné použít k léčbě pacientů s neurotickými poruchami. Další využití je ve sportovní sféře.

Na této etapě společnost vyrábí hardwary a softwary:

Hardwary:

EPOC +
INSIGHT
EPOC Flex

Softwary:

EmotivePRO
Emotive BCI
BrainViz
My Emotive¹²⁵

Jedná se o privátní společnost a je skoro nemožné najít veřejné informace a sestavit prognózu pro budoucí ekonomický vývoj. Jediné dostupné informace jsou uvedeny na neoficiálních stránkách.

¹²⁴ MERCADO, J., M. TENTORI, I. ESPINOSA-CURIEL a L. ESCOBEDO. Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: the case of autism. *Multimedia Tools and Applications* [online]. 2019, **78**, [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1007/s11042-018-6916-2. ISSN 15737721.

¹²⁵ www.emotive.com

12.1.2 NeuroSky

Založení: 2004, Austrálie sídlo: San Francisco, Californie

Odhadovaný roční příjem: 6,1 millionů USD

Počet zaměstnanců: 80

Konkurence: Emotive, Cardiomood, NeuroVista

Produkce: MindWave, Mind Kit & Mind Set, Non-Contact Sensors

MindWave od společnosti NeuroSky využívá technologii ThinkGeat. Ta zahrnuje senzor dotýkající se čela, kontaktní a referenční body umístěné na ušním lalůčku a integrovaný čip zpracovávající všechna data.

Vstupní data jsou odesílána z headsetu za použití Bluetooth do počítače a je přejímány přes sériový port.

Sluchátka Mind Wave od společnosti NeuroSky měří mozkovou aktivitu hráčů. Toto EEG zařízení měří mozkové vlny na čele pomocí suchých elektrod. Souprava zobrazená na obrázku 2 zpracovává výstup EEG za účelem získání pozornosti a meditačních hodnot. Tento produkt má potenciál stát se zařízením pro hromadné použití z důvodů nízké ceny, dostupnosti sad SDK, odolnosti vůči šumu a snadnosti použití¹²⁶.

MindWave headset se používá jako prostředek pro Mandrykem a kol. vyvinutým doplňkem proměňující komerční videohry na videohry BCI, jejichž účelem je feedback trénink. V průběhu hry je použita vizuální zpětná vazba ve formě grafických textů, které se liší podle jejich zmatenosti. Intenzita zmatenosti se zvyšuje s tím, jak se pozornost uživatelů pohybuje od prahové hodnoty definované trenérem feedbacku. Hodnocení účinnosti doplňku u 16 dětí s poruchou fetálního alkoholového spektra ukazuje, že by to mohlo zmírnit příznaky ADHD. Použití této technologie by mohlo být abstraktním znázorněním mozkové aktivity u dětí například s autismem.

Byla vyvinuta CogoLand intenzivněji video hra intenzivní BCI videohru, při které se dítě musí soustředit, aby pohybovalo avatarem a oběhlo ostrov v nejkratším možném čase. CogoLand sledoval pozornost pomocí náhlavní soupravy Mindwave se suchými EEG

¹²⁶ SEKHAVAT, Y. Battle of minds: a new interaction approach in BCI games through competitive reinforcement. *Multimedia Tools and Applications: An International Journal* [online]. 2019, 1-16 [cit. 2020-01-19]. DOI: 10.1007/s11042-019-07963-w. ISSN 13807501.

senzory. Autoři objevili významné zlepšení nepozorných a hyperaktivních impulsivních symptomů na ADHD stupnicí¹²⁷.

Jiný systém, který sleduje pozornost student na online vzdělávacím systému upozorní učitele, jakmile se pozornost sníží. Systém používá NeuroSky technologie a dosáhl míry přesností v průměru 89,52 %¹²⁸.

Na obrázku 6 je zobrazeno MindWave zařízení.



Obrázek 8: MindWave¹²⁹

Společnost produkuje:

MindWave: produkce z roku 2010, je používání jako zařízení pro zábavu a vzdělání.

Mind Kid & Mind Set: skládající se ze sluchátek, tři senzorů na každém sluchátku a technologií Bluetooth.

Non-Contact Sensors: prodávány momentálně výzkumným institucím¹³⁰

Produkty jsou použitelné ve sféře her, vzdělání, zábavy a výzkumu.

¹²⁷ MERCADO, J., M. TENTORI, I. ESPINOSA-CURIEL a L. ESCOBEDO. Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: the case of autism. *Multimedia Tools and Applications* [online]. 2019, [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1007/s11042-018-6916-2. ISSN 15737721.

¹²⁸ AL-HUDHUD, G. *et al.* Analyzing Passive BCI Signals to Control Adaptive Automation Devices. *SENSORS*, [online]. 2019, [cit. 2020-01-26]. DOI 10.3390/s19143042. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000479160300010&lang=cs>

¹²⁹ www.neurosky.com

¹³⁰ www.neurosky.com

13 PROGNOZY

Na základě dat získaných z různých zdrojů bude prognózován další vývoj BCI trhu. V této kapitole bude navrženo pět různých scénářů a bude zároveň prezentován proces tvorby u těchto scénářů na základě analýzy faktorů.

13.1.1 Analýza faktorů

Internet a technologie se stávají čím dál více součástí života každého člověka. Technologii a internet taktéž postupují ve svém vývoji a dá se předpokládat, že během následujících 10 let tuto pozici budou utvrzovat a posilovat. Zároveň se technologie začnou měnit a tím se rozšíří prostor pro jejich působení.

Relativně nové BCI technologie mají slibnou budoucnost. V této kapitole budou popsány faktory, které jsou na bázi zpracování literatury. Dále jsou návrhy scénářů projednávány s týmem inženýrů nadnárodní Indické společnosti pracující

Faktory, které je třeba zohlednit při posuzování budoucího vývoje BCI trhu:

13.1.1.1 Politické:

Z politického hlediska je důležité zohlednit možnost BCI technologii ke čtení mozkových vln a tím i vyčíst velké množství informací podle mozkových signálů, které nelze zakrýt. Jedná se zejména o navrhovaný detektor lži. Tyto technologie státní bezpečnost bezesporu uvítá. Zároveň také existuje hrozba špionáže při použití úplně stejného principu. Proto lze předpokládat, že vlády různých států budou investovat do těchto technologií také za účelem být prvními v rozvoji technologií a mít je ve svém inventáři.

Stejně, jako BCI technologie nabízí složky, které mohou zvýšit bezpečnost státu, za stejným principem se mohou stát zdrojem nebezpečí. Při pokroku BCI technologie mohou být použity i pro nepřátelské záměrné útoky, například kybernetické.

K rozvoji BCI technologií dojde v případě válečného konfliktu nebo jiných nepokojů. Z velké části BCI technologie jsou použité v armádní složce. A to jak k rehabilitaci postižených vojáků, tak k výslechům či komunikaci v průběhu válečné operace.

13.1.1.2 Kolaborace s jiným technologiemi:

BCI technologie se doplňují s virtuální realitou. Jelikož trh s virtuální realitou roste, předpokládá, že jeho kolaborace s pokrokovými BCI technologiemi dokáže je vyvést na novou úroveň a rozšířit pole působností

Napojení na AI, hluboké a strojové učení podle odborníku přivede BCI technologie na další úroveň použití technologií ve společnosti. Jedna z prvních oblastí, kde bude hluboké učení použito, je lékařství. Pomocí samoučení přístroje dokážou dostat medicínu na jinou úroveň, prodloužit život člověka a zvýšit zejména ve starším věku jeho kvalitu. Při kolaboraci se technologie budou vylepšovat po kvalitativní stránce

13.1.1.3 Lékařství:

Farmaceutický průmysl je jeden z největších v rámci celosvětové ekonomiky. V lékařství EEG technologie momentálně již zaujaly své místo a v budoucnu tuto pozici budou nadále posilovat. Podle MARKET AND RESEARCH v roce 2019 40 % všech BCI technologií bylo vytvořeno pro lékařské účely. Zejména se stárnutím obyvatelstva a s tím faktem, že se lidé dožívají staršího věku. BCI technologie jsou schopny nahradit jak motorické, tak i komunikační funkce a tím prodloužit životaschopnost člověka na normální úroveň. Tyto technologie jsou schopny umožnit normální nebo částečnou komunikaci pro ty, kteří postrádají tuto základní schopnost.

BCI technologie poskytují vysokou přesnost u detekci chorob, zejména, pokud se jedná o poruchy mozku. EEG technologie se budou využívat i v budoucnu pro screening chorob, jak se předpokládá, ve velkém rozsahu. Existuje spousta návrhů na různé lékařské využití EEG a při dnešním vysokém výskytu těchto technologií v lékařství se předpokládá její růst zejména z důvodů jejích potenciálů využití. BCI technologie jsou už teď využíváné k rehabilitaci a obnovení motorických a kognitivních funkcí.

13.1.1.4 Čtení myšlenek:

Předpokládá se, že v budoucnu na bázi EEG signálu BCI technologie by mohly umožnit čtení myšlenek člověka. Narůstá zde ale hrozba, jak daleko takové technologie mohou dojít a zda je vůbec morální nechat něco takového vyvíjet a bude-li morální této technologie následně využívat. Prozatím čtení myšlenek zůstává fikcí, ale jsou vizionáři, kteří slibují vývoj BCI technologií i tímto směrem.

13.1.1.5 Zvýšení kvality při práci:

BCI technologie poskytují vysokou přesnost při detekci chyb. V některých oborech chyby nejsou přípustné a zrovna u technologií, která dokáže určit, jak moc je člověk koncentrovaný, BCI je nepostradatelné. Jedná se například u řídicího letového provozu, přičemž může chyba způsobit nenapravitelné důsledky a na to, aby se chybám zde předešlo, je ochota investovat velké zdroje. Tuto vlastnost BCI při větším výskytu lze aplikovat i při studijním procesu, kde detekce pozornosti umožní produktivnější intelektuální práci.

BCI technologie v budoucnu by měly zvýšit produktivitu práce, a to na bázi okolí, u kterého se předpokládá nastavení takových podmínek, aby se člověk mohl co nejlépe se koncentrovat. Technologie umí sčítat, v jakém stavu se lidský mozek nachází a podle toho se dá i odvodit, zda okolní podmínky jsou nastavené optimálním způsobem.

13.1.1.6 Nevázanost člověka na technologii:

Technologie se čím dále, tím více sbližují s člověkem a jelikož se po zavedení konceptu osobního počítače pro lidi stává čím dále, tím více normální mít aplikaci pro každou sféru života a možnosti uživatele roste ze dne na den, zároveň roste ze dne na den závislost na technologiích. Technologie se stávají nedílnou součástí života člověka, a pro člověka se může stát technologie neoddělitelnou částí sama sebe.

Dalším důležitým bodem v hodnocení BCI technologií je BCI ngramotnost. Okolo 10 až 15 % lidí není schopno používat BCI technologie. U části lidí se dá předpokládat, že BCI technologie se nebudou dát použít.

13.1.1.7 Rozvoj herního průmyslu:

Další oblast, ve které BCI technologie posilují svoji pozici, je herní průmysl. Mozkové vlny, které přístroje BCI dokážou rozeznat, koncentrační stav člověka a zhodnotit, zda je potřeba se momentálně více zkoncentrovat či naopak polevit. Na základě této informace může na pozadí vzniknout například hudba, která požadovaný stav bude iniciovat.

13.1.1.8 Jednoduchost použití a vysoká přesnost:

Na bázi BCI technologií existují na daném stádiu vývoje celkem jednoduché přístroje, které mohou být použité jedincem samostatně. Jsou přenositelné a dostupné pro běžného uživatele.

13.1.1.9 Potenciál BCI při vstupu na Asijské trhy:

Obrovský potenciál pro růst BCI technologii je jejich přijetí na Asijských trzích. V oblastí Tichomoří a Asii dochází v posledních desetiletích k silnému hospodářskému vývoje. Velké množství firem vnímá Asijský trh jako svojí největší prioritu. Vzhledem k velkému počtu obyvatel roste i počet koncových uživatelů. Asijská společnost je taktéž velmi otevřená novým technologiím.

Na základě literární rešerše a rad odborníků ze společností, ve které pracuji, jsem sestavila 5 možných scénářů vývoje trhu BCI v letech 2020 až 2030:

13.1.2 Scénáře vývoje trhu

Scénáře vývoje trhu byly navrhnuté po zpracování potřebné dostupné literatury. Z větší části byly informace čerpány ze zdrojů zahraniční literatury. Důvodem je, že technologie jsou relativně nové a nejvíce firem na BCI trhu se nachází v USA. Jedná se o privátní firmy.

Každý scénář je zpracován pro jeden faktor, který by byl klíčový v dané situace. Pro první scénář by vývoj trhu pokračoval stejným tempem, jakým roste teď, bez větších výkyvů, ve světových trzích. Scénář se odvíjel od předpokladů vývoje BCI trhu podle největších agentur pro výzkum trhu. U druhého scénáře by CAGR porostl z důvodu vylepšení technologie pomocí zakomponování strojového učení. Ve třetím scénáři by došlo k omezení ze strany vlády. Jeden z důvodů je soukromí, kde mají BCI technologie potenciál toto soukromí narušovat. Následně není prozkoumáno, jak tyto technologie mohou narušit organickou nebo jinou strukturu v mozku a jak ho mohou poškodit. Další scénář se vyvíjí při přijetí technologii na dalších trzích, zejména Asijských. Při tom se zvětšuje množství kupujících. Pokud se vezme do úvahy taktéž ekonomický potenciál Asie a Oceánie, předpokládá se velký růst CAGR pro tento trh. U posledního scénáře se do úvahy bere dnešní krize způsobená korona virem a její možný dopad na vývoj BCI trhu.

Pro navržení scénářů byly odhady prokonzultované a následně korigované odborníky z oblastí inovativních technologii. Jedná zejména se o Americkou mezinárodní společnost působící v energetickém průmyslu. Během konzultace byli zapojeni odborníci zabývající se obchodní strategií pro inovativní technologii v regionu Západní a Centrální Evropy. Při konzultaci se zvažovala kupní síla společností a zároveň ochota lidí přijímat nové technologie. Po aplikaci zkušeností a znalostí dotyčných, byly poopravené očekávané míry

CAGR a scénáře byly doplněny o možnosti ovlivnění dalšími faktory. Jednalo se zejména o politické faktory a možnosti potenciálních kupujících BCI technologií.

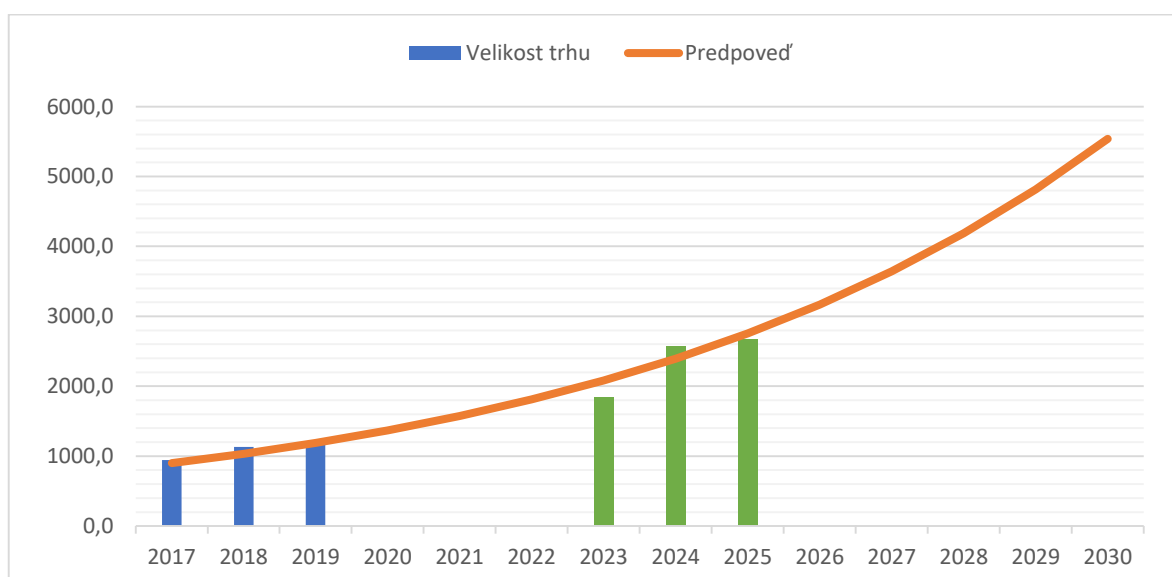
Navrhované scénáře byly prokonzultovány i s inženýry z nadnárodní Indické společnosti, působící v oblasti inženýrských a technologických řešení. Při konzultaci byly poopraveny faktory působící na vývoj BCI technologií. Taktéž bylo analyzováno, jaké jsou dnešní hranice technologií a výzkumu.

1) Vývoj trhu kontinuálně, kde CAGR roste stejným tempem, jako rostlo do teď, a to průměrně 19 % meziročně do roku 2020.

K sestavení prognózy byla použita data a předpovědi vývoje BCI trhu pro období 2020-2030 z pěti různých zdrojů. Zejména jedná se o Grand View Research Indickou a Americkou společnostmi zabývající se průzkumem trhu, Reports and Data – společnost zabývající se průzkumem trhu a poradenstvím pro různá odvětví, a obdobnými společnostmi jako Market Watch, Research and Market, Market Research Future a Statista.

Od roku 2012 do roku 2020 Americký BCI trh rostl kolem 10 % meziročně. V roce 2017 velikost celosvětového BCI trhu byla oceněná v 800 milionů amerických dolarů. Meziroční růst trhu byl v průměru 10 % a v roce 2019 jeho velikost porostla až na 1 200 milionů amerických dolarů. Data ohledně celosvětového trhu BCI se liší, většinou je odchylka ve výši několika procent. Prognóza byla sestavena s použitím dat výše vyjmenovaných agentur a předpokládaná složená roční míra růstu bude ve výši 15 %. Z pěti vyjmenovaných agentur se předpokládaný CAGR pohybuje od 10 do 17 %.

V tabulce č. 1 sloupce znázorňují historické údaje do roku 2019 a následně předpokládanou velikost trhu v letech 2023, 2024, 2025 podle uvedených agentur. Spojnicový graf je zprůměrování výsledků rešerše a ukazuje vývoj trhu do roku 2030. V roce 2030 při neměnném trendu vývoje trhu celosvětový BCI trh v roce 2030 dosáhne bude 5537.5 miliony amerických dolarů. V roce 2019 jeho velikost byla 1200 milionů amerických dolarů. Tento vývoj trhu se předpokládá bez dopadu výrazných ekonomických výkyvů. CAGR 15 %.



Graf 2: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 1, Zdroj: autor

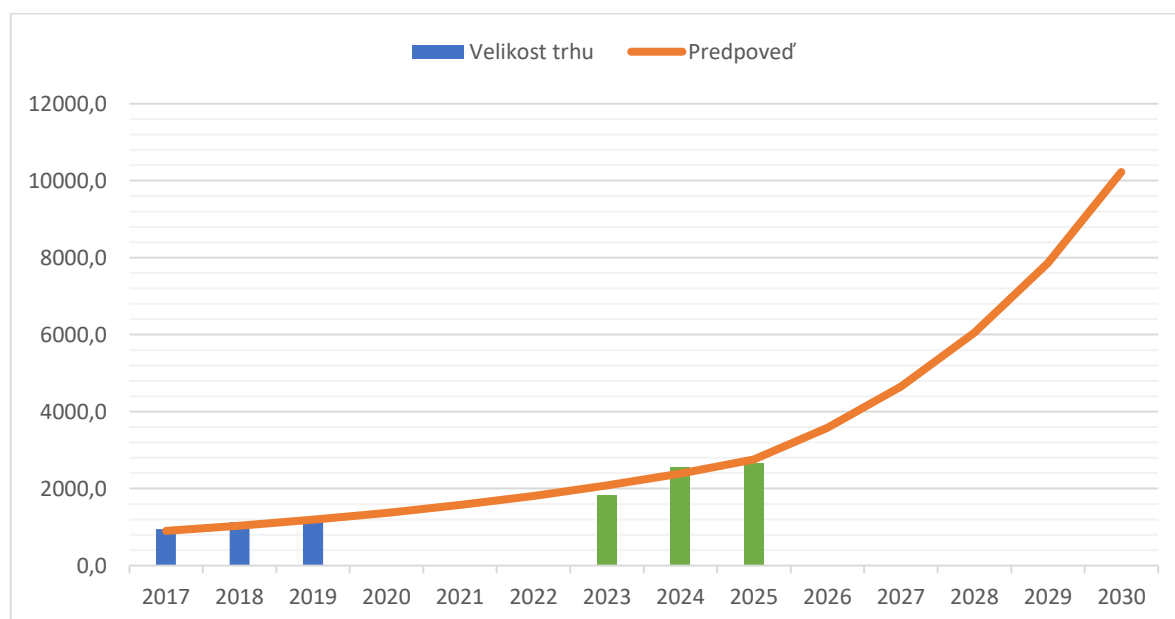
2) Na BCI trzích v důsledku kombinace se strojovým učením BCI technologie se urychlí ve vývoji, stanou rychlejší a spolehlivější a poroste jejich významnost v lékařství, komunikaci, armádě nebo zábavě.

Tento scénář byl navržen po uvážení možného vylepšení dnes existujících BCI technologií pomocí strojového učení. CAGR bylo navrženo po konzultaci s vývojáři v oblastech AI a obchodníky v oblastech inovativních technologií. Míra růstu je orientační a založená na zkušenostech odborníků zabývajících se obchodem. Je uvažováno dosavadní relativně pomalý růst v oboru. Taktéž nejvyšší podíl uživatelů jsou nemocní lidé. Tento segment nemá velkou kupní sílu.

BCI technologie momentálně prochází významnou změnou v rámci inovací. V minulém desetiletí do tehdy klasické BCI technologie začalo být komponováno hluboké učení. Pokroky v přenosovém učení mohou zmírnit omezení BCI, jelikož nebude potřeba kalibrace dat, čímž se urychlí klasifikace dat. Bude zachyceno méně artefaktů pro přenášené informace

Přístroj BCI může spoléhat na předchozí použitelná data a tím zvyšovat velikosti datových sad, které následně mohou být použité při aplikaci BCI.

Při aktivním zapojení BCI technologie a hlubkového učení v dalším desetiletí předpokládá se růst CAGR až dvakrát. Proto v tomto scénáři je počítáno s meziroční růstovou mírou až 30 %. Při tomto scénáři v roce 2030 by velikost trhu mohla dosáhnout až 10 222.1 milionů amerických dolarů.



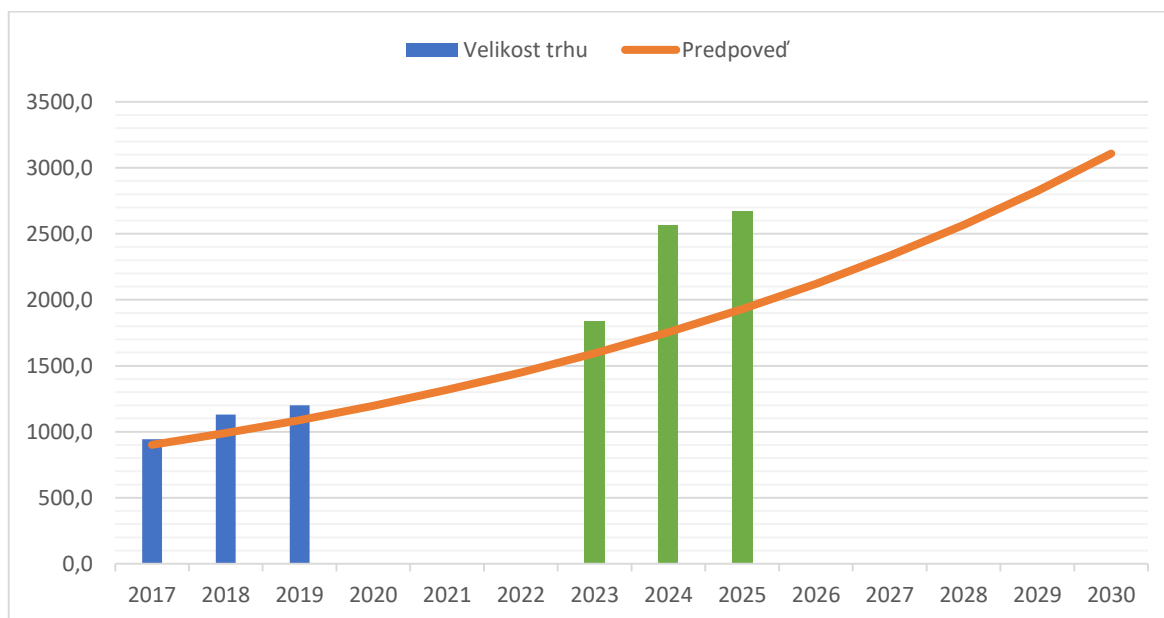
Graf 2: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 2, Zdroj: autor

3) Trh se zpomalí v důsledku regulace trhu vládou. Vzroste hrozba použití technologie k manipulativní činnosti a vláda při výskytech útoku na jedince pomocí BCI technologii postaví se k její vývoje tím, že začne zamezovat financování pro veřejné účely a vládními nařízeními předejde rychlému rozvoji v nejbližším desetiletí.

K tomuto scénáři může přivést i možné zjištění z lékařského hlediska o potenciálních hrozbách na zdraví uživatele BCI technologii, které momentálně nejsou známé. BCI technologie jsou relativně nové a není možné zhodnotit důsledky jejich použití po dlouhodobém užití. Předpokládá se, že při intenzivním využití těchto technologií může dojít ke změnám v limbickém systému nebo i jiných funkcích organismu. Je taktéž reálné, že po intenzivním nasazení rozhraní mezi mozkiem a počítačem může dojít k poruchám přirozených instinktů a dalším ve dnešní době neznámým komplikacím.

V tomto scénáři proto počítám s CAGR 7 %. Při regulaci vlády v tomto případě se předpokládá zpomalený růst. Nedojde však k úplnému zastavení vývoje BCI technologií a růstu BCI trhu, ale ke zpomalení aktivního financování a tím i nákupu technologií.

Při tomto scénáři v roce 2030 by velikost trhu mohla dosáhnout až 3107 milionů amerických dolarů.



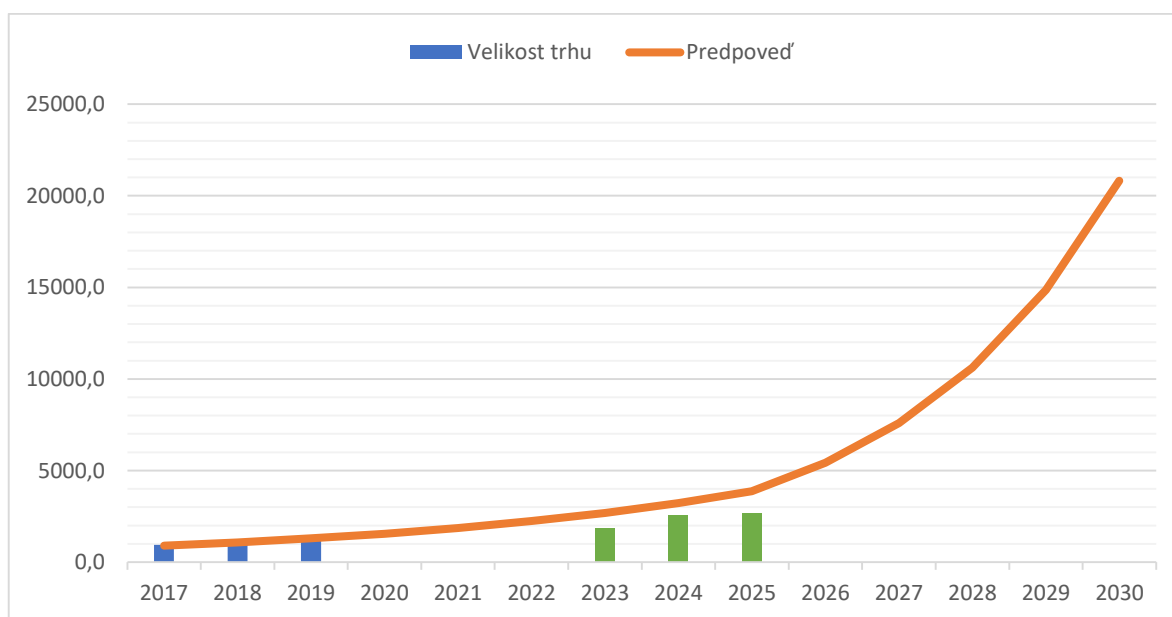
Graf 3: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 3, Zdroj: autor

4) BCI trh se ve velkém měřítku prosadí v Asii a v Tichomoří, což způsobí růst produkce a růst trhu.

Asie v moderním světě je kontinent, přijímající velmi rychle nové technologie. V této oblasti taktéž v posledních desetiletích je zaznamenán velký ekonomický pokrok. Nejedná se jenom o Asijské tygry, jako Hongkong, Taiwan nebo Singapur. Vysoký ekonomický růst se očekává v celé Tichomořské oblasti. Firmy bojují o možnost vstoupení na Asijský trh, jak z důvodu obrovského ekonomického potenciálu, tak i z důvodu velkého množství obyvatelstva. Při vstupu na Asijské trhy, i v případě jenom u několika Asijských států, by BCI trh mohl očekávat nárůst i na stovky procent CARG

V tomto scénáři se očekává CAGR do roku 2025 30 % a po roce 2025 až 50 %.

Při tomto scénáři v roce 2030 by velikost trhu mohla dosáhnout až 20 812 milionů amerických dolarů 20 812.9 milionů amerických dolarů.



Graf 4: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 4, Zdroj: autor

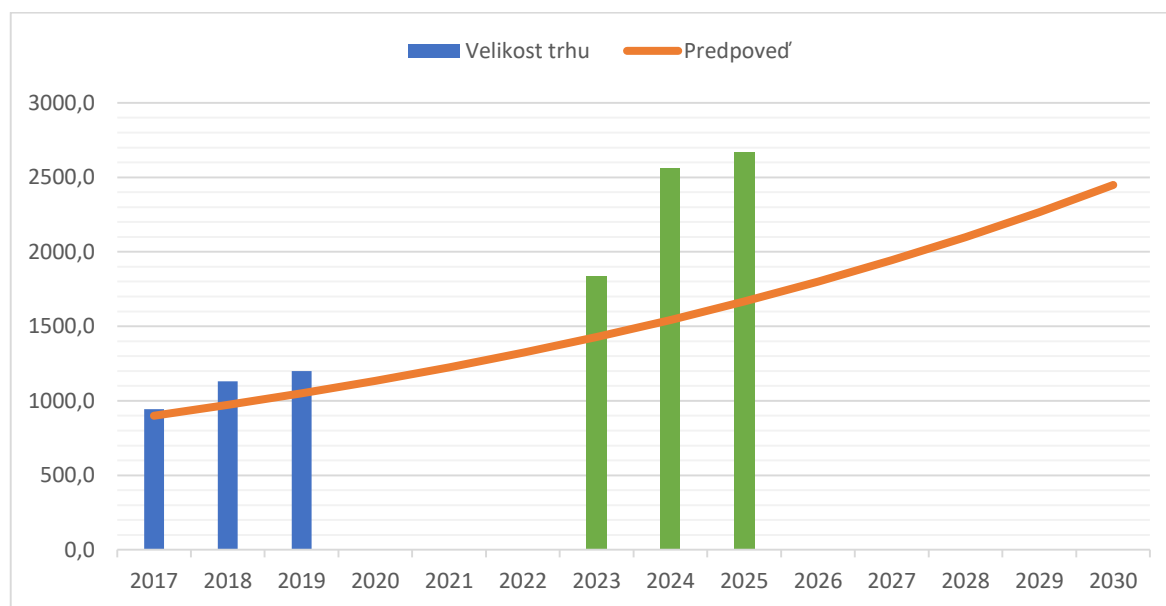
5) Zpomalení růstu trhu BCI v důsledku zpomalení celosvětové ekonomiky, jakož to reakci na celosvětovou pandemii.

V důsledku celosvětové karantény kvůli šíření koronavirové infekce celosvětová ekonomika zpomalí a finanční zdroje budou vlády budou posouvat spíše na udržení místních ekonomik, dojde ke zpomalení financování výzkumu. Jednalo by se o zpomalení nejenom ekonomik západního světa, ale i Asijských slibných trhů. Při hlubší recesi státní finance a mimostátní organizace by se nejprve zaměřily na financování ustálených odvětví. Jednalo by se například o cestovní ruch nebo zdravotnictví.

Při takových podmínkách lze uvažovat o celkovém snížení financování nových projektů. Pro případ BCI trhu jednalo by se hlavně o stagnaci vývoje relativně nových projektů, zkrácení financování by se projevilo zejména u kolaboraci BCI a strojového učení, BCI a virtuální reality, BCI a chytré ovládání domu. U kritických oblastí jako zdravotnictví by se dal předpokládat alespoň minimální růst CAGR.

V tomto scénáři se očekává CAGR do roku 2030 7 %.

Při tomto scénáři v roce 2030 velikost trhu by mohla dosáhnout 2447,7 milionů amerických dolarů.



Graf 5: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 5, Zdroj: autor

14 ZÁVĚR

V posledních několika letech došlo k rychlému pokroku BCI založeného na EEG, tento vzestup je částečně odrazem zlepšení počítačového zpracování a větší rychlosti zpracování pomocí technické analýzy signálu. Technologie mají mimořádně vysoké časové rozlišení, což umožňuje komunikaci s technologiemi online.

BCI se podílí na herní interakci, na ovládání robotů, rozpoznání emocí, detekci únavy, hodnocení kvality spánku a ke klinickému využití, jako jedná se například o anormální choroby v mozku jako jsou například záchvaty, Parkinsonova choroba, Alzheimerova choroba, Schizofrenie.

V této diplomové práci jsou shrnuté nejdůležitější body pro pochopení inovativních BCI technologií. Jsou popsány principy jejich fungování a následně jsou zmapované hlavní oblasti, ve kterých jsou technologie použity. Ve většině případů použití se často jedná o koncept, rozpracovanou verzi. BCI technologii se budou využívat ve spoustě oblastech života člověka, zejména v lékařství, armádě, zábavě a komunikaci.

Potenciál BCI technologii je ohromný a nelze vyloučit, že v budoucnu mimo to, že bychom svůj telefon nebo počítač ovládali fyzickým příkazem, taktéž bychom je řídili přímo svým mozkiem. Jedná se však o relativně nové technologie a nelze s určitostí vyloučit, že vývoj BCI bude zpomalený z legislativních důvodů. Nevíme, jak technologie, která snímá z mozku signály, může na mozek zapůsobit a jaké jsou důsledky použití těchto technologií na limbický systém člověka.

BCI postupně začíná kolaborovat s jinými technologiemi. Pokroky v přenosovém učení mohou zmírnit omezení BCI, jelikož nebude potřeba kalibrace dat, bude zachyceno méně artefaktů pro přenášené informace a přístroj BCI může spoléhat na předchozí použitelná data a tím zvyšovat velikosti datových sad, které následně mohou být použity při aplikaci BCI. Při kolaboraci BCI s hlubokým učením je úspora časově náročného předzpracování při provádění technických kroků a současně zachyceno běžně nepostřehnutelné závislosti.

V práci je navrženo 5 různých scénářů, které budou v následujících 10 letech mapovat trh BCI. U všech scénářů je však jisté, že během následujícího desetiletí vývoj trh s BCI technologiemi bude růst, buď rychlejším nebo pomalejším tempem.

Na vývoji BCI technologií pracuje velké množství odborníků, je dotováno relativně velké množství finančních zdrojů. Touto prací byla zmapovaná aktuální situace na BCI trhu a podle dostupných aktuálních informací navrhnutý jeho budoucí vývoj.

15 ZDROJE

- AL-HUDHUD, G. et al. Analyzing Passive BCI Signals to Control Adaptive Automation Devices. *SENSORS*, [s. l.], [online]. 2019, n. 14, [cit. 2020-01-26]. DOI 10.3390/s19143042. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000479160300010&lang=cs>
- BIRBAUMER, N. Breaking the silence: Brain 13computer interfaces (BCI) for communication and motor control. *Psychophysiology* [online]. 2006, 43(6), 517-532 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2006.00456.x. ISSN 00485772.
- CEJNAROVÁ, Andrea, *Umělá inteligence: V budoucnosti to bez ní nepůjde. Siemens Visions* [online]. 4.1.2019 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/umela-inteligence-v-budoucnosti-to-bez-ni-nepujde>
- CHESHIRE, W. Lifting the Impenetrable Veil: Ethical Implications of Neural Vision Decoding. *Ethics* [online]. 2019, 35(3), 135-142 [cit. 2020-01-02]. ISSN 0266688X.
- CLERK, M., BOUGRAIN, L., a LOTTE, F. 2016. *Brain-computer interfaces 1: Methods and perspectives*. [online]. 2016. ISBN 9781848218260
- CLERC, M., BOUGRAIN. L., a LOTTE F., *Brain-computer interfaces, 2, Technology and applications* [online]. 2016. ISBN 9781119347552.
- ERKAN, Erdem a Mehmet AKBABA. A study on performance increasing in SSVEP based BCI application. *Engineering Science and Technology, an International Journal* [online]. 2018, 21(3), 421-427 [cit. 2020-01-26]. DOI: 10.1016/j.jestch.2018.04.002. ISSN 22150986.
- FLOHR, M., Ted' jen nepomyslet na nic špatného, *Chip.cz*, [online]. 2006 [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: <https://www.chip.cz/casopis-chip/earchiv/rubriky/magazin/ted-jen-nepomyslet-na-nic-spatneho/>
- FRIEDMAN, D. et al. Human-Computer Interface Issues in Controlling Virtual Reality With Brain-Computer Interface. *Human-Computer Interaction*, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 67–94, 2010. [cit. 2020-02-10]. DOI 10.1080/07370020903586688. Dostupné na: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.techlib.cz/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=49152691&lang=cs&site=ehost-live>.

- GOMEZ-PILAR, Javier, Rebeca CORRALEJO, Luis F. NICOLAS-ALONSO, Daniel ÁLVAREZ a Roberto HORNERO. Neurofeedback training with a motor imagery-based BCI: neurocognitive improvements and EEG changes in the elderly. *Medical* [online]. 2016, 54(11), 1655-1666 [cit. 2020-01-10]. DOI: 10.1007/s11517-016-1454-4. ISSN 01400118.
- GRUBLER, G., AL-KHODAIRY, LEEB R., PISOTTA I., RICCIO A., ROHM M. a HILDT E. Psychosocial and Ethical Aspects in Non-Invasive EEG-Based BCI Research--A Survey Among BCI Users and BCI Professionals. *Neuroethics* [online]. 2014, 7(1), 29-41 [cit. 2020-01-5]. DOI: 10.1007/s12152-013-9179-7. ISSN 18745490.
- GU, X. et al. EEG-based Brain-Computer Interfaces (BCIs): A Survey of Recent Studies on Signal Sensing Technologies and Computational Intelligence Approaches and their Applications. [online] 2020 [cit. 2020-02-21]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.2001.11337&lang=cs>
- HALADOVÁ, E. a L. NECHVÁTALOVÁ. *Vyšetřovací metody hybného systému*. Vyd. 3., nezměn. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2010, 135 s. ISBN 978-80-7013-516-7.
- HUGGINS, J. E. et al. Workshops of the seventh international brain-computer interface meeting: not getting lost in translation. *Brain-Computer Interfaces*, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 71–101, 2019. [cit. 2019-12-22]. DOI 10.1080/2326263X.2019.1697163. Dostupné na :<http://search.ebscohost.com.ezproxy.techlib.cz/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=140469116&lang=cs&site=ehost-live>.
- IN, J. a JIANG Z.. An EEG-Based BCI System to Facial Action Recognition. *Wireless Personal Communications: An International Journal* [online]. 2017, 94(3), 1579-1593 [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1007/s11277-016-3700-3. ISSN 09296212.
- KEROUS, Bojan, Filip SKOLA a Fotis LIAROKAPIS. EEG-based BCI and video games: a progress report. *Virtual Reality* [online]. 2018, 22(2), 119-135 [cit. 2020-01-10]. DOI: 10.1007/s10055-017-0328-x. ISSN 13594338.
- KNAPOVSKÝ, M., ŠMRHA, M., *Brain-computer interface*, České vysoké učení technické, [online]. 2018 [cit. 2020-03-31]. Dostupné na:

https://nit.felk.cvut.cz/~dark/Vyuka/AST2013/2013_05_07_utory/knapovsky_smrha_-_bci/vypracovani.pdf

- KOSMYNA, N. a LÉCUYER A. A conceptual space for EEG-based brain-computer interfaces. PLoS ONE [online]. 2019, 14(01), 1-30 [cit. 2020-01-2]. DOI: 10.1371/journal.pone.0210145. ISSN 19326203.
- KROEKER, L. Improving Brain-Computer Interfaces. Communications of the ACM [online]. 2011, 54(10), 11-14 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/2001269.2001275. ISSN 00010782.
- KÜBLER, A. The history of BCI: From a vision for the future to real support for personhood in people with locked-in syndrome. Neuroethics [online]. 2019, 1-18 [cit. 2019-10-22]. DOI: 10.1007/s12152-019-09409-4. ISSN 18745490.
- LANDAU, O., PUZIS R. a NISSIM N. Mind Your Mind: EEG-Based Brain-Computer Interfaces and Their Security in Cyber Space. ACM Computing Surveys [online]. 2020, 53(1), 1-38 [cit. 2020-02-15]. DOI: 10.1145/3372043. ISSN 03600300.
- LIN, L., A Wireless BCI-Controlled Integration System in Smart Living Space for Patients. Wireless Personal Communications: An International Journal [Online]. 2016 [2020-10-17]; Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssjs&AN=edssjs.55F29FC3&lang=cs>
- MERCADO, J., M. TENTORI, I. ESPINOSA-CURIEL a L. ESCOBEDO. Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: the case of autism. Multimedia Tools and Applications [online]. 2019, 78(10), 13675 – 13712 [cit. 2020-01-25]. DOI: 10.1007/s11042-018-6916-2. ISSN 15737721.
- MUNYON, Charles N. Neuroethics of Non-primary Brain Computer Interface: Focus on Potential Military Applications. Frontiers in Neuroscience [online]. 2018 [cit. 2020-01-30]. DOI: 10.3389/fnins.2018.00696. ISSN 1662453X.
- PÁNEK, D.. Elektroencefalografické koreláty pohybového chování a výkonnostní zátěže. Vydání první. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2016. 105 stran. ISBN 978-80-246-3435-7.
- PETR, J., BCI – brain computer interface. Osel.cz. [online]. 2003 [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: www.osel.cz/374-bci-brain-computer-interface.html

- PFURTESCHELLER G., et kol., The hybrid BCI, *Frontiers in Neuroscience*, [online]. 2010 [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnpro.2010.00003/full>
- RASHID, M., ISLAM M., SULAIMAN N., BARI B., SAHA M. a HASAN, M. Electrocorticography based motor imagery movements classification using long short-term memory (LSTM) based on deep learning approach. *SN Applied Sciences* [online]. 2020, 2(2) [cit. 2020-01-22]. DOI: 10.1007/s42452-020-2023-x. ISSN 25233963.
- SALIH, T. A., ABDAL M., Z., Brain computer interface based smart keyboard using neurosky mindwave headset. *Telkomnika* [online]. 2020, 18(2), 919-927 [cit. 2020-04-21]. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i2.13993. ISSN 16936930
- SEKHAVAT, Y. Battle of minds: a new interaction approach in BCI games through competitive reinforcement. *Multimedia Tools and Applications: An International Journal* [online]. 2019, 1-16 [cit. 2020-01-19]. DOI: 10.1007/s11042-019-07963-w. ISSN 13807501.
- SPULER, M 2017, 'A high-speed brain-computer interface (BCI) using dry EEG electrodes', *PLoS ONE*, vol. 12, no. 2, pp. 1–12, viewed 1 February 2020, <<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=121393847&lang=cs>>.
- SWAN, M. The Future of Brain-Computer Interfaces: Blockchaining Your Way into a Cloudmind. *Journal of Evolution & Technology*, [online]. 2016 [cit. 2019-12-18]. Dostupné na: <http://search.ebscohost.com.ezproxy.techlib.cz/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=120541880&lang=cs&site=ehost-live>.
- SPULER, Martin. A high-speed brain-computer interface (BCI) using dry EEG electrodes. *PLoS ONE* [online]. 2017, 12(2) [cit. 2020-03-1]. DOI: 10.1371/journal.pone.0172400. ISSN 19326203
- THOMPSON, M., Critiquing the Concept of BCI Illiteracy. *Science and Engineering Ethics* [online]. 2019, 25(4), 1217-1233 [cit. 2019-11-30]. DOI: 10.1007/s11948-018-0061-1. ISSN 13533452.
- VELLISTE M, P. S, SPALDING MC, WHITFORD AS, Schwartz AB. Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding. *Nature* [Online]. 2008 [citováno 2020-04-13]; (7198):1098. Dostupné z:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbro&AN=edsbro.A183424109&lang=cs>

- ZHANG, X., YAO L., ZHANG S., KANHERE S., SHENG Q. a LIU Y.. Internet of Things Meets Brain-Computer Interface: A Unified Deep Learning Framework for Enabling Human-Thing Cognitive Interactivity [online]. 2018 [cit. 2020-01-11]. Dostupné na: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsarx&AN=edsarx.180500789&lang=cs>
- YONCK, Richard. The age of the interface: from processing codes punched out on cards to interpreting our brain waves, our computers are progressively learning how to read our minds. Future interfaces will help man and machine understand each other better. The Futurist [online]. 2010, 44(3), 14-19 [cit. 2020-02-18]. ISSN 00163317.
- ŽÁK, Roman, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: Řízení systémů pomocí aktivizace mozkových center [online]. 2017, [cit. 2019-11-30]. DOI: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/41570/žák_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MARKET WATCH, Brain Coputer interface (BCI) Market 2019 Global Industry Trends, Statistics. Competition Strategies, Revenue Analysis, Regional Analysis by Forecast to 2025, [online]. 2009, [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: <https://www.marketwatch.com/press-release/brain-computer-interface-bci-market-2019-global-industry-trends-statistics-competition-strategies-revenue-analysis-key-players-regional-analysis-by-forecast-to-2025-2019-07-24>
- MARKET RESEARCH FUTURE. Brain Computer interface Market Research Report Global Forecast to 2024. MarketReserchFuture.com, (Part of WantStats Research And Media Pvt. Ltd., 2019, [cit. 4. 1. 2020 online]. Dostupné na: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/brain-computer-interface-market-8412>
- REPORTS AND DATA. Brain-Computer Interface Market By Product (Non-invasive BCI, Invasive BCI, partially BCI, Others), By End user (Medical, Military, Others), By Application (Healthcare, Smart home control, Communication, Entertainment & gaming) And Segment Forecasts, 2017–2026. Reportsanddata.com.

Category: Healthcare IT ID: RND_001557 Format: PDF , 2019, [cit. 4. 1. 2020 online]., dostupné na <https://www.reportsanddata.com/report-detail/brain-computer-interface-market>

- RESEARCH AND MARKETS. Global Brain Computer Interface Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product, by Application, by End Use, and Segment Forecasts, 2020 - 2027 - ResearchAndMarkets.com. Business Wire (English), [s. 1.], 2020 outono. 3DC. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bwh&AN=bizwire.bw8478534&lang=cs>. Acesso em: 30 mar. 2020.
- STATISTA, Brain Computer interface revenue worldwide in 2018 and 2025, [online]. 2009, [cit. 2020-03-31]. Dostupné na: <https://www.statista.com/statistics/1015013/worldwide-brain-computer-interface-market-value/>
- TED Talks, 2013, Miguel Nicolelis: A monkey that controls a robot with its thoughts. No, really., Youtube video. [cit. 2020-04-13]; Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=CR_LBcZg_84

Internetové portály:

www.emotive.com

www.neurosky.com

www.owler.com

www.grandviewreserch.com

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 4: Architektura BCI

Obrázek 5: Opice kontrolující robota myšlenkou.

Obrázek 3: Výnosy AI na světových trzích

Obrázek 4: Předběžné zpracování dat, rozpoznávání vzorů a potrubí strojového učení

Obrázek 5: Celosvětový BCI trh, podle užití, 2019

Obrázek 6: Velikost BCI trhu, podle typu produktů, 2016-2027 (Mil. USD)

Obrázek 7: Epoc Neuroheadset

Obrázek 8: MindWave

SEZNAM GRAFŮ A TABULEK

Graf 3: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 1

Graf 2: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 2

Graf 3: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 3

Graf 4: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 4

Graf 5: Prognóza BCI trhu 2020-2030 – scénář 5

Tabulka 4: Přehled EEG zařízení na trhu

Evidence výpůjček

Prohlášení:

Dávám svolení k půjčování této diplomové práce. Uživatel potvrzuje svým podpisem, že bude tuto práci řádně citovat v seznamu použité literatury.

Jméno a příjmení: Marta Topurko

V Praze dne: 08. 05. 2020

Podpis:

Jméno	Oddělení/ Pracoviště	Datum	Podpis