

Professional Paper – Stručni rad

MOZAK U BOCI?

Kostić Dedić Svetlana¹, Velimir Dedić²

¹KBC Zvezdara, Odjeljenje neurologija, Dimitrija Tucovića 161, 11050 Beograd, Srbija,
svetlana.kostic.dedic@gmail.com

²Univerzitet PIM, Fakultet računarskih nauka, despota Stefana Lazarevića bb, 78000 Banja Luka, Bosna
i Hercegovina

APSTRAKT

Naš mozak je ono što nas čini čovekom. Omogućava nam da mislimo i želimo, skladišti naša sećanja, obezbeđuje i usmerava naše pokretanje i delovanje u svetu. Razvoj neuronauke u poslednjih dvadesetak godina je značajno doprineo razumevanju funkcionisanja ljudskog mozga. U istom periodu je eksponencijalno povećana računarska sposobnost kompjutera. Otuda i nije iznenađenje, razvoj tehnologije povezivanja mozga i računara (brain-computer interface, BCI). Za sada se ova tehnologija, primenjuje u rehabilitacionoj medicini (gde se koristi kao podrška mobilnosti i komunikaciji osoba sa invaliditetom) i industriji kompjuterskih igrica (gde se koristi za procenu kognitivnog stanja). Primeri upotrebe ove tehnologije su i kod kohlearnih implantata i duboke stimulacije mozga. Da li je mozak računar? Da li kompjuter ima svoju inteligenciju? Povezivanje mozga i kompjutera je možda put razvoja i način na koji su se ljudi dopunjavali tehnikom godinama? Na kraju ili je to možda početno pitanje: kako znamo da nismo samo mozak u boci?

Ključne reči: brain-computer interfejs, tehnologija povezivanja mozga i računara.

UVOD

Mozak ima ključnu ulogu u kontroli našeg ponašanja i regulaciji fizioloških procesa u našem telu. Ono što nas čini čovekom, što omogućuje naše misli, pokrete, želje, sećanja, naš svakodnevni život, to je naš mozak. Poslednjih decenija, značajan je progres učinjen u razumevanju funkcionisanja mozga i otuda je decenija 1990-1999. proglašena dekadom mozga (Jones, & Mendell, 1999). Eksperimentalna istraživanja su opovrgla ranije mišljenje da se rađamo sa određenim brojem nervnih ćelija i da se one ne mogu regenerisati. Pokazano je da se nove nervne ćelije stvaraju i u odraslih jedinki u odgovoru na stimulaciju, naročito onu pozitivnu koja je praćena nagrađivanjem (Grelat et al., 2018). Na ovoj sposobnosti mozga da se permanentno menja, zasniva se i neurorehabilitacija, koja ima za cilj da povрати izgubljene senzorne ili motorne funkcije, bilo direktnom nadoknadom (npr. kohlearni implantat, elektronsko oko) ili pružanjem terapijskog efekta modulacijom neuronske aktivnosti. Neuroproteze omogućavaju komunikaciju između nervnog sistema i spoljnih uređaja kako bi se oštećena neurološka funkcija mogla obnoviti, zameniti ili modulisati. Otuda je neurorehabilitacija značajna nemedikamentozna terapija za čiji optimalni uspeh je neophodan personalizovani pristup. Električnu prirodu nervnih impulsa su još 1850.g. pretpostavili Emil du Bois Reymond i Hermann von Helmholtz. Pretpostavku da je mozak visoko diferenciran organ je istakao Santiago Ramón y Cajal 1901. godine i opisao „Neuron Doctrine“ ukazujući da je nervna ćelija osnovna organizaciona i funkcionalna jedinica nervnog sistema (Shepherd, 2015). Rečju neuron (grčki *nerve* sa značenjem *nit*) je označio nervnu ćeliju nemački profesor Wilhelm Waldeger, kad je video Cajalov patohistološki preparat moždanog tkiva.

NEURON

Nervna ćelija se sastoji od tela i dve vrste nastavaka, više kraćih (dendriti) i jednog dugog nastavka (akson). Neuron prima informacije preko dendrita. Primljena informacija se usmerava od dendrita ka telu neurona i preko aksona na dalje do dendrita drugog neurona. Mesto kontakta dva neurona se naziva sinapsom, preciznije aksona prvog i dendrita drugog neurona i veličine je oko 20 nanometra. Informacija putuje različitim brzinama kroz različite neurone zavisno od toga da li njihov akson ima mijelinski omotač ili ne, kada u slučaju da postoji mijelinski omotač, informacija se prenosi skokovito i brzo. Brzina prenosa informacije se kreće tako, u opsegu od 0.5 metara u sekundi do 120 metara u sekundi. Mozak je sastavljen od oko 100 milijardi neurona a svaki od njih stvara i do 10 000 sinaptičkih veza. Samo u moždanoj kori ima 22 milijarde neurona koji stvaraju oko 150 kilometara veza. Ovaj veliki broj neurona mozga čini samo 10% zapremine mozga dok ostatak čini voda.

Osnovno svojstvo neurona je njegova ekscitabilnost. To je sposobnost brze promene membranskog potencijala ćelijske mebrane u čijoj osnovi je različita propustljivost za različite jone. U samom neuronu je visoka koncentracija jona kalijuma dok je niska izvan ćelije. Obrnuto je za jon natrijuma. U mirovanju je membrana neurona sto puta propustljivija za kalijum nego za natrijum. Kad nova informacija stigne, nastaje brza promena propustljivosti membrane neurona za jone natrijuma, koja postaje 5000 puta veća nego za jone kalijuma. Ova promena membranskog potencijala izaziva stvaranje električnog signala, kojeg nazivamo akcioni potencijal. To se odigrava na mestu spoja aksona sa ćelijskim telom pošto je ovde najveći broj jonskih kanala za natrijum. Informacija koju neuron prima na nivou dendrita u vidu električnog signala se prenosi dalje, aksonom do dendrita sledećeg neurona. Komuniciranje neurona je tako, putem električnih impulsa, akcionih potencijala koji su stereotipnog profila i karaktera. Ograničen je broj mogućnosti akcije neurona, odnosno neuroni ili okidaju ili ne okidaju akcioni potencijal i s obzirom na njegove analogne osobine, biokodiranje možemo reći, nije digitalno već analogno (Schalk, 2008). Moguće je da električna komunikacija ostane i jedina (kada su prisutne tzv. električne sinapse) ali češće je slučaj da se nastavlja hemijska reakcija potom, kroz tzv. hemijske sinapse, kada se kroz sinaptički kontakt oslobađa neurotransmiter koji vezivanjem za membranu sledećeg neurona menja propustljivost iste za jone i omogućava na taj način, nastanak akcionog potencijala sledećeg neurona. Osnova neuronskog prenos informacija je dakle, međusobna interakcija između električnog prenosa informacija u samom neuronu i hemijskog prenosa informacija između neurona. Pretpostavka je stoga, da i naša svest, nastaje zahvaljujući elektronskim impulsima koji se odvijaju u mozgu, preciznije, moždanoj kori.

KORA VELIKOG MOZGA

Mozak je jedan od najvećih organa u našem telu. Prosečan mozak odraslog čoveka teži oko 1.4 kg. Kao visoko diferenciran organ, mozak ima potrebe za velikom količinom kiseonika, koji služi za oksigenaciju glukoze, što predstavlja glavni izvor energije mozga. Iako čini samo 2% telesne težine, u mirovanju mozak troši 30% kiseonika i 25% glukoze iz krvi i svakog minuta stiže mu 750 do 1000 ml krvi. Mozak tako, troši 20% telesne energije i petinu ukupne količine krvi u telu (Maurice, Allan & Raymond, 2001). Da nije sve u težini, slikovito odražava primer mozga slona koji teži 6 kg, što predstavlja samo 0.15% njegove težine. Primer je i novorođenog mozga čoveka, koji teži oko 400 g, koliko i mozak novorođene šimpanze. Ali, već u prvoj godini života, se utrošujući težina mozga ljudske bebe, koja naučiti hodati i delimično govoriti, za razliku od bebe šimpanze (Hofman, 2007). Broj nervnih ćelija u mozgu čoveka je daleko najveći u odnosu na ostali životinjski svet. Ljudski mozak je svojevrsan muzej ostataka svih prethodnih etapa naše evolucije tokom miliona godina, što je, takođe i put razvoja kroz koji prolazi mozak novorođenčeta. Tokom evolucije su mlađe i savršenije moždane strukture preuzimale nove složenije funkcije i vremenom su se najsloženije funkcije koncentrisale u kori velikog mozga (Lević, 1994). Zahvaljujući naborima kora velikog mozga čoveka, ima veću površinu od one koju pruža obim hemisfera. Kod glodara je površina mozga glatka (Hofman, 2007). Kora velikog mozga prima i analizuje sve informacije iz spoljne sredine i organizuje akciju put spolja tako da je ona sedište svih svesnih prisihćkih procesa:

opažanja, prepoznavanja, govora, mišljenja, planiranja, izvođenja voljne motorne aktivnosti (Maurice, et al., 2001). Prema građi i funkciji možemo razlikovati primarne, sekundarne i tercijarne oblasti u kori velikog mozga od kojih svaka može imati više različitih funkcionalnih polja. Još je Paul Broca 1861. g. ukazao da postoje lokalizovani delovi mozga odgovorni za specifične funkcije, navodeći primer produkcije govora, lokalizovane u delu leve hemisfere mozga.

Primarna polja podrazumevaju mesta obrade pojedinih senzitivnih odnosno senzornih ili motornih funkcija. Oko ovih oblasti se nalaze sekundarna polja gde se vrši složenija obrada kao npr. prepoznavanje dok se u asocijacionim poljima vrši još složenija obrada koja podrazumeva i usklađivanje više različitih vrsta informacija koja pristižu iz drugih kortikalnih područja u cilju koordinacije, upoređivanja, analiziranja, predviđanja (Maurice, et al., 2001). Sva navedena polja se nalaze i u levoj i u desnoj hemisferi mozga ali simetrična polja nemaju podjednak funkcionalni značaj. Polje u jednoj hemisferi je skoro uvek funkcionalno dominantno u odnosu na isto polje suprotne hemisfere. Leva hemisfera je kod većine ljudi dominantna za govor i pokrete šake, za aritmetične i analitične funkcije dok je desna hemisfera dominantna za prostornu orijentaciju, kontrolu i analizu emotivnih ispoljavanja, muzičke sposobnosti. Razvojem i dozrevanjem sekundarnih i tercijarnih zona, kao posledice genetskih, hormonskih i socijalno kulturnih uticaja, oko sedme godine života se uspostavlja dominantna lateralizovanost funkcija. Nervne ćelije su u kori velikog mozga organizovane u ogroman broj sistema, koje možemo nazvati neuronskim mrežama i koji mogu biti mali, sastavljeni od samo nekoliko ćelija za obavljanje prostih refleksa do veoma velikih sistema, sačinjenih od miliona nervnih ćelija, programiranih za obavljanje složenijih aktivnosti (Mesulam, 2000). Lokalne neuronske mreže obuhvataju pojedinačna citoarhitektonska polja ili nekoliko susednih polja. Za vizuelnu percepciju su tako opisane lokalne mreže pomoću kojih se vrši analiza oblika, veličine i prostorne lokalizacije predmeta.

Fascinantna karakteristika mozga je mogućnost stvaranja novih kompleksnijih sistema. Jednostavan model takvog novostvorenog sistema je klasični uslovni refleks Pavlova. Neuronske mreže u koje ulaze međusobno povezane a udaljene lokalne mreže predstavljaju neurološku osnovu kognitivnih funkcija i ponašanja (Mesulam, 2000). Slikovito se organizacija i visoka diferenciranost mozga može videti u kliničkoj slici pojedinih bolesti. Primer je bolesnika sa oblikom Alzeihemer – ove demencije koji ne može razumeti izgovorene reči ali uspešno razume iste napisane reči (Mesulam, et al., 2019). Osnovna šema organizacije našeg ponašanja se može predstaviti na sledeći način: ulaz informacija iz spoljnog sveta preko čula i senzitivnih sistema, obrada informacija u mozgu i kreiranje odgovora preko eferentnih sistema i efektor. Da li će reakcija biti motorna ili emocionalna ili će sadržati sve ove elemente, zavisi od prirode stimulusa i njegovog značaja za osobu i kvaliteta obrade (Lević, 1994). Centralno mesto u ovom teorijskom modelu zauzima paralelna obrada brojnih informacija u lokalnim neuronskim mrežama koja obezbeđuje ubrzanje procesa obrade informacija u zavisnosti od priliva ulaznih informacija i interakcije između lokalnih neuronskih populacija (Mesulam, 2000).

NEURONSKA MREŽA

Teorijske strukture osmišljene tako da oponašaju neurone u mozgu se nazivaju neuronskim mrežama i predstavljaju veoma povezanu mrežu elemenata koji obrađuju podatke odnosno prihvataju ulazne informacije, vrše analizu i generišu izlaz (Jocković, Ognjanović, & Stankovski, 1997). Svaki od ovih veštačkih neurona ima lokalnu memoriju u kojoj pamti podatke (obično numeričke) koje obrađuje. Njihova je karakteristika specifično uređenje i povezivanje neurona po slojevima, u obliku mreže. Najčešće postoje tri sloja, gde se prvi sloj koji prima podatke iz spoljašnje sredine naziva ulaznim. Sledeći sloj prosleđuje relevantne podatke do trećeg (izlaznog) sloja. Na izlazu trećeg sloja se dobija konačan rezultat. Složenije neuronske mreže imaju više slojeva. Slojevi su međusobno povezani i komuniciraju tako što se izlaz svakog neurona iz prethodnog sloja povezuje sa ulazima svih neurona narednog sloja. Otuda svaki ovaj veštački neuron ima nekoliko ulaza i jedan izlaz. Još složenije neuronske mreže mogu imati više skrivenih slojeva, povratne petlje i elemente za odlaganje vremena, koji su dizajnirani da omoguće što efikasnije odvajanje važnih osobina ili šema sa ulaznog nivoa (Jocković i sar., 1997).

Značaj neuronskih mreža je u tome da mogu paralelno da obrađuju podatke, čije komponente su nezavisne jedne od drugih. Istovremeno radi više procesorskih jedinica, da bi rezultati njihove obrade prešli na sledeće jedinice (neurone). Procesorske jedinice u jednoj neuronskoj mreži su jednostavne i mogu obavljati samo jedno ili eventualno nekoliko računarskih operacija i međusobno su povezani tako da u jednoj neuronskoj mreži postoji mnogo više veza nego procesorskih jedinica (Milosavljević, 2015). Neuronske mreže se koriste u statističkoj analizi i modeliranju podataka kao i u situacijama kada nisu poznata pravila prema kojima bi bilo moguće dovesti u vezu ulazne i izlazne podatke iz željenog sistema. Jedna od ključnih osobina neuronskih mreža je njihova sposobnost da uče na ograničenom skupu primera. Neuronska mreža može da „uči“ tako što se kroz nju naizmenično propušta signal a potom se u povratnoj sprezi menja, sve dok se ne dobije željeni izlaz. Otuda se neuronske mreže ne programiraju već se treniraju i potrebno je dosta vremena za njihovo obučavanje pre nego što počnu da se koriste. Neuronske mreže mogu da rade u režimu obučavanja, samoobučavanja ili podsticanja (Milosavljević, 2015). Značajna je njihova upotreba kod prepoznavanja glasa ili pokreta u čitavom nizu softverskih rešenja, kod radara ili bezbednosnih kamera, kod filtriranja elektronske pošte, kod „iskopavanja“ informacija iz baza podataka. Savremenije bolnice koriste veštačke neuronske mreže za organizaciju rada, smena i smeštaja bolesnika. Prvi matematički model veštačkog neurona je predstavljen 1943. godine zahvaljujući radu Warren McCulloch-a i Walter Pitts-a. Američki psiholog Frank Rosenblatt inspirisan radom Donalda Hebba „Organizacija ponašanja“ 1949. godine i postavljenom teorijom učenja, je zaslužan za otkriće jednoslojne neuronske mreže. U svom eksperimentalnom radu Hebb je zaključio da, kad se ponavljano informacija prenosi od neurona A do sledećeg B, nastaju metaboličke promene tako da neuron A postaje efikasniji u odašiljanju signala ka neuronu B odnosno „neurons who fire together wire together“. Ubrzo potom 1960. godine nastaje i prvi neuroračunar (Mark I perceptron) koji je mogao naučiti nove veštine pomoću pokušaja i greške. Iste godine Bernard Widrow postavlja novi tip „neurona“ ADALINE, takođe jednoslojnu neuronsku mrežu koja međutim može više ulaznih signala obrađivati i generisati izlaznu informaciju (Milosavljević, 2015).

Godine 1982. John Hopfield u svom radu pravi paralelu između neuronskih mreža i određenih fizičkih sistema, utirući put mogućnosti da nam neuronske mreže pruže uvid u razumevanje rada ljudskog mozga. Čoveku je poznat ulaz i izlaz informacije ali ne i sam postupak transformacija informacija. U okviru nauke o obradi informacija, sve intenzivnije se istražuju algoritmi i metodologije obrade informacija u ljudskom mozgu. Otkrivene zakonitosti se svrstavaju u novu naučnu oblast informatike, nauku o veštačkoj inteligenciji. Pojam veštačke inteligencije je uveo John McCarthy 1956. godine. Do 1960. godine je već sugerisan najbolji način korišćenja računara u njihovoj interakciji s korisnikom i umrežavanju. Veštačka inteligencija se definiše kao računarski sistem koji može izvoditi zadatke koji zahtevaju humanu inteligenciju kao što su: vizuelna percepcija, prepoznavanje govora, donošenje odluka, jezičko prevođenje. Drugačije rečeno, podrazumeva sposobnost računarskog programa ili mašine da misli i uči.

Osnovni cilj veštačke inteligencije je da odmeni ljudski mozak gde je to moguće, pri čemu se ove funkcije izvršavaju neuporedivo brže i tačnije no što bi to uradio čovek i kao tipičan primer takve upotrebe jesu razna računanja. Široka je primena veštačke inteligencije u brojnim oblastima, kao što je inteligentno rukovanje bazom podataka, kada je korisniku omogućen pristup ne samo onim podacima do kojih se može doći direktno, nego i onim izvedenim podacima do kojih se dolazi nakon analize direktno dobijenih podataka. U robotici je značajna sposobnost identifikacije pozicije objekta i okolnosti da bi se izabrala odgovarajuća metoda za postizanje unapred datog cilja.

POREĐENJE MOZGA I RAČUNARA

Istorija pokazuje da naučne revolucije nailaze u talasima, podstaknute najpre, razvojem fizike (Raković, Skokljev, i Đorđević, 2010). U 19. veku teorije mehanike i termodinamike omogućavaju stvaranje parne mašine, potom i izrade lokomotive i nastanak industrijske revolucije. U 20. veku otkriveni zakoni elektriciteta i magnetizma, omogućavaju stvaranje generatora, radara, televizije i radia. U 21. veku treći talas nauke predvode kvantni fizičari i pojava tranzistora i lasera, računara, interneta, modernih telekomunikacija i sistema za navigaciju. Istorijska je konstanta da se u svakom pomenutom vremenskom razdoblju ljudski mozak poredi sa najnovijim tehnološkim dostignućima

tog trenutka (Finger, 2000). Najpre je to bila parna mašina, zatim telegraf i telefonska mreža (odnosno razvodna tabla), potom električno kolo i sada računar. Računar je mašina koju je čovek stvorio da mu život bude lakši i vredniji življenja. Ali za razliku od drugih oruđa, ova mašina nije napravljena samo za jednu svrhu ili za više namena već je to mašina sposobna da podražava bilo koju drugu mašinu. Otuda je računar univerzalna mašina koja može uraditi sve što se može opisati matematičkim simbolima (Finger, 2000). Termin računar potiče od latinske reči *computare* sa značenjem računati i poznat je još od 1646. godine kada je Sir Thomas Browne time označio nekog ko izvodi računanja u cilju crtanja kalendara. Sve do 1930. godine je zadržan termin, kada počinje da se koristi, da označi osobu sa matematičkim obrazovanjem koja izvodi računanja uz pomoć tabela. U poređenju mozga sa računarom, odmah se ističe da je mozak čoveka daleko sposobniji u rešavanju problema od bilo kog računara. Evidentno je naime, da su biološke neuronske mreže daleko komplikovanije od svojih matematičkih modela, koji se koriste za veštačke neuronske mreže. One predstavljaju samoorganizujući sistem gde svaki pojedinačni neuron je takođe sofisticirana samoorganizujuća struktura sposobna, da obrađuje informacije na mnogo različitih načina, evoluirala tokom miliona godina. Vrlo rano su tokom evolucije, nastali jonski kanali u ćelijskoj membrani, omogućujući tako jednoćelijskim organizmima povratnu reakciju iz okoline. U svim biološkim neuronskim mrežama veze između dendrita i aksona mogu biti pojačane, kada više signala prolazi kroz njih ili oslabljene kada se signali ređe šalju i tada se ovi putevi umanjuju čime smanjuju verovatnoću da će signal biti prenesen. Eksperimentalno je i pokazano da NMDA receptori membrane neurona čine jedan od mehanizama kojim neuroni povećavaju svoju plastičnost odnosno sposobnost prilagođavanja određenim uslovima (Grelat, et al., 2018). Slično je i kod veštačkih neurona s obzirom da neuronska mreža ne poseduje centralno lokalizovanu memoriju niti se programira sekvencama instrukcija kao klasični računari (Gurney, 2003). Kod klasičnih računara svi podaci prolaze kroz centralnu procesor koji tako, predstavlja usko grlo u procesu obrade, pošto obrađuje samo po jedan podatak u jednom trenutku. Dok neuronska mreža koristi veliki broj jednostavnih procesora da bi obavila svoje kalkulacije, klasični računari koriste jedan ili u ređim slučajevima, svega nekoliko procesorskih jedinica (Jocković i sar., 1997). Klasični računari koriste algoritamski (sekvencijalni) način obrade podataka sa veoma niskim stepenom paralelizacije, gde se obrađuje jedna ili manji broj informacija u isto vreme. Neuronska mreža međutim, obrađuje istovremeno više informacija (Gurney, 2003). Slično, mozak zahvaljući paralelnoj obradi podataka tako, ima značajnu računarsku širinu ali i ograničenu računarsku dubinu s obzirom da ne može obraditi dugi niz naredbi. Računari pak, imaju značajnu računarsku dubinu za pokretanje algoritma na visokim nivoima brzina sa značajnim skladištenjem podataka ali ograničenom računarskom širinom odnosno ograničenjem u izvođenju više algoritama istovremeno (Gurney, 2003). Još jedna razlika između mozga i klasičnog računara je da mozak koristi milijarde ćelija u paralelnoj organizaciji i svaka ćelija predstavlja računarski element koji radi malom brzinom dok se klasični računar sastoji od milijardi tranzistora organizovanih za sekvencijalnu obradu koji rade brzinom milion puta bržom od računarskog elementa u mozgu (Schalk, 2008). Brzina računara se meri nanosekundama. Mozak za nekoliko milisekundi odreaguje na stimulus ali ovu brzinu, nadoknađuje time da su svi neuroni i sinapse aktivni istovremeno, tako da mozak efektivno radi 100 000 puta brže u odnosu na savremeni računar.

Za razliku od računara, gde je skladištenje informacija u CPU i RAM čipovima, računanje i skladištenje mozga se veoma retko preklapaju i nisu lokalizovane. Mozak nema jasnu razliku između supstrata i softvera. Pohonjivanje informacija u mozgu je na nivou sinapsi. Mozak može efikasno obrađivati informacije i pod nepovoljnim uslovima i kod nepredvidljive promene uslova, kao i kod prisutne neizvesnosti ulaznih informacija. Dok i najmanja greška u računarstvu dovodi do pada sistema, neuronska mreža mozga lako izlazi na kraj sa izvesnom količinom grešaka u obradi i prenosu informacija. Veliki broj neurona i njihovih sinaptičkih kontakata radi tako efikasno da naš mozak troši količinu energije ravnu potrošnji lampice od 15 w. Ukupni troškovi energije mozga jedne osobe za ceo njen život od 80 godina ne iznose više od 1200 evra po današnjem nivou cena (Hofman, 2014), za koju nije moguće kupiti pristojan računar a naročito ne neki koji bi imao toliki životni vek!

POVEZIVANJE MOZGA I RAČUNARA

O simbiozi čovek-računar sanjao je još američki psiholog Joseph Carl Robnett Licklider 1960. godine koji je doprineo razvoju računarskog umrežavanja i nastanku interneta. On je govorio da će čovek postavljati ciljeve, formulisati hipoteze i kriterijume dok će računar raditi neophodna rutinska računanja i tako doprineti daljem tehničkom i naučnom razmišljanju. Povezivanje našeg mozga direktno sa računarskom tehnologijom može biti prirodna progresija i način na koji su se ljudi dopunjavali tehnologijom tokom godina? U tom smislu, spajanje mozga i računara je počelo 1970-tih godina na Kalifornijskom univerzitetu i definisano je kao hardverski i softverski komunikacioni sistem koji zaobilazi periferne nerve i mišiće i omogućava moždanoj aktivnosti da kontroliše računare ili spoljne uređaje, kao što je kontrola kursora ili proteze amputiranog uda (Vidal, 1973). Globalnu bioelektričnu aktivnost mozga možemo registrovati pomoću elektroda postavljenih na površini intaktnog lobanje, metodom elektroencefalografije (EEG), kako je Hans Berger pokazao još 1929.godine. U tom slučaju se dobija grafički zapis moždanih talasa, koji predstavlja električnu aktivnost moždane kore, koja se nalazi na površini mozga i odražava zbir sinhronne aktivnosti miliona neurona koji imaju sličnu prostornu orijentaciju. Zavisno od funkcionalnog i fiziološkog stanja registruju se moždani talasi različite amplitude i frekvence (Olejnicki, 2006). U cilju testiranja neuronske mreže nakon pohranjivanja mnogobrojnih primera EEG-a, neuronska mreža je mogla analizirati novi EEG signal i odrediti da li subjekat spava (Lin, et al., 2019). Sistem povezanosti mozga i računara (tzv. brain computer interface BCI) omogućava da računar „izvuče“ informacije iz mozga, odnosno EEG signale iz mozga prevede u digitalne signale koji se mogu prepoznati na računaru i služiti kao signal za interakciju sa spoljnim pomoćnim uređajima (Rao et al., 2014).

Tehnologija BCI se u rehabilitacionoj medicini koristi za podršku mobilnosti i komunikaciji teško oštećenih osoba. Osobe sa invaliditetom na taj način mogu kontrolisati pomoćne uređaje kao što su invalidska kolica. Procenjuje se da 50 000 do 60 000 širom sveta boluje od amiotrofične lateralne skleroze (Pels, Aarnoutse, Ramsey, & Vansteensel, 2017). Oko 12000 slučajeva povreda kičmene moždine se godišnje dogodi u Sjedinjenim Američkim Državama. Moždani udar zadobije 15 miliona ljudi godišnje. Primena BCI tehnologije u poboljšanju kvaliteta života ovih ljudi bi bila veoma značajna. Jedan od prvih BCI sistema je 2000 godine koristio Hondin robot ASIMO. Drugi BCI sistem tzv. EPOC je 2009.godine pomoću EEG signala i signala mišića lica omogućavao osobama da treptanjem ili osmehivanjem mogu pokretati električna invalidska kolica. Brain Gate je BCI sistem stvoren 2006. godine na američkom univerzitetu Brown, pomoću kojeg je dvadesetpetogodišnji Matthew Nagle mogao pokretati svojim mislima kursor na dekstopu računara. Nakon povrede kičmene moždine zadobijene ubodom nožem u vrat ostao je potpuno paralizovan. Implantirana mu je pločica 4x4 mm sa 96 elektroda u koru velikog mozga zahvaljujući kojoj je, bez pokretanja udova, mogao svojim mislima upravljati i obezbediti pokret miša kompjutera, čitati e-maile, igrati kompjuterske igrice. Širok je spektar primene neurorehabilitacionih BCI tehnika od kohlearnih i retinalnih implantata za vraćanje sluha i vida, u hroničnoj stimulaciji trigeminalnog nerva za lečenje bolova, vagusnog nerva za lečenje epilepsije, duboke stimulacije mozga u terapiji Parkinsonove bolesti, distonije i opsesivno kompulzivnog poremećaja. Tzv. Park Walker je primer BCI za bolesnike sa Parkinsonovom bolešću u obliku naočara (Greenlaw, et al., 2000). U rehabilitaciji bolesnika nakon moždanog udara se primenjuje Wii Fit u cilju poboljšanja ravnoteže i snage mišića (Nitz, Kuys, Isles, & Fu, 2010). U neuropsihološkoj rehabilitaciji BCI ima značajno mesto u poboljšanju pažnje, učenja i pamćenja (Diez-Cirarda, et al., 2017). Pojam kibernetički organizam su još 1960.godine uveli Manfred Clynes i Nathan Kline da označe osobu koja zahvaljujući tehnologiji stiče poboljšane sposobnosti. Ugrađeni tehnički uređaj osoba doživljava kao deo svog tela. Otuda je i kovanica kiborg postala od reči kibernetika i organizam. Tipičan primer bi bila osoba sa ugrađenim pacemaker-om, kardiodefibrilatorom, inzulinskom pumpom ili kohlearnim implantom. Nil Harbison je rođen sa ahromatopsijom odnosno slepilom za boje. Na početku studija umetnosti, stvarao je samo crno bele radove. Od kada mu je ugrađena antena na vrhu glave, Harbison može čuti boje, tako što se informacije primljene antenom (tzv.elektronsko oko, koje može registrovati frekvence boja od infracrvene do ultraljubičaste) u čipu na zadnjem delu glave, prevede u odgovarajuće vibracije, koje se putem kosti lobanje, prenose do unutrašnjeg uha, gde se prevede u električne stimuluse). Ako je moguće jedan neuron zameniti silicijumskim čipom koji može obavljati

istu funkciju, pa potom zameniti drugi neuron, drugim čipom i dalje redom, nameće se pitanje: do kog trenutka čovek je još uvek čovek?

KOME PRIPADA BUDUĆNOST?

U domenu računanja, veštačka inteligencija može nadmašiti ljudsku. Godine 1997. IBM-ov računar Deep Blue je pobedio svetskog šampiona Garija Kasparova u meču od šest partija. Xiaoyi, robot napravljen u Kini 2017. godine je položio državni ispit za dobijanje medicinske lekarske dozvole (Galleon, 2018). Nameće se pitanje: da li su ljudska i veštačka inteligencija isto? Ali i sledeće pitanje odmah zatim: s obzirom na činjenicu da je biološka evolucija sporija od tehnološke evolucije, da li će čovek biti u stanju da kontroliše veštačku inteligenciju? U tom smislu prva asocijacija je filmski junak HAL, najpoznatiji spomenik veštačke inteligencije. Trenutak u kome se nalazimo i razvoj veštačke inteligencije je možda najveći rizik sa kojim se suočava ljudska civilizacija. Veštačku inteligenciju čini sistem pravila i procedura koje, kad se sprovedu, daju rezultate slične proizvodu ljudskog razmišljanja i zaključivanja (Milosavljević, 2015). Računar manipuliše podacima, simbolima ali to je sve. Ne pripisuje im bilo kakvo značenje. Da bi računar mogao da razvije razumevanje, morao bi početi da saznaje značenja simbola i pravila koja koristi. Analogijom, čulima opažamo predmete i njihove karakteristike ali ne i njihovu suštinu. Znanje se ne može zasnivati samo na opažanju. Šta čini autentično ljudsko biće? Dekart (1596-1650) francuski filozof, je govorio da su i životinje i ljudi mašine koje funkcionišu po mehaničkim principima ali jedino ljudi mogu reći: Mislim, dakle postojim. Još je Platon govorio da ono što mislimo da je stvarnost, nije ništa drugo do igra senki na zidovima našeg uma. Senke nisu realne bez obzira kako one realno izgledaju. One se odnose na predstavu nekog objekta. Oči vide samo ono što je um sposoban da razume. Kultura je stoga, filter koji strukturira realnost. U tom slučaju sanjanju li androidi električne ovce? Ovo pitanje postavlja Filip Dik, pisac ovog naučno fantastičnog romana. Njegove kopije ljudi, androidi, nisu ni svesni da nisu zaista ljudi. Američki filozof Patnam (1926-2016) nastavlja: kada bi mi bili mozak u tegli, da li bi mogli da pomislimo da smo mozak u tegli? I odgovara slično, da takav mozak u tegli, ne bi ni mogao prepostaviti da se nalazi u tegli! Ekranizacija ovog pitanja je prikazana filmom Matriks posle kojeg nam odjekuje pitanje: živimo li možda u računarskoj simulaciji? Da li bi život prestao imati smisao ako bi otkrili da je naš svet simulacija? Ono što veštačku inteligenciju razlikuje od čoveka, je svakako, njegova samosvest. Svesti o sebi, o sopstvenom identitetu i sposobnosti za prevaziženje sopstvenih ograničenja. Ne postoji način da jedinka veštačke inteligencije sebe postavi i prepozna kao individuu koja ima svest o sebi, govorio je McCarthy, otac veštačke inteligencije, nadajući se da je to samo pitanje vremena, s obzirom da se još ne zna kako napraviti računarski program sa korisnom introspekcijom. Takvi budući računari sa svesću o sebi bi svakako bili autonomniji, što bi predstavljalo novi izazov prilikom zamenjivanja ljudi u obavljanju poslova i otvaralo nova pitanja iz oblasti etike.

LITERATURA

- Díez-Cirarda, M., Ojeda, N., Peña, J., Cabrera-Zubizarreta, A., Lucas-Jiménez, O., Gómez-Esteban, J. C., ... & Ibarretxe-Bilbao, N. (2017). Increased brain connectivity and activation after cognitive rehabilitation in Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *Brain imaging and behavior*, 11(6), 1640-1651.
- Finger, S. (2000). *Minds behind the Brain: A history of the pioneers and their discoveries*. New York Oxford University Press.
- Galleon, D. (2018). For the first time, a robot passed a medical licensing exam <https://futurism.com/first-time-robot-passed-medical-licensing-exam>
- Grelat, A., Benoit, L., Wagner, S., Moigneu, C., Lledo, P. M., & Alonso, M. (2018). Adult-born neurons boost odor-reward association. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(10), 2514-2519.
- Greenlaw, R., Wessel, I. D., Katevas, N., Andritsos, F., Memos, D., Prentza, A., & Delprato, U. (2002, March). PARREHA—Assistive Technology for Parkinson's Rehabilitation. In *1st Cambridge Workshop on Universal Access and Assistive Technology*.

- Gurney, K. (2003). *An introduction to neural networks*. Taylor & Francis London
- Hofman, M.A. (2014). Evolution of the human brain: when bigger is better. *Frontiers in neuroanatomy*, 8, 15.
- Hofman, M.A. (2007). Brain evolution and intelligence in primates. *Integration of comparative neuroanatomy and cognition*, 33-53.
- Jocković, M., Ognjanović, Z., & Stankovski, S. (1997). *Veštačka inteligencija: inteligentne mašine i sistemi*. Krug.
- Jones E.G., and Mendell, L.M. (1999). Assessing the Decade of the Brain Science. 284: 5415, pp. 739.
- Lević, Z. (1994). *Osnovi savremene neurologije*., Univerzitet u Beogradu.
- Licklider, J.C.R. (1960). Man-Computer Symbiosis. In: *Transactions on Human Factors in Electronics*, volume HFE-1, pp. 4–11.
- Maurice, V., Allan, H.R., & Raymond, D.A. (2001). Adams and Victor's principles of neurology. *McGraw-Hill Companies, Inc*, 1387, 1279.
- Mesulam, M. (2000). *Principles of Behavioral and Cognitive Neurology*. Oxford University Press.
- Mesulam, M.M, Nelson M.J., Hyun, J., Rader, B., Hurley, R.S., Rademakers, R., Weintraub, S. (2019). Preferential Disruption of Auditory Word Representations in Primary Progressive Aphasia with the Neuropathology of FTLTD-TDP Type A. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 32(1), 46.
- Milosavljević, M. (2015). *Veštačka inteligencija*. Univerzitet Singidunum, Beograd.
- Nitz, J.C., Kuys, S., Isles, R., & Fu, S. (2010). Is the Wii Fit™ a new-generation tool for improving balance, health and well-being? A pilot study. *Climacteric*, 13(5), 487-491.
- Olejnickz, P. (2006). Neurophysiologic basis of EEG. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 23, 186-189
- Pels, E.G., Aarnoutse, E.J., Ramsey, N.F., & Vansteensel, M J. (2017). Estimated prevalence of the target population for brain-computer interface neurotechnology in the Netherlands. *Neurorehabilitation and neural repair*, 31(7), 677-685.
- Rao, R. P., Stocco, A., Bryan, M., Sarma, D., Youngquist, T. M., Wu, J., & Prat, C. S. (2014). A direct brain-to-brain interface in humans. *PloS one*, 9(11), e111332.
- Raković, D., Skokljek, A., i Đorđević, D. (2010). Uvod u kvantno-informacionu medicinu sa osnovama kvantno-holografske psihosomatike, akupunturologije i refleksologije ECPD.
- Schalk, G. (2008). Brain–computer symbiosis. *Journal of neural engineering*, 5(1), P1.
- Shepherd, G.M. (2015). *Foundations of the neuron doctrine*. Oxford University Press.
- Lin, S., Liu, J., Li, W., Wang, D., Huang, Y., Jia, C., Li, Z., Murtaza, M., Wang, H., Song, J., Huang, K., Zu, D., Lei, M., Hong, B. & Liu, Z. (2019). A Flexible, Robust, and Gel-Free Electroencephalogram Electrode for Noninvasive Brain-Computer Interfaces. *Nano letters*, 19(10), 6853-6861.
- Vidal, J. (1973). Toward direct brain-computer communication. *Annu Rev Biophys Bioeng*, 2:157-180.

BRAINS IN A VAT?

Kostić Dedić Svetlana¹, Velimir Dedić²

¹CHC Zvezdara, Department of Neurology, Dimitrija Tucovića 161, 11050 Belgrade, Serbia,
svetlana.kostic.dedic@gmail.com,

²University PIM, Faculty of Computer Science, despota Stefana Lazarevića bb, 78000 Banja Luka,
Bosnia and Herzegovina

ABSTRACT

Our brain is what make us human. It gives rise to our thoughts, movement and desires, store our memories and enable us to navigate our world every day. In the past twenty years neuroscience has made significant progress on understanding human brain function. Yet despite decades of research-the brain remains largely unknown. The computational powers of computers have increased exponentially in this same period. It is of no surprise that research advancements in brain-computer interface (BCI) technology are developing. This technology till now is confined to the rehabilitative medicine (where is use to support mobility and communication of severely disabled persons) and the computer gaming industry (where is use for passive assessment of cognitive state). Prominent examples of BCI that use stimulation include the cochlear implant and deep brain stimulators. Does the brain is a computer? Does the computer has its own intelligence? Connecting our brains directly to technology may be a natural progression of how humans have augmented themselves with technology over the ages? At the end or is it at the beginning: how do we know we are not brains in a vat?

Kewwords: brain-computer interface