

Umjetni neuroni, simulirani mozgovi i računala - zašto nam to treba?

Ivana Kajić

Bernstein Center for Computational Neuroscience

Ukoliko pri rješavanju ovog problema odlučimo zaviriti u ljudski mozak i pokušati razumjeti što se u njemu događa prilikom raspoznavanja čovjeka na slici, tada se više ne nalazimo u okvirima umjetne inteligencije odnosno računarske znanosti nego računarske neuroznanosti.

Ljudski mozak je najzagonetniji organ u našem tijelu: zahvaljujući njemu učimo strane jezike, snalazimo se u gradu koji posjećujemo po prvi puta i osjećamo kako nam trnci prolaze tijelom kada vidimo osobu koja nam se sviđa. Mozak nam također omogućuje da kažemo da je jagoda crvena, a nebo plave boje i da kada netko kaže da mu je "sjekira pala u med", zapravo ne misli na to da je slučajno ispustio sjekiru u med.

Navigacija, učenje, prepoznavanje emocija i verbalna komunikacija samo su neki od zadataka s kojima se susrećemo svaki dan i koji nam se mogu činiti vrlo banalni jer ih obavljamo automatski i bez puno razmišljanja. Međutim, objasniti što se događa u mozgu kada smo suočeni s takvim zadacima nije nimalo jednostavna zadaća. Kako bismo to učinili, prvo moramo odgovoriti na niz pitanja: Kako točno mozak dobiva informacije iz okoline? Kako odlučuje na koji se prizor, rečenicu ili sliku fokusirati? Na koji se način informacije spremaju u mozak, i kasnije, po potrebi, pozivaju? Kako uopće izgleda "jedna informacija" u mozgu?

Niz ovakvih i sličnih pitanja intrigira znanstvenike raznih disciplina kojima

je zajednički interes istraživanje moždanih funkcija i struktura. Njihova motivacija i ciljevi mogu biti vrlo različiti, na primjer, neki žele razumjeti način na koji mozak rješava neki problem da bi ga mogli implementirati u robote, dok drugi žele razumjeti neki poremećaj centralnog živčanog sustava kako bi našli pogodnu terapiju za svoje pacijente. Među neuroznanstvenike spadaju ljudi različitih zanimanja od liječnika, biologa, ekonomista, informatičara i računalnih inženjera i mnogih drugih. U ovom tekstu ćemo se osvrnuti na računalnu neuroznanost, koja ujedinjuje računalnu znanost, fiziku, matematiku, kognitivnu znanost i filozofiju s ciljem razumijevanja načina rada ljudskog mozga.

Računarska neuroznanost

Računala i računalne metode u znanosti imaju važnu ulogu, a bez njih je teško zamisliti razvoj neuroznanosti. Neki od primjera su: tehnike koje se koriste za snimanje moždane aktivnosti, poput fMRI-ja i EEG-a bi pružale puno manje informacija bez naknadne obrade signala uz pomoć računala. Signali koje očitavamo takvim mjerenji-

ma su mješavina 'čistih' moždanih signala koji nas interesiraju i šuma koji proizlazi iz nesavršenosti samih uređaja s kojima obavljamo snimanje. Zahvaljujući računalima možemo smanjiti utjecaj šumova i ekstrahirati informativan sadržaj.

Razvoj računalne znanosti sredinom 20. stoljeća omogućio je unaprjeđenje metoda koje se koriste u znanosti (npr. obrada podataka), a s druge strane se razvio novi smjer u sklopu računarske znanosti koji se ispreplitao s psihologijom i tako kreirao ideju umjetne inteligencije. Umjetna inteligencija je grana računarske znanosti koja se bavi osmišljavanjem i analizom sustava koji pokazuju inteligentno ponašanje. Iako se oko definicije inteligentnog ponašanja još i dan danas lome koplja, većina znanstvenika se slaže oko toga da bi inteligentni agenti trebali pokazivati ljudski ili bolji performans pri rješavanju određenog problema. Pri tome, agenti ne moraju koristiti iste metode i znanja kao i ljudi. Uzmimo za primjer prepoznavanje ljudi na slici - nešto što će i mala djeca vrlo uspješno učiniti, računalu se može činiti kao veliki izazov. Računalni program koji učitava sliku i označava ljude na toj slici mora imati preprogramirano znanje o mogućim oblicima, dijelovima i dimenzijama ljudskog tijela, o tome kako odjeća mijenja izgled oblika tijela i mnogim ostalim karakteristikama koje mu se sve moraju eksplicitno navesti. Ukoliko pri rješavanju ovog problema odlučimo zaviriti u ljudski mozak i pokušati razumjeti što se u njemu događa prilikom raspoznavanja čovjeka na slici, tada se više ne nalazimo u okvirima umjetne inteligencije odnosno računarske znanosti nego računarske neuroznanosti.

Računarska neuroznanost koristi računala da bi modelirala i simulirala biološke procese koji se odvijaju u mozgu, s ciljem njihovog boljeg razumijevanja. Simulacije najčešće obuhvaćaju pojedinačne neurone ili grupe neurona koji su međusobno povezani sinapsama te zajedno obavljaju određenu funkciju ili su dio iste moždane

strukture. Prvi korak u ovom procesu je matematičko modeliranje koje zahtjeva detaljnu analizu biološkog procesa koji želimo objasniti i nužno ne uključuje korištenje računala. Biološki proces izrazimo u vidu matematičkih formula u kojima se očituju odnosi između varijabli. Definiramo koje su ulazne, a koje izlazne veličine u procesu. Matematički izražen proces je naša pretpostavka i odgovara znanstvenoj hipotezi. Drugi korak, nakon što smo formalno definirali biološki proces, uključuje korištenje eksperimentalne metode ili računalne simulacije da bi provjerili točnost naše hipoteze. Eksperimentima možemo steći nova znanja o biološkom procesu koja onda možemo integrirati u računalnu simulaciju.

Umjetni neuroni

Da bi bolje razumjeli kako izgleda postupak matematičkog modeliranja jednog biološkog procesa i uloge eksperimenta u njegovom objašnjavanju, prvo ćemo zaviriti u davnu 1952. godinu. Te godine su dva britanska znanstvenika na Sveučilištu u Cambridgeu, Hodgkin i Huxley, odlučili matematički opisati električne procese koji se odvijaju u živčanom sustavu divovske lignje [HH]. Veliki promjer aksona te lignje omogućio im je snimanje širenja akcijskih potencijala, koji bi inače u manjim organizmima bili jedino dostupni uz pomoć sofisticirane tehnologije koja tada još nije postojala. Njihov cilj je bio objasniti nastanak akcijskog potencijala. Izrazili su biološke komponente živčane stanice u vidu fizikalnih varijabli na sljedeći način; bilipidni sloj stanične membrane je prikazan kao električni kapacitet, ionske kanale osjetljive na promjenu napona kao električni otpor, elektrokemijske promjene kao naponske izvore. Ovisnost između tih varijabli su izrazili u vidu sustava diferencijalnih jednadžbi. Koristeći eksperimentalnu metodu voltage clamp, pri kojoj se stanična membrana održava na određenom potencijalu, Hodgkin i Huxley su otkrili

kako akcijski potencijal nastaje izmjenom iona natrija i kalcija. To saznanje su inkorporirali u sustav jednadžbi i pokazali su da jednadžbama mogu reproducirati oblik akcijskog potencijala, sličan onome koji su snimili iz živčane stanice divovske lignje. Za ovo otkriće, Hodgkin i Huxley su nagrađeni Nobelovom nagradom, a njihov model neurona se i dalje koristi u simulacijama pojedinačnih neurona kao i većih umjetnih neuronskih mreža (npr. simulacije hipokampusa ili vizualnog korteksa).

Od ostalih modela neurona zastupljeni su jednostavniji leaky-integrate-and-fire (LIF) neuron i perceptron. Poput HH modela, LIF neuroni također simuliraju oblik akcijskog potencijala, no drastično aproksimiraju njegov oblik. Zbog svoje jednostavnosti i manjih zahtjeva za resursima, LIF neuroni se često koriste u simulacijama neuronskih mreža. Perceptron je najjednostavniji model neurona, koji ne pokušava simulirati biološke neurone nego je to matematički izraz inspiriran strukturom i radom biološkog neurona. Slično kao i biološki neuron, perceptron integrira i kombinira ulaz, te ukoliko ta kombinacija ispunjava određene uvjete perceptron pali ili ostaje u resting stanju. Paljenje se izražava jedinicom na izlazu perceptorna, a ostajanje u resting stanju nulom. Takav pojednostavljeni model se koristi u istraživanju načina na koji računala mogu učiti i raspoznavati uzorke, što je tema grane računarstva poznate kao strojno učenje.

Simulacije ljudskog i životinjskog mozga

Modeli neurona koji simuliraju kemijske i električne promjene na dendritima, aksonima i sinapsama pomažu nam razumjeti i objasniti fiziološka svojstva neurona. Ovisno o stupnju sličnosti njihovog rada s biološkim neuronima, ti modeli mogu biti veoma kompleksni i računalna simulacija samo jednog takvog neurona može zahtijevati resurse jednog prosječnog prijenosnog računala. S obzi-

rom na masovno paralelno procesiranje u mozgu i veliki stupanj povezanosti bioloških neurona, u računarskoj neuroznanosti se nerijetko simuliraju veće mreže neurona, koje oponašaju dijelove korteksa ili moždane strukture kao što su amigdala ili bazalni gangliji. Možemo ih koristiti, na primjer, za simulacije i analize neuroloških poremećaja kao što su multipla skleroza [MS], Parkinsonova [PB] ili Alzheimerova bolest [AB].

Umjetne neuronske mreže mogu se sastojati od par desetaka do par milijuna neurona. Blue Brain Project [BBP] na švicarskom sveučilištu EPFL bavi se simulacijom neuronske mreže jedne štakorove kortikalne kolumne. Kortikalna kolumna je mali vertikalni uzorak neokorteksa koji se sastoji od 6 slojeva različitih tipova neurona, kod štakora je to oko 10 000, a u čovjeka 60 000 neurona. Blue Brain Project nastoji što detaljnije integrirati znanja koja imamo o procesima jednog biološkog neurona; počevši od ekspresije gena odgovorne za sintezu proteina koji izgrađuju ionske kanale na membrani neurona do njihovih elektrofizioloških i morfoloških značajki. Zbog takvog nivoa preciznosti, simulacija takve mreže je vrlo zahtjevna te se odvija na superračunalima. Mišljenja znanstvenika oko potrebnog nivoa detalja neuronskih mreža su podijeljena. Jedni smatraju da se ljudsko ponašanje, kognicija i percepcija jedino može objasniti ukoliko su simulirani neuroni što sličniji biološkima. Tim pristupom se nastoji integrirati gigantska količina podataka dobivena eksperimentima na životinjama i ljudima, s ciljem da simulacija može reproducirati sve ono što se dobilo eksperimentima. S druge strane, postoji mišljenje da nije potrebno simulirati sve što znamo o pojedinačnim neuronima da bi mogli objasniti kako funkcionira npr. vid, pamćenje ili učenje. Zagovornici ovog pristupa smatraju da je potrebno koristiti minimalnu količinu empirijskih podataka koji su korisni u objašnjavanju funkcije ili organizacije mozga. Oni često koriste

pojednostavljene modele neurona, kao što su prije spomenuti LIF model ili perceptron čije je mreže jednostavnije simulirati.

Dva i pol milijuna LIF neurona korišteno je u najvećoj računalnoj simulaciji ljudskog mozga Spaun [SP] koji je nastao na kanadskom Sveučilištu u Waterloo. Ovaj model ljudskog mozga reproducira neke aspekte ljudske sposobnosti rješavanja problema na osam različitih kognitivnih zadataka. Drugim riječima, Spaun uspješno obavlja dio zadataka koji bi uspješno obavila većina ljudi, a griješi na onim zadacima na kojima bi griješila većina ljudi. Zadaci mu se predstavljaju kao slike na monitoru, a Spaun registrira zadatke preko integrirane kamere koja simulira oči. Svoja rješenja Spaun zapisuje mehaničkom rukom koju pokreće motorički korteks.

Na primjer, Spaun je u stanju zapamtiti niz brojk. Slično ljudima s većom točnošću reproducira brojeve s početka i kraja niza (recency effect) nego one u sredini. Nadalje, kada mu se u vidnom polju pokaže broj, može reproducirati taj broj rukopisom kojim je napisan ili vlastitim rukopisom, ovisno o naredbi koja mu je dana. Komponente Spauna se mogu razložiti na ekvivalente ljudskog mozga: vizualni korteks, primarno motoričko i osjetno polje, dorzolateralni prefrontalni korteks, bazalne ganglije i inferiorni temporalni (IT) korteks. Sve te komponente nastoje funkcijski simulirati ulogu svojih bioloških ekvivalenata. Iako aktivnost umjetnih neurona od kojih je Spaun sačinjen nije usporediva s aktivnošću pravih bioloških neurona zbog mnogobrojnih simplifikacija i pretpostavki, taj model predstavlja prvi korak u simulaciji umjetnih mozгова koji nastoje reproducirati ljudsko ponašanje.

Sljedeći koraci

O potrebi i želji za simulacijama funkcije, strukture i organizacije mozga govore i veliki novčani iznosi koji su nedavno uloženi u neuroznanstvena istraživanja diljem svijeta. Prethodno spomenuti Blue Brain Project na EPFL-u ove je godine sponzoriran od strane Europske komisije s jednom milijardom eura preko sljedećih 10 godina.

S druge strane oceana, predsjednik Sjedinjenih Američkih Država, Barack Obama, u travnju je ove godine financirao vrlo ambiciozan projekt rekonstruiranja aktivnosti neurona sa 100 milijuna dolara. Cilj projekta je da se mapiraju veze između svih 100 milijardi neurona, koliko se procjenjuje da ih ima u ljudskom mozgu. Takva mapa (engl. connectome) bi pokušala objasniti način funkcioniranja dijelova mozga na temelju detaljnog opisa povezanosti neurona.

Te novčane investicije služe za nabavu skupocjene opreme potrebne za snimanje moždane aktivnosti, unapređenje eksperimentalnih metoda s ljudima i životinjama koje su neprocjenjivi izvor informacija i obrazovanje stručnog kadra. Misija rasplitanja misterija koji obavlja rad ljudskog mozga zahtjeva rad znanstvenika sa širokim spektrom znanja i disciplina. Bez velike količine empirijskih podataka dobivenih EEG-om, fMRI-om ili nekom od laboratorijskih metoda računalno modeliranje mozga bilo bi neutemeljeno zbog nedostatka poveznice s biološkim sustavom. S druge strane, računalne simulacije efikasan su način potvrđivanja i istraživanja pretpostavki koje su temeljene na eksperimentalnim podacima. Računarska neuroznanost teži ujedinjavanju ovih dvaju ciljeva.

LITERATURA

[BBP] Blue Brain Project: <http://bluebrain.epfl.ch/page-52755-en.html>

[MS] Tabares Ospina and Hector Anibal (2011). Artificial Neural Networks Used to Study the Evolution of the Multiple Sclerosis, Artificial Neural Networks - Methodological Advances and Biomedical Applications, Prof. Kenji Suzuki (Ed.), ISBN: 978-953-307-243-

2, InTech, DOI: 10.5772/14952.

[PD] Cutsuridis V, Perantonis S (2006) A neural network model of Parkinson's disease bradykinesia. *Neural Netw* 19:354-74

[AD] Horn D, Ruppin E, Usher M, Herrmann M, (1993) Neural network modeling of memory deterioration in Alzheimer's disease

[SP] Eliasmith, C, Stewart T C, Choo X, Bekolay T, DeWolf T, Tang Y, Rasmussen, D (2012). A large-scale model of the functioning brain. *Science*. Vol. 338 no. 6111 pp. 1202-1205. DOI: 10.1126/science.1225266.

[HH] Hodgkin A L, The relation between conduction velocity and the electrical resistance outside a nerve fibre. *J Physiol*. 1939 Jan 14;94(4):560-570