

Računalna kreativnost

Petra Vranjić¹, Ivan Livaja², Zvonimir Klarin³

¹ Veleučilište u Šibeniku, Trg Andrije Hebranga 11, 22000 Šibenik, Hrvatska (pvranjic@vus.hr)

² Veleučilište u Šibeniku, Trg Andrije Hebranga 11, 22000 Šibenik, Hrvatska (ilivaja@vus.hr)

³ Veleučilište u Šibeniku, Trg Andrije Hebranga 11, 22000 Šibenik, Hrvatska (zklarin@vus.hr)

UDK: 004:159.954.4

Ovaj rad opisuje povijest i trenutno stanje razvoja računalne kreativnosti kao znanstvenog polja. Nadalje, dotiče se pripadnih tehnologija i razvojnih metoda, prikladnih za različita polja primjene kreativnih računalnih sustava. Prikazuje danas popularne metode razvoja računalne kreativnosti i kontekste u kojima se oni danas razvijaju. U konačnici rad opisuje postojeća polja primjene autonomne računalne kreativnosti, te njihov utjecaj na dotična polja rada, sa pregledom nekih od pitanja vezanih za budućnost koju kreativni računalni sustavi nose.

Ključne riječi: *računalna kreativnost, računalna umjetnost, generativna umjetnost, umjetna inteligencija, neuromorfno računarstvo, GAN*

1. Uvod

Riječ računalo kao takva opisuje specifičnu ulogu koju računala tradicionalno imaju, a to je računanje. Provođenje logičkih operacija je, na najosnovnijoj razini, ono što računalo radi. Logičke operacije i, kao njihovu izvedenicu, matematičke operacije susrećemo u svakodnevnom radu sa računalima, od profesionalne do osobne uporabe. Na još kompleksnijoj razini računala su daljnjim razvojem postala sposobna i za inteligentno ponašanje, na osnovi složenih algoritama za donošenje odluka i oblikovanje podataka, sa čime se u svakodnevnom životu susrećemo u vidu virtualnih asistenata, sustava za navigaciju, i sličnog. Sve ove uloge mogu se svesti na niz pravila, uputa, i ograničenja, te ovisno o implementaciji, rezultati njihove izvedbe mogu biti vrlo slični, ako ne i identični rezultatima koje bi ljudski trud proizveo u istim okolnostima. Računalna kreativnost dolazi slijedeća u ovome nizu približavanja računala čovjeku na kognitivnoj razini, no ona predstavlja veći izazov jer se njezin proces po svojoj prirodi ne može opisati algoritamski, za razliku od prethodnih oblika računarstva. Razlozi za to proizlaze iz osnovnog pitanja koje moramo razmotriti kako bismo uopće počeli razmišljati o dotičnoj temi: što je uopće kreativnost?

2. Definicija kreativnosti

U najkraćim crtama, koncept kreativnosti možemo definirati kao sposobnost za stvaranje posve novih, vrijednih ideja.¹ Ovisno o kontekstu, daljnja definicija novog, vrijednog, ili ideje može varirati. Primjerice, vrijednost neke kreativne ideje je u svojoj srži potpuno apstraktna. Vrijednost neke ideje može ležati u njejoj ljepoti, širini uporabe, jednostavnosti primjene, ili bilo čemu drugom. Nadalje, kreativnost se može promotriti i kao sposobnost za rješavanje nepredviđenih, nepoznatih situacija. Takva definicija je interesantna u kontekstu računalne kre-

1 Boden, M. A. (2009.) Computer Models of Creativity, AI Magazine, Vol. 30(3)/2009

ativnosti, jer se protivi principima rada po kojima računala tradicionalno operiraju – rutinski, po postojećem algoritmu. Međutim, zar i ljudski um ne donosi kreativne zaključke slijedeći određene logičke puteve, to jest algoritme? Po svemu sudeći, o konceptu kreativnosti i svemu što njega čini možemo još više naučiti kroz proučavanje rada računala i razmatranje načina na koje možemo računalo naučiti, uvjetno rečeno, da razmišlja i stvara na način sličan ljudima.

Računalna kreativnost kao znanstveno područje nastoji umjetnu inteligenciju povezati sa područjima u kojima tipično rade kreativni ljudi, stvarajući jedinstvene ideje. Trenutna definicija računalne kreativnosti, koja se s vremenom još uvijek mijenja, trenutno glasi: „Filozofija, znanost i inženjering računalnih sustava koji, preuzimajući određene odgovornosti, pokazuju ponašanje koje bi nepristrani promatrači smatrali kreativnim.“² Takva definicija sadrži dva ključna izraza, od kojih je prvi *odgovornost* – ona služi za razlučivanje kreativnih sustava od sustava koji se koriste za kreativni rad i sadrže funkcije koje same po sebi nisu kreativne. Drugi ključan izraz ove definicije je *nepristrani promatrači*, čija je uloga pošteno ocijeniti ponašanje ovih sustava, bez prirodne ljudske sklonosti da kreativnost promatraju kao isključivu ljudsku djelatnost. Naime, kreativnost je jedno od svojstava koja ljudska bića čine ljudima, te ju kao takvu ljubomorno čuvamo i ne nastojimo ju pripisati računalima.

Bez obzira na sustav koji ju sadrži, kreativnost se općenito može podijeliti na dvije međusobno uvjetovane podvrste definirane u odnosu na ideju³: „psihološka“ kreativnost i „povijesna“ kreativnost. Psihološka kreativnost uključuje ideje pojedinca koje su nove za tu osobu, bez obzira koliko je osoba ranije imalo tu istu ideju. Kako je kreativnost osnovna ljudska funkcija na psihološkoj razini, takva kreativnost uključuje svaku inteligentnu ideju koju ljudski um proizvede, od sastavljanja nove rečenice do rješavanja problema ili razumijevanja ulaznih informacija. Psihološka kreativnost je mnogo raširenija i puno značajnija za svakodnevni život i današnji računalni modeli su većinom usmjereni upravo na postizanje psihološke kreativnosti. S druge strane, povijesna kreativnost kao specijalni slučaj psihološke kreativnosti, odnosi se na ideje koje povijesno nikad prije nisu bile osmišljene. Povijesna kreativnost je od većeg značaja za cjelokupno čovječanstvo i vrlo je rijetka kod ljudi te se računalnim modelima u manjoj mjeri pokušava postići. Kako je kreativnost vrlo složena pojava i teško ju je postići današnjim računalnim modelima temeljenim na standardnoj von Neumannovoj arhitekturi, potrebno je promijeniti pristup računarstvu kako bi se elektronički uređaj doveo što bliže organskom računalu kao što je ljudski mozak.

3. Neuromorfno računarstvo

Primarni problem von Neumannove arhitekture u usporedbi sa ljudskim mozgom je problem uskog grla. Žargonski se procesor računala često opisuje kao njegov mozak, no to nije točno, barem ne u potpunosti. Naime, za razliku od biološkog mozga, računalni mozak (barem onakav sa kakvim se susrećemo u uobičajenoj računalnoj arhitekturi) uvelike je ograničen svojom podjelom na dvije odvojene jedinice, logičku i memorijsku. Procesor kao takav čini logičku jedinicu, dok je njegova memorijska nadopuna ostvarena u obliku RAM⁴ modula. Takav raspored ne samo da čini oponašanje rada mozga nemogućim, već i čini uređaj mnogo manje energetske učinkovitosti i neusporedivo sporijim radi pojave vremena čekanja (latencije) pri svakoj komunikaciji između dva navedena modula. Iz ovih razloga dosadašnji pokušaji razvoja

2 Colton, S.; i Wiggins, G. A. (2012.) Computational Creativity: The Final Frontier? *ECAI 2012*, Vol. 242/2012, str. 21 - 26.

3 Boden, M. A. (2004.) *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*, 2nd Edition, London: Routledge.

4 Memorija s nasumičnim pristupom (eng. *Random Access Memory*)

računala i računalnih programa sa sposobnostima kreativnosti i inteligencije nisu došli ni blizu performansama koje ljudski mozak po svojoj prirodi postiže. Najbliže tome došle su neuronske mreže. Princip njihovog rada može se ukratko opisati kao lanac stotina tisuća do milijuna procesorskih čvorova, inspiriranih neuronima, koji si međusobno prosljeđuju ulazne informacije i u konačnici pošiljatelju prvotnog unosa vraćaju ono što su „naučili“ te taj proces ponavljaju dok sve unesene podatke ne „nauče“ prikladno formulirati.

Konkretno, postavimo si jedan jednostavan teoretski primjer. Recimo da neuronsku mrežu želimo istrenirati da razlikuje sliku psa čivave od slike mafina s borovnicama (Slika 1). Koliko god sličnu kompoziciju te dvije slike imale, čovjeku je dovoljno svaku vidjeti jednom kako bi naučio kako pojedini subjekt izgleda, te ga znao razlučiti u različitim kontekstima.

Slika 1. Poznati internetski mem „Chihuahua OR Muffin?“



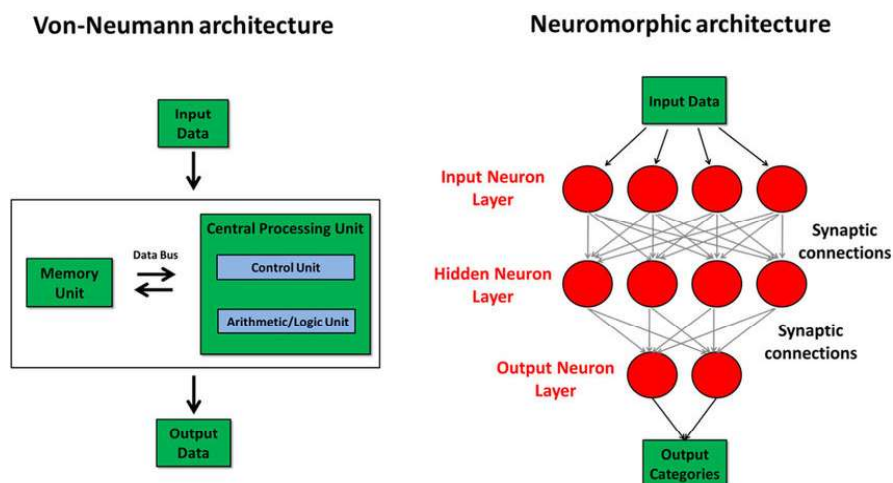
Izvor: Gri, A. (2018.) *Puppies Or Food? 12 Pics That Will Make You Question Reality*. Dostupno na: <https://www.boredpanda.com/dog-food-comparison-bagel-muffin-lookalike-teenybiscuit-karen-zack/> (pristup: 15.4.2021.)

S druge strane, neuronska mreža morala bi probaviti tisuće i tisuće primjera slika svakog subjekta kojeg želimo da nauči prepoznavati u procesu koji može trajati satima po svakom subjektu. S obzirom na to da više raznolikih primjera direktno uzrokuje veću preciznost prepoznavanja, ovakvo treniranje mreže moglo bi se rastegnuti do beskonačnosti.

Ovi rezultati nameću iduće pitanje: kako ovaj proces približiti ljudskom procesu učenja? Tu u igru ulazi neuromorfno računarstvo. Dok se način na koji mi kao ljudi učimo teško može formalno definirati, neuroznanost ima poprilično dobro razumijevanje fizioloških procesa učenja i stvaranja novih veza i ideja na kreativan način. Upravo to znanje predstavlja osnovu stvaranja neuromorfne arhitekture. Umjesto von Neumannskih procesorskih čipova i dodatne memorije, ovakva arhitektura svojim sastavom nastoji što bliže oponašati sastav mozga, kojeg u najosnovnijem opisu čine dvije stavke: neuroni i sinapse između njih (Slika 2). Njihova fiziološka funkcionalnost oslanja se u potpunosti na kontrolirano kretanje iona kroz sinapse do relevantnih neurona. U svojoj srži, taj proces se svodi na kretanje elektrona, što je upravo ono što definira ništa drugo nego elektronički uređaj. No ta poveznica ne znači da je moždanu arhitekturu lako prevesti u strujne krugove i čipove.

Neuromorfna računalna arhitektura se sastoji od višestruko povezanih jednostavnih jedinica koje tvore neuronsku mrežu oponašajući neurone i sinapse ljudskog mozga (Slika 2). U neuromorfnom modelu, imitacijske neurone čine pojedini elektronički uređaji, nazvani neuristori.

Slika 2. Ilustracija razlika između von Neumannove i neuromorfne arhitekture



Izvor: Valle, J. d.; Ramírez, J. G.; Rozenberg, M. J.; i Schuller, I. K. (2018.) Challenges in materials and devices for resistive-switching-based neuromorphic computing, *Journal of Applied Physics*, Vol. 124(21)/2018

Neuristori funkcioniraju na način da pri podražaju kojeg prepoznaju unutar svoje memorije putem umjetne sinapse odašilju signal u obliku skoka (eng. *Spike*) prema idućem neuronu koji sadrži povezane podatke. Bitna razlika neuristora u odnosu na procesorski čip koja ovo čini mogućim je činjenica da oni ne vrše ovakvu razmjenu informacija po zadanom sistemskom taktu. U von Neumannovoj arhitekturi taj takt je potreban kako bi se održala nesmetana komunikacija između svih pojedinih modula unutar računalnog sustava, no zbog međusobne neovisnosti neuristora, on u neuromorfnom sustavu nije potreban. Također, zbog paralelnog načina izvođenja operacija ovakvi sustavi su manje osjetljivi na pogreške⁵. U ovom sintetičkom mozgu, elektroni se kreću kroz veze nazvane sinaptorima. Nama najrelevantnija karakteristika u kontekstu definiranja računalne kreativnosti koju oni posjeduju je upravo ista karakteristika moždanih sinapsi, njihova takozvana sinaptička težina (eng. *Synaptic weight*).⁷ Težina sinapse posljedica je učestalosti prijenosa elektrona preko nje – što se takav transfer češće događa, to je sinapsa jača, odnosno teža. Ključan trenutak u životu kako sinapse tako i sinaptora je njihovo „urezivanje“ u memoriju računala, ili računala kojeg zovemo mozgom, pri čemu nastaje trajna veza između memorije dva pojedina neurona ili neuristora. Jezikom ljudske fiziologije, ovim putem nastaje dugoročno pamćenje pripadnih podataka i njihove povezanosti, što je osnova ranije spomenute psihološke kreativnosti.

Neuromorfni sustavi su iz opisanog vidno brži od sustava von Neumannove arhitekture, no u vidu energetske učinkovitosti imaju još prostora za poboljšanje. Za ilustraciju ovog problema, Intelov neuromorfni sustav *Pohoiki Springs* po funkcionalnosti usporediv je sa moždanim sposobnostima manjih sisavaca, no koristi do 500W snage u svom radu⁶. Ova potrošnja

5 Valle, J. d.; Ramírez, J. G.; Rozenberg, M. J.; i Schuller, I. K. (2018.) Challenges in materials and devices for resistive-switching-based neuromorphic computing. *Journal of Applied Physics*, Vol. 124(21)/2018

6 Intel. Intel Scales Neuromorphic Research System to 100 Million Neurons. Dostupno na: <https://newsroom.intel.com/news/intel-scales-neuromorphic-research-system-100-million-neurons/#gs.5hu11b> (pristup: 30.4.2021.)

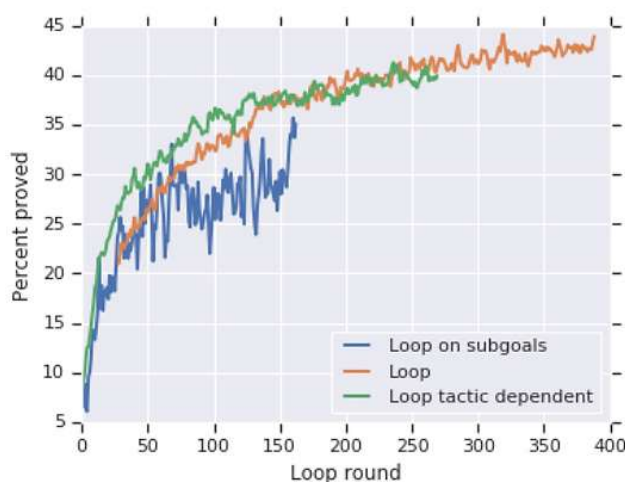
energije je u okvirima mnogih današnjih svakodnevnih računala von Neumannove arhitekture, no nije ni blizu energetske učinkovitosti ljudskog mozga odrasle osobe koja koristi svega 20W⁷ snage za svoju punu funkcionalnost.

4. Treniranje računala za kreativnost

Iako su neuromorfni sustavi po svojoj prirodi efikasniji od tipičnih računala, pojavili su se tek u prošlih 5 do 10 godina, dok su tradicionalne neuronske mreže i umjetna inteligencija imali desetljeća razvoja. Uz sve postojeće javno dostupne unaprijed trenirane umjetne inteligencije, sa tisućama i tisućama pojmova u svojim memorijama, neuromorfni sustavi, koji još uvijek postoje isključivo u privatnom vlasništvu korporacija poput Intela i IBM-a, još dugo neće biti primarni izbor za svrhu kreativnosti. Međutim, radi svoje javne dostupnosti, današnje neuronske mreže mogu se primijeniti u širokom nizu kreativnih polja uz minimalno dodatno treniranje.

Osnova svake neuronske mreže je programski jezik u kojem je ona napisana. Danas najuspješniji jezični model je *Generative Pre-trained Transformer 3* (GPT-3), razvijen od strane renomiranog kolektiva za razvoj umjetne inteligencije, OpenAI. U roku od šest mjeseci od svoje službene objave, GPT-3 korišten je za niz različitih svrha, uključujući pisanje zabavnih članaka, stvaranje tekstualnih video igara te pisanje stručnih radova. Zajedno sa svojim prethodnikom, GPT-2, korišten je za razvoj niz samostojećih umjetnih inteligencija, uključujući Facebookov Megatron, sposoban za kreativnu transformaciju ulaznog sadržaja koristeći više milijardi parametara po kojima je treniran. No kako ovakvi sustavi mogu pomoći globalnom stvaralaštvu u realnim, značajnijim primjenama?

Slika 3. Postotak dokazanih teorema u svakoj ponovljenoj iteraciji



Izvor: Bansal, K.; Loos, S.; Rabe, M. N.; Szegedy, C.; i Wilcox, S. (2019.) HOList: An Environment for Machine Learning of Higher-Order Theorem Proving. Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning, str. 454-463

4.1. Znanstveno razmišljanje u računalima

Prvi pojam kojeg većina ljudi asocira na kreativnost je umjetnost, no njena funkcija sa kojom se susrećemo svakodnevno, kako u sklopu rada računala tako i u ostalim životnim situacija-

7 Conrad, M.; Engl, E.; i Jolivet, R. B. (2017.) Energy use constrains brain information processing, IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), str. 11.3.1-11.3.3.

ma, je rješavanje problema. U svom najosnovnijem obliku, ovakva funkcionalnost može se pronaći u svakodnevnom *Microsoft Excelu* programskom paketu i njegovom programskom dodatku Solver. Ovakav rad je potpuno algoritamski te je usporedivo jednostavan u odnosu na sve što je danas moguće ostvariti računalnom kreativnosti na polju znanosti. Prikladno trenirane neuronske mreže približavaju se psihološkoj kreativnosti te danas polako nalaze primjenu u dokazivanju i pobijanju matematičkih teorema, uključujući neke za koje ljudi desetljećima nisu mogli naći univerzalno rješenje. Jedan od primjera pionira ovakvih primjena je okruženje koje koristi umjetnu inteligenciju za dokazivanje teorema *HOList*.⁸ Uporabom *HOList* okruženja demonstrirano je kroz niz iteracija, počevši od najjednostavnijih primjera, kako je moguće dokazati matematičke teoreme oponašajući ljudsko dokazivanje te se dalje razvijati uporabom strojnog učenja (Slika 3).

Slika 4. Umjetnička slika „Two Friends with potted plant“ iz 1991.g. generirana koristeći AARON



Izvor: Cohen, H. (1995.) The further exploits of Aaron, painter. *Stanford Humanities Review*, Vol. 4(2)/1995, str. 141–158

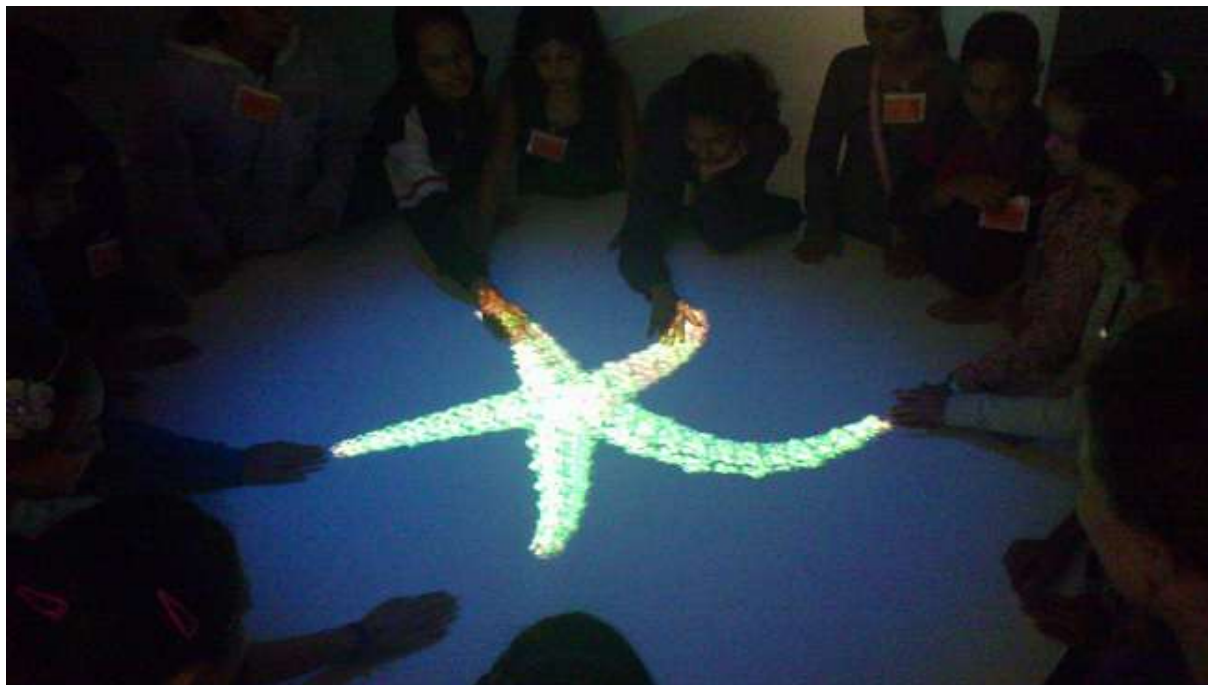
4.2. Računalna umjetnost

Računalno generirana umjetnost, također poznata i kao generativna umjetnost, je bila prva uspješna primjena računalne kreativnosti, još u 70-ima, kad su znanstvenici iz područja umjetne inteligencije bili protiv same ideje računalne kreativnosti. Pionir računalno generirane umjetnosti je program AARON, kojeg je 1973.g. razvio britanski umjetnik Harold Cohen. Prvotno je program bio napisan u programskom jeziku C da bi ga kasnije autor ponovno napisao koristeći programski jezik LISP. Inicijalne verzije programa su imale ograničene mogućnosti, međutim, kontinuiranim unaprjeđivanjem program se razvio do razine generiranja stilski konzistentnih umjetničkih slika (Slika 4). Cohen u svojoj literaturi pažljivo opisuje AARON-a izbjegavajući riječ „kreativan“, jer je osnova njegovog umjetničkog stila set instrukcija koje je Cohen napisao. Nadalje, AARON se od svojih nasljednika razlikuje po tome što ideja iza njegova nastanka nije bila vezana za razvoj umjetne inteligencije ili za estetsku vrijednost koju potencijalno može proizvesti, već za istraživanje kreativnog procesa samog autora, kao i ljudske psihe. Unatoč svemu tome, danas se AARON-a smatra začetnikom računalne kreativnosti, na temelju činjenice da je njegov proces, osim predodređenih instrukcija, autonoman.

8 Bansal, K.; Loos, S.; Rabe, M. N.; Szegedy, C.; i Wilcox, S. (2019.) HOList: An Environment for Machine Learning of Higher-Order Theorem Proving. *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning*, str. 454-463.

Vrijedi spomenuti i to da računalna umjetnost ne proizvodi samo vizualna djela, već može proizvesti glazbu, književnost ili multimedijalne sastave koristeći bilo koji dostupni digitalni ili fizički medij. U suvremenoj alternativnoj glazbi često se mogu naći generativna djela, koja je u 90-ima popularizirao visoko uspješni engleski glazbenik i glazbeni producent

Slika 5. Mimetic Starfish reagira na taktilne podražaje publike



Izvor: Brown, R. (2015.) The life of the mimetic starfish, 2000–2012, *Artificial life*, Vol. 21(3)/2015, str. 285-288.

Brian Eno. Na strani literarne umjetnosti, rastuću popularnost danas postiže program *AI Dungeon*, interaktivna tekstualno bazirana igra koja samostalno piše priče u kojima korisnik može sudjelovati kao jedan od likova te svojim odabirima utjecati na ishod.

Danas se računalna umjetnost na osnovi pripadnog umjetničkog procesa može razvrstati u više različitih podskupina, ovisno o načinu na koji ljudski sudionici sudjeluju tokom nastanka konačnog djela. Među svima njima posebno se ističu evolucijska i interaktivna umjetnost. Evolucijska generativna umjetnost funkcionira potpuno autonomno, na način sličan evolucijskim algoritmima, tako da u svome procesu bira između niza nasumično generiranih segmenata koje spaja u konačno djelo, na osnovi „znanja“ koje ima o pravilima pripadnog umjetničkog medija. Zahvaljujući beskonačnom nizu posve nasumičnih kombinacija boja, oblika, tonova, ili bilo čega drugog čime se dani digitalni umjetnik koristi u svome stvaranju, sposoban je kao rezultat stvoriti djela koja ljudski um prethodno doslovce ne bi mogao niti zamisliti, kamoli izvršiti. S druge strane, interaktivna umjetnost, kako njeno ime nalaže, korisnici ili „publika“ direktno sudjeluju u kreativnom procesu računalnog sustava, te konačan ishod mogu oblikovati u skladu sa svojim preferencijama. Interaktivna generativna umjetnost može i samostalno reagirati na podražaje, kako čini *Mimetic Starfish* Richarda Browna (Slika 5). Radi se o promjenjivoj svjetlosnoj projekciji morske zvijezdače koja je trenirana da se ponaša kao prava zvijezdača ovisno o taktilnim i auditivnim podražajima iz svoje okoline.

Slika 6. Razvoj sposobnosti GAN modela



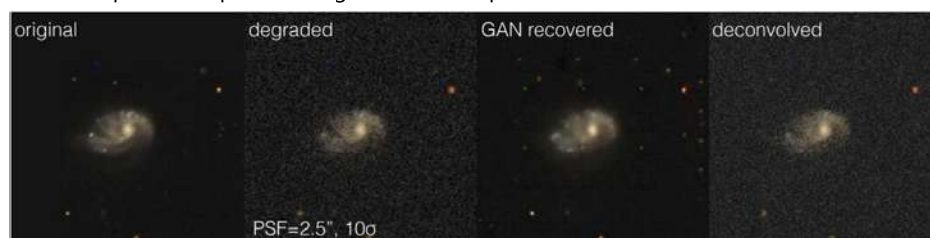
Izvor: Goodfellow, B. I.; Pouget-Abadie, J.; Mirza, M.; Xu, B.; Warde-Farley, D.; Ozair, S.; Courville, A.; i Bengio, Y. (2020.), Generative Adversarial Networks, Communications of the ACM, Vol. 63(11)/2020

5. GAN razvojni okvir

U konačnici, vrijedi spomenuti i danas najnapredniji oblik računalne kreativnosti, *Generative adversarial networks* (GAN) okvir za procjenu generativnih modela. Radi se o obliku treniranja neuronskih mreža kojeg je 2014. razvio Ian Goodfellow sa svojim suradnicima⁹. Ukratko, radi se o procesu treniranja dvije različite neuronske mreže u obliku igre nulte sume, što znači da se tokom treniranja očekuje da će jedna od mreža biti „pobjednik” a druga „gubitnik”, to jest da će jedna proizvesti ljudima uvjerljiviji rezultat, ili ponuditi što točniji odgovor. Osim generiranja posve novih fotografija, crteža, zvukova ili slično, GAN se može koristiti i za poboljšavanje kvalitete i razlučivosti postojećih podataka. Slika 6 prikazuje brzinu povećanja sposobnosti GAN modela kroz razvoj u relativno kratkom vremenu.

Danas se GAN sustavi često koriste za zabavu, što je vidljivo iz svakodnevno rastuće popularnosti „This ____ does not exist” web stranica, putem kojih GAN sustavi uživo generiraju nove i jedinstvene slike ljudi, mačaka, torbi, ili bilo kojeg drugog pojma, sa faktorom zabave sačinjenim od činjenice da, koliko god dobro treniran GAN model bio, uvijek postoji mogućnost da proizvede rezultat sa greškama koje izazivaju smijeh. Naravno, ovako moćan alat našao je svoju svrhu i u nizu različitih znanstvenih polja i industrija. U konzervaciji starih slika i fotografija, GAN modeli su korišteni za ispravljanje mrlja i drugih oštećenja koja su nastala tokom desetljeća ili stoljeća kroz koja je subjekt konzervacije postojao. U industriji video igara, koristi se za poboljšavanje vizualne razlučivosti modela i tekstura starijih igara, kako bi bila grafički prikladnije za suvremene okolnosti. U medicini, postoje GAN modeli razvijeni za prepoznavanje prisutnosti glaukoma u uvjetima u kojima bi ju ljudska percepcija previdjela.

Slika 7. Usporedba oporavka degradirane slike pomoću GAN modela i konvencionalne dekonvolucijske metode



Izvor: Schawinski, K.; Zhang, C.; Zhang, H.; Fowler, L.; i Santhanam, G. K. (2017.) Generative adversarial networks recover features in astrophysical images of galaxies beyond the deconvolution limit, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, Vol. 467(1)/2017, str. L110–L114

9 Goodfellow, I. J.; Pouget-Abadie, J.; Mirza, M.; Xu, B.; Warde-Farley, D.; Ozair, S.; Courville, A.; i Bengio, Y. (2014.) Generative Adversarial Nets, Advances in Neural Information Processing Systems, Vol. 27

GAN modeli često se koriste i u modnom dizajnu i u dizajnu interijera. Jedno od najimpresivnijih postignuća GAN modela je u astronomiji, gdje se koristi za poboljšavanje razlučivosti teleskopskih i satelitskih slika udaljenih objekata, te za prepoznavanje nebeskih tijela (Slika 7). Trenutno se koristi i na CERN-u, gdje je dokazano da može poboljšati rezultate simulacija na polju istraživanja fizike.¹⁰

6. Zaključak

Računalna kreativnost, u bilo kojem od opisanih oblika, ima potencijal uvelike pridonijeti širokom rasponu ljudskih djelatnosti. Međutim, šteta koju primjena uvjetno rečeno inteligentnih računala može učiniti česta je tema rasprava zadnjih godina.

Čest argument prezentiran u takvim raspravama je da će kreativna računala u potpunosti zamijeniti određene ljudske djelatnosti. Prvenstveno potrebno je razmotriti trenutno stanje umjetne inteligencije i kreativnog računarstva. Kako trenutno stoji, takvi sustavi ne mogu se pravilno i učinkovito trenirati bez direktne ljudske intervencije, te je njihove rezultate potrebno manualno filtrirati, te kako takvi nisu ni blizu stanja u kojem bi trebali biti da bi u potpunosti zamijenili bilo kakav ljudski posao. Nadalje, osim u premisama filmova, nije moguće da umjetna inteligencija sama od sebe preuzme kontrolu nad bilo kakvim sustavom.

Jedan realniji problem je pojava stvaranje lažnih identiteta ili krađe postojećih koristeći sadržaj stvoren od strane neuronskih mreža. Iako trenutno postoje načini na koje se umjetno generiran tekst ili slika mogu prepoznati, uključujući ljudsku intuiciju, prevare na društvenim mrežama još uvijek ih mogu zaobići. Jedna od efektivnih metoda koju društvene mreže mogu koristiti da spriječe ovakve pojave je traženje provjere jedinstvenih osobnih podataka korisnika. To, međutim, može predstaviti invaziju na privatnost pojedinih korisnika, te je definitivno potrebno dublje razmotriti ovaj problem.

Postoji mnogo toga za dublje razmotriti vezano za računalnu kreativnost, uključujući filozofiju iza njih. „Ako ono što AARON radi nije umjetnost, što to onda točno je, i na koje se načine, osim svojeg porijekla, razlikuje od „prave stvari?“ Ako ne razmišlja, što onda radi?“, rekao je Harold Cohen o svojoj vlastitoj rukotvorini.¹¹ Jesu li svi ovi sustavi istinski kreativni? Jesu li njihovi radovi istinski samostalno stvoreni? O tome ćemo sigurno više saznati u budućnosti, no zasad, to je ostavljeno pojedincu za razmatranje.

LITERATURA

1. Bansal, K.; Loos, S.; Rabe, M. N.; Szegedy, C.; i Wilcox, S. (2019.) HOList: An Environment for Machine Learning of Higher-Order Theorem Proving, *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning*, str. 454-463
2. Boden, M. A. (2004.) *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*, 2nd Edition. London: Routledge
3. Boden, M. A. (2009.) Computer Models of Creativity, *AI Magazine*, Vol. 30(3)/2009
4. Brown, R. (2015.) The life of the mimetic starfish, 2000–2012, *Artificial Life*, Vol. 21(3)/2015, str. 285-288

¹⁰ The ATLAS collaboration. (2019.) Deep generative models for fast shower simulation in ATLAS, 19th International Workshop on Advanced Computing and Analysis Techniques in Physics Research, str. 1-5

¹¹ Cohen, H. (1995.) The further exploits of Aaron, painter, *Stanford Humanities Review*, Vol. 4(2)/1995, str. 141–158

5. Cohen, H. (1995.) The further exploits of Aaron, painter, *Stanford Humanities Review*, Vol. 4(2)/1995, str. 141-158
6. Colton, S.; i Wiggins, G. A. (2012.) Computational Creativity: The Final Frontier?, *ECAI 2012*, Vol. 242/2012, str. 21-26.
7. Conrad, M.; Engl, E.; i Jolivet, R. B. (2017.) Energy use constrains brain information processing, *IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM)*, str. 11.3.1-11.3.3
8. Goodfellow, B. I.; Pouget-Abadie, J.; Mirza, M.; Xu, B.; Warde-Farley, D.; Ozair, S.; Courville, Aaron; i Bengio, Y. (2020.) Generative Adversarial Networks, *Communications of the ACM*, Vol. 63(11)/2020
9. Goodfellow, I. J.; Pouget-Abadie, J.; Mirza, M.; Xu, B.; Warde-Farley, D.; Ozair, S.; Courville, Aaron; i Bengio, Y. (2014.) Generative Adversarial Nets, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 27/2014
10. Gri, A. (2018.) Puppies Or Food? 12 Pics That Will Make You Question Reality. Dostupno na: <https://www.boredpanda.com/dog-food-comparison-bagel-muffin-lookalike-teenybiscuit-karen-zack/> (pristup: 15.4.2021.)
11. Intel. *Intel Scales Neuromorphic Research System to 100 Million Neurons*. Dostupno na: <https://newsroom.intel.com/news/intel-scales-neuromorphic-research-system-100-million-neurons/#gs.5hu11b> (pristup: 30.4.2021.)
12. Jordanous, A. (2014.) What is Computational Creativity? Dostupno na: https://www.creativitypost.com/article/what_is_computational_creativity (pristup: 30.4.2021.)
13. Pease, A.; Colton, S.; Warburton, C.; Nathanail, A.; Preda, I.; Arnold, D.; Winterstein, Daniel; i Cook, M. (2019.) The importance of applying computational creativity to scientific and mathematical domains, *Proceedings of the 10th International Conference on Computational Creativity*, ICCO 2019, str. 250-257
14. Schank, R. C.; i Cleary, C. (1995.) Making Machines Creative, u S. M. Smith; T. B. Ward; i R. A. Finke (ur.), *The Creative Cognition Approach* (str. 229-247), MIT Press
15. Schawinski, K.; Zhang, C.; Zhang, H.; Fowler, L.; i Santhanam, G. K. (2017.) Generative adversarial networks recover features in astrophysical images of galaxies beyond the deconvolution limit, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Vol. 467(1)/2017, str. L110-L114
16. The ATLAS collaboration. (2019.) Deep generative models for fast shower simulation in ATLAS, *19th International Workshop on Advanced Computing and Analysis Techniques in Physics Research*, str. 1-5.
17. Valle, J. d.; Ramírez, J. G.; Rozenberg, M. J.; i Schuller, I. K. (2018.) Challenges in materials and devices for resistive-switching-based neuromorphic computing, *Journal of Applied Physics*, Vol. 124(21)/2018

Summary

COMPUTATIONAL CREATIVITY

This paper describes the history and the current state of affairs regarding computational creativity as a field of science. Furthermore, it touches upon associated technologies and development methods, appropriate for various applications of creative computational systems. The paper de-

scribes some of today's most popular methods of developing computational creativity and the contexts in which said methods are used. Finally, the paper explains some of the many existing applications of autonomous computational creativity, and their influence on their respective fields of work, with an overview of some the questions relating to the future these systems may create,

Keywords: computational creativity, computer art, generative art, artificial intelligence, neuro-morphic computers, GAN