

# Umjetna inteligencija u videoigrama

---

Špehar, Krešimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:291686>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-11**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Fakultet informatike u Puli

Krešimir Špehar

## **Umjetna inteligencija u videoigrama**

Završni rad

Pula, rujan, 2022.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Fakultet informatike u Puli

Krešimir Špehar

## **Umjetna inteligencija u videoigrama**

Završni rad

**JMBAG: 0165079422, redoviti student**

**Studijski smjer: Informatika**

**Kolegij: Informatizacija uredskog poslovanja**

**Znanstveno područje: Društvene znanosti**

**Znanstveno polje: Informacijske i komunikacijske znanosti**

**Znanstvena grana: Informacijski sustavi i informatologija**

**Mentor: doc. dr. sc. Snježana Babić**

Pula, rujan, 2022.

## **SAŽETAK**

U današnje vrijeme ljudi sve više i više upotrebljavaju proizvode koji koriste umjetnu inteligenciju. Jedan od tih proizvoda su i videoigre, koje su u porastu korištenja te djeca i mladi ne mogu zamisliti svakodnevni život bez njih.

Cilj ovog rada je detaljnije objasniti i prikazati najpopularnije tehnike implementacije umjetne inteligencije u videoigrama. U radu je definiran pojam videoigara, njihova primjena te najpopularniji žanrovi. Spomenute su i ukratko objašnjene videoigre koje su kroz povijest najviše utjecale na razvoj umjetne inteligencije. Analizom tehnika umjetne inteligencije donesen je zaključak o njihovim prednostima i nedostacima. Također, detaljno je opisana umjetna inteligencija zajedno s različitim pristupima poput učenja pod nadzorom, učenja bez nadzora i ojačanog učenja. U zadnjem poglavlju rada objašnjena je moguća budućnost umjetne inteligencije u videoigrama.

**KLJUČNE RIJEČI:** videoigre, umjetna inteligencija, umjetna inteligencija u videoigrama, budućnost videoigara, tehnike umjetne inteligencije

## **ABSTRACT**

Nowadays, people are increasingly using products that use artificial intelligence. One of these products are video games, which are on the rise in use, children and young people cannot imagine everyday life without them.

The aim of this paper is to explain and show in more detail the most popular techniques for implementing artificial intelligence in videogames. The paper defines the concept of video games, their application and the most popular genres. The video games that most influenced the development of artificial intelligence throughout history were mentioned and briefly explained. An analysis of the artificial intelligence techniques led to a conclusion about their advantages and disadvantages. Also, artificial intelligence is described in detail along with different approaches like supervised learning, unsupervised learning and reinforcement learning. The last chapter of the paper explains the possible future of artificial intelligence in videogames.

**KEY WORDS:** video games, artificial intelligence, artificial intelligence in video games, future of video games, artificial intelligence techniques

# Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....  | 1  |
| 2. VIDEOIGRE.....  | 3  |
| 2.1. Definicija videoigara .....   | 3  |
| 2.2. Žanrovi .....   | 3  |
| 2.3. Pozitivne i negativne strane.....   | 6  |
| 3. UMJETNA INTELIGENCIJA .....   | 9  |
| 3.1. Definicija umjetne inteligencije .....  | 9  |
| 3.2. Različiti pristupi umjetnoj inteligenciji .....   | 11 |
| 3.2.1. Učenje pod nadzorom (eng. Supervised learning) .....  | 12 |
| 3.2.2. Učenje bez nadzora (eng. Unsupervised learning) .....   | 13 |
| 3.2.2. Ojačano učenje (eng. Reinforcement learning).....   | 14 |
| 4. UMJETNA INTELIGENCIJA U VIDEOIGRAMA .....   | 16 |
| 4.1. Značajne igre s umjetnom inteligencijom kroz povijest.....  | 17 |
| 4.1.1. Ferranti Mark 1 .....   | 17 |
| 4.1.2. Space Invaders .....  | 18 |
| 4.1.3. Galaxian .....  | 18 |
| 4.1.4. Pac-Man.....  | 19 |
| 4.1.5. Dune II .....   | 20 |
| 4.2. Tehnike umjetne inteligencije u današnjoj primjeni .....  | 21 |
| 4.2.1. Stroj konačnih stanja (eng. Finite state machine) .....   | 21 |
| 4.2.2. Monte Carlo stablo pretraživanja (eng. Monte Carlo tree search).....  | 22 |
| 4.2.3. Neuronske mreže (eng. Neural network) .....   | 24 |
| 4.2.4. Neizrazita logika (eng. Fuzzy logic) .....  | 25 |
| 4.2.5. Genetski algoritmi (eng. Genetic algorithm) .....   | 28 |
| 4.3. Prednosti i nedostaci umjetne inteligencije u videoigrama s obzirom na<br>odabrane primjere tehnika umjetne inteligencije ..... | 30 |
| 5. BUDUĆNOST UMJETNE INTELIGENCIJE U VIDEOIGRAMA.....  | 32 |
| 6. ZAKLJUČAK.....  | 34 |
| LITERATURA .....   | 35 |
| Popis slika .....  | 37 |
| Popis tablica .....  | 38 |

# 1. UVOD

U današnje vrijeme, umjetna inteligencija je vrlo popularan pojam te samim time postoje razne primjene umjetne inteligencije u našim životima. Primjenjuje se od zdravstva pa sve do proizvodnje, a najvažnije za ovaj rad, u videoigrama.

Videoigre i gaming industrija danas bilježe najveći porast u upotrebi i prodaji. Gotovo je nezamislivo provesti jedan dan na internetu bez nailaska na nekakvu vrstu igre. Budući da je potražnja za kvalitetnim videoigrama porasla, tako se i videoigre moraju razvijati prema boljem kao i tehnologija. Velik udio u kvaliteti današnjih videoigara ima upravo umjetna inteligencija i njezina primjena raznih algoritama i tehnika. Koncept umjetne inteligencije u videoigrama je donošenje odluka, odnosno danas se najviše bazira na oponašanju likova kao stvarnih igrača i pronalaženju puta te je danas vrlo teško pronaći igru koja ne koristi nekakav segment umjetne inteligencije u sebi.

Glavni cilj ovog završnog rada je detaljnije objasniti i prikazati najpopularnije tehnike implementacije umjetne inteligencije u videoigrama. Svaka spomenuta tehnika opisana je u radu te je provedeno teorijsko istraživanje u tu svrhu. Također u radu se objašnjavaju principi umjetne inteligencije te pojam videoigara.

Završni rad strukturiran je kroz sedam poglavlja. Prvo poglavlje predstavlja uvod u kojem se pobliže objašnjava svrha umjetne inteligencije u videoigrama i osnovna ideja završnog rada. Drugo poglavlje govori o videoigrama. U ovom poglavlju detaljnije se objašnjava pojam videoigre, zatim se govori o najpopularnijim žanrovima današnjice te se obrađuju prednosti i nedostaci samih videoigara i kako one utječu na razvoj čovjeka odnosno djece i mladih. Treće poglavlje predstavlja pojam umjetne inteligencije u kojem se ona definira. Također se govori o različitim pristupima umjetne inteligencije, točnije o strojnom učenju jer je ono daleko najvažnije za primjenu u videoigrama. Sljedeće poglavlje opisuje umjetnu inteligenciju u videoigrama. Prvo se detaljnije obrađuju videoigre poput Pac-Mana, Dune II i sličnih jer su značajne za razvoj umjetne inteligencije u videoigrama. Zatim se prolazi kroz najpopularnije suvremene tehnike koje se primjenjuju pri izradi i implementaciji umjetne inteligencije u videoigrama. U petom poglavlju opisuje se budućnost umjetne inteligencije u videoigrama. Proučava se utjecaj razvoja umjetne inteligencije na razvoj videoigara i

sve što nas čeka u budućnosti. Šesto poglavlje sadrži zaključak koji je napisan u odnosu na istraženu teoriju u ovom završnom radu. Na kraju rada, u sedmom poglavlju, nalazi se popis korištene literature te popis korištenih slika.



## **2. VIDEOIGRE**

### **2.1. Definicija videoigara**

Većina studija koristi uobičajenu definiciju videoigara: „Videoigre su primjenski računalni programi za zabavu. U pravilu su to interaktivne igre koje se odvijaju na osobnim računalima, specijaliziranim računalima (tzv. igraće konzole), prijenosnim (džepnim) igraćim konzolama, te na dlanovnicima, mobitelima i sličnom.“ („Videoigre“, bez dat.). Kako tehnologija sve više i brže napreduje, videoigre su u koraku s njom te su danas jedne od najpopularnijih izvora za druženje i zabavu pogotovo između djece i mladih ljudi.

Današnja istraživanja i statistika prema TrueList (2022) pokazuje da je gaming industrija u pobjedničkom nizu te posjeduje vrijednost oko 300 milijardi dolara. Najveći udio u tome ima pojava mobilnih igara te u posljednje vrijeme pandemija COVID-19. Od 2015. do 2022. godine broj igrača videoigara porastao je sa 2.03 milijarde na 3.09 milijardi. Procjenjuje se da će broj igrača do 2024. godine iznositi 3.32 milijarde. Prema američkim istraživanjima, približno 74% američkih kućanstava sastoji se od najmanje jednog člana obitelji koji igra videoigre. Najčešće su to igrači između 18 i 34 godine koji koriste videoigre od jedan do nekoliko sati tjedno.

Zanimljiva činjenica je da prodaja današnjih videoigara ide preko digitalnog svijeta, točnije 83% videoigara se prodaje preko digitalnih distribucijskih platformi kao što su Steam, Epic Games Store itd.

### **2.2. Žanrovi**

Današnje videoigre kategorizirane su po žanrovima dok se žanrovi temelje na osnovnim mehanikama koje se koriste u određenoj videoigri (Ke, 2009.). Također igra može biti kombinacija dvaju žanrova. Clement (2022) objavljuje listu koja predstavlja top 10 žanrova najzastupljenijih videoigara u 2022. godini:

## **1. Akcijske igre (eng. Action games)**

Dugi niz godina akcijske igre bile su jedne od najpopularnijih žanrova videoigara. Prema Technavio (2018), igre u ovakvom žanru stavljaju naglasak na izazivanje igračevih refleksa, vremena reakcije i koordinacije očiju i ruku. U ovakvim videoigramama igrač većinom kontrolira svog avatara koji može napredovati i skupljati razne stvari. Jedne od popularnijih videoigri ovog žanra su Call of Duty, Far Cry itd...

## **2. Igre igranja uloga (eng. Role-playing games, RPG)**

U ovom žanru igrač posjeduje svog imaginarnog avatara koji se nalazi u imaginarnom svijetu. Igrač može slobodno odabrati kako istraživati taj svijet te se vraćati na prethodno posjećena mjesta. Imaginarni svijet u ovim videoigramama uobičajeno je velik. To se može vidjeti na primjeru videoigrice poput The Witcher koja je ujedno jedna od najpopularnijih. Iz ovog žanra proizlaze podžanrovi poput ARPG, CRPG, MMORPG itd.

## **3. Sportske igre (eng. Sport games)**

Ovo je jedan od najpopularnijih žanrova. Sportske igre simuliraju tradicionalne sportove u kojima igrač kontrolira avatare igre dok protivničke momčadi kontrolira umjetna inteligencija (UI) ili drugi ljudi iz stvarnog života („Technavio“, 2018.). Najpopularnije sportske igre su FIFA, NBA, PES itd...

## **4. Simulacijske igre (eng. Simulation games)**

Igre ovakvog žanra su dizajnirane za simulaciju aktivnosti iz stvarnog svijeta. Ovaj žanr obuhvaća igre za izgradnju svijeta i igre koje koriste virtualnu stvarnost. Fokus je većinom na stvaranju impresivnog i realističnog svijeta. Videoigra The Sims je jako dobar pokazatelj što sve može postojati u jednoj simulacijskoj igri. Simulacijske igre danas služe ljudima za pripremu i trening te također pomažu u razvijanju određenih vještina poput rješavanja problema, percepcije, komunikacije itd.

## **5. Strateške igre u realnom vremenu (eng. Real-time strategy games, RTS)**

Ovaj žanr proizlazi iz strateškog žanra. Većinom su igre ovakvog tipa bazirane na tome da igrač upravlja svojim jedinicama koje dolaze iz baze kako bi uništio protivnika odnosno zauzeo određeni dio karte. Igrač često mora skupljati resurse te razvijati svoje građevine i nadograđivati jedinice unutar svoje baze. Dota 2 je videoigrica koja je puno doprinijela da ovaj žanr bude među popularnijima u svijetu.

## **6. Zagonetne igre (eng. Puzzle games)**

Zagonetne igre specifične su po tome što igrač mora razmišljati unaprijed i predvidjeti budućnost samog tijeka igre. Kako bi se igra završila, igrač treba pratiti priču te rješavati potrebne zadatke kako bi prelazio na iduće razine što je ključna mehanika ovog žanra. Videoigre poput Antichamber i The Witness su jedne od popularnijih.

## **7. Akcijsko-avanturističke igre (eng. Action-adventure games)**

Ovaj žanr mješavina je elemenata akcijskih i avanturističkih videoigara. Poznate su po tome što uključuju elemente poput igranja temeljenom na refleksima, rješavanje raznih zadataka, istraživanjem mape, akcije te skupljanjem i nadogradnjom raznih predmeta. Videoigre poput Assassin's Creed, Red Dead Redemption i GTA su odlični pokazatelji što sve igra ovakvog žanra može posjedovati. Danas je to jedan od popularnijih žanrova koji je zasigurno u usponu.

## **8. Kraljevske bitke (eng. Battle Royale games)**

Kraljevske bitke su novi žanr koji se pojavio tek prije nekoliko godina preko videoigara poput Fortnite-a, PUBG-a itd. Igre uključuju igrače koji se stvore na mapi zajedno s drugim igračima te uključuju elemente istraživanja i preživljavanja. Svi počinju s minimalnom opremom te im je cilj eliminirati druge igrače i što više napredovati u smislu svog avatara odnosno ostati jedini preživjeli. Danas su videoigre ovakvog tipa jedne od najprodavanijih na svijetu te se proizvodi sve više videoigara ovakvog žanra.

## **9. Igre utrka (eng. Racing games)**

Videoigre ovakvog tipa su poznate po utrkama gdje igrač sudjeluje u natjecanju sa svojim avатарom odnosno vozilom. Ovakve igre mogu se temeljiti na imaginarnim okruženjima ili na stvarnim trkačkim ligama poput F1. Lako se može prepoznati koje igre koriste trkaće mehanizme. Najpopularnija igre ovog tipa su Need for Speed, Forza Horizon i Gran Turismo.

## **10. Borilačke igre (eng. Fighting games)**

Borilačke igre poznati su žanr u kojem se igrač bori protiv drugog igrača ili avatara kojeg upravlja umjetna inteligencija. Igrač same igre mora naučiti tipke napada, obrane, protunapada itd. Također može nadograđivati svog avatara te izgraditi njegovu karijeru. Većinom se borba odvija u borbenim arenama. Neke od popularnijih videoigara ovog tipa su Super Smash Bros, Mortal Kombat i Tekken.

## **2.3. Pozitivne i negativne strane**

Budući da su danas videoigre postale dio svakodnevnog čovjekovog života pogotovo kod djece i mladih ljudi, one sa sobom donose pozitivne i negativne strane njihovog korištenja.

### **Pozitivne strane**

Jedna od najpozitivnijih strana u korištenju videoigara je socijalna interakcija s drugim ljudima. Unazad par godina socijalna interakcija u gamingu je još više došla do izražaja zbog pandemije COVID-19. Brojni igrači su upotrebljavali videoigre kako bi održali kontakt s bliskim prijateljima te kako bi pobjegli od stresa i mentalno se oslobodili od posljedica pandemije tj. lockdowna (Barr & Copeland-Stewart, 2021). Herodotou i sur. (2014) navode da mnogi igrači koriste komunikacijske procese u videoigrama kako bi što više sudjelovali u timskom radu te otkrili svoju društvenu stranu kao pojedinca koju dosad nisu imali.

Istraživanja pokazuju da ljudi koji igraju videoigre imaju bolje razvijenu memoriju, brže reflekse i da posjeduju bolju izvršnu kontrolu nego ljudi koji ne koriste

videoigre. Također se navodi da igrači postupno razvijaju leaderske sposobnosti, koncentraciju, motoriku, inteligenciju za rješavanje zadataka te dobivaju bolju orijentaciju za prostor (Boot i sur., 2008).

Videoigre pozitivno utječu i na djecu jer od rane dobi djeca razvijaju svoje znanje te sama igra može postići učinak motivacije za postignuća u edukaciji i kompetenciji (Chuang & Chen, 2007).

## **Negativne strane**

Kada se priča o negativnim stranama videoigara, prvo na što se pomisli je ovisnost. Ovisnost je jako prisutna danas jer su videoigre dostupne na svim platformama i uređajima u ljudskoj okolini. Iz ovisnosti zapravo proizlazi većina negativnih stvari što se tiče videoigara. Dokazano je da videoigre imaju negativan efekt u održavanju fokusa tijekom toka informacija kao npr. u nastavi što je prouzročeno ukupnim vremenom pred ekranom i ukupnim vremenom igranja. Bavelier i sur.(2011) u svom radu tvrde da prevelika izloženost akcijskim igrama može doprinijeti povećanju ADHD-a te također u akademskom smislu to može uzrokovati sporijim i manje motivirajućim radom.

Zamjenu za druženje uživo mnogi pronalaze upravo u videoigramama. Što više vremena igrači provedu igrajući, zaboravljaju osjećaj pravoga svijeta i socijalnih krugova. Ustanovljeno je da postoji veza između videoigrice i društvenih krugova te upravo ljudi koji većinski provode vrijeme na igrama imaju manji i ne toliko kvalitetan društveni krug (Kowert i sur., 2014). Često igrači znaju imati probleme sa socijalnom interakcijom te se krenu povlačiti sve više i više u virtualni svijet gdje nalaze svoju sigurnu zonu. Iz toga ponekad proizlazi i agresivno ponašanje i razvijanje raznih kompleksa prema samom sebi gdje igrač više ne razlikuje stvarni svijet od virtualnog (Loton,2007).

Videoigre mogu biti zabavna društvena aktivnost ako se uključe u zdrav način života (uključujući dovoljno sna, dobru prehranu i tjeleovježbu), umjesto da igranje postane smisao života. Nažalost, danas je pretilost u porastu te je sve više pretile djece i odraslih. Studije navode da postoji povezanost između provođenja vremena pred ekranom tj. igranja videoigara i pretilosti gdje čovjek zamjenjuje fizičke aktivnosti s

igranjem. Upravo tako si čovjek povećava rizik za pretilošću za gotovo duplo od običnog (Ray & Jat, 2010).

## 3. UMJETNA INTELIGENCIJA

### 3.1. Definicija umjetne inteligencije

Definicija umjetne inteligencija glasi: „Umjetna inteligencija (UI), dio računalne znanosti (informatike) koji se bavi razvojem sposobnosti računala da obavljaju zadaće za koje je potreban neki oblik inteligencije, tj. da se mogu snalaziti u novim prilikama, učiti nove koncepte, donositi zaključke, razumjeti prirodni jezik, raspoznavati prizore i dr.“ („Umjetna inteligencija“, bez dat.). Strojevi koji mogu samostalno učiti i rješavati probleme imaju kvalitete povezane s ljudskim razmišljanjem. Mogu se označiti pojmom umjetna inteligencija.

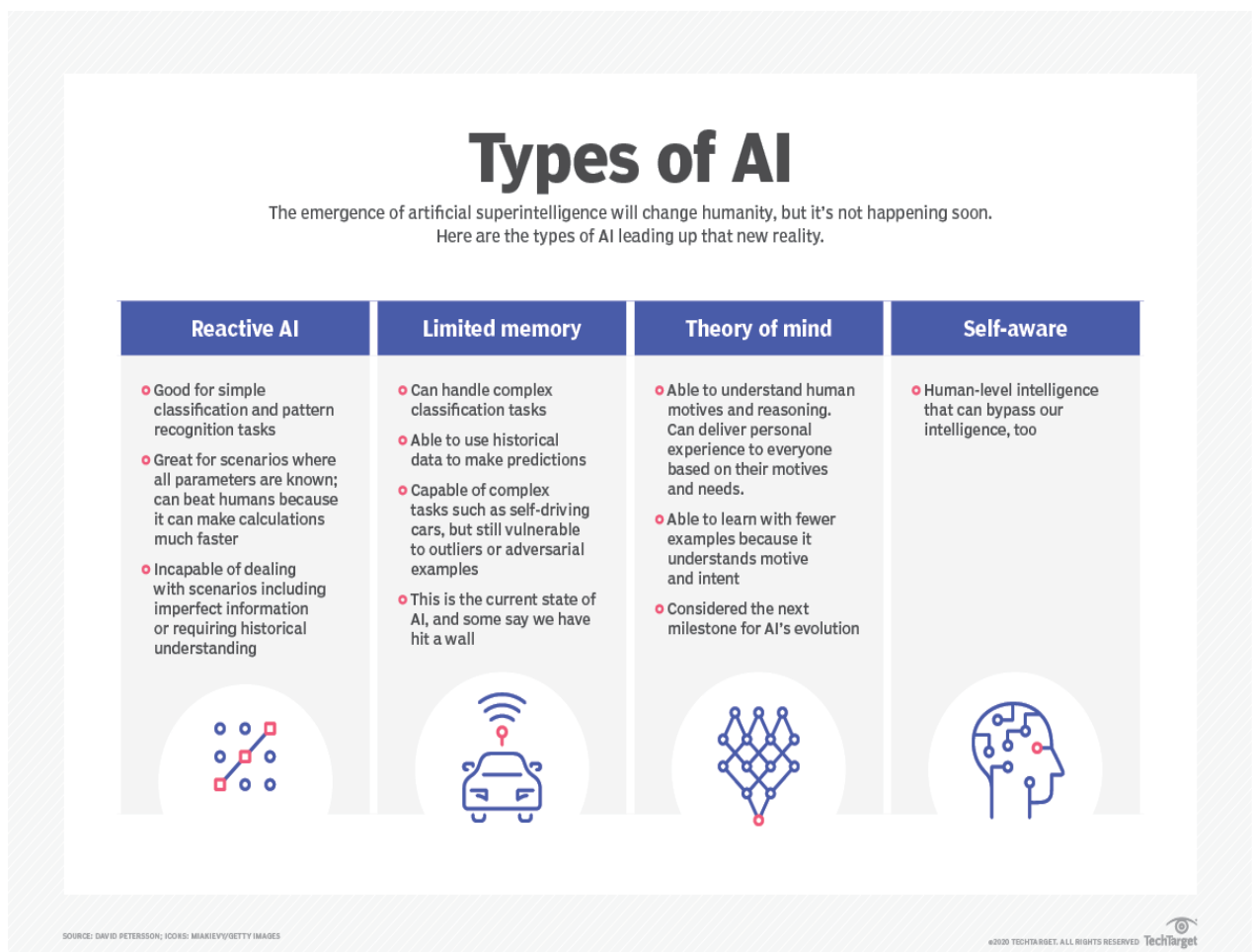
Jedan od važnijih dijelova umjetne inteligencije je strojno učenje koje računalima omogućuje učenje i promjenu novih podataka bez ljudske intervencije. Strojno učenje koristi računala za uzimanje ogromnih količina dinamičnih podataka. Dobra značajka strojnog učenja i umjetne inteligencije općenito je njihova sposobnost poduzimanja radnji i pojednostavljivanja odluka koje bi mogle dovesti do određenih ciljeva.

Umjetna inteligencija je stroj koji može obavljati zadatke, od najjednostavnijih do najsloženijih, slično kao što radi ljudska inteligencija. Umjetna inteligencija napravila je veliki napredak u oponašanju stvari kao što su razmišljanje, učenje i percepcije koje se mogu jasno definirati (Putica, 2018). Neki su ljudi skeptični prema sustavima umjetne inteligencije koji se razvijaju jer sve motoričke aktivnosti sadrže procjene temeljene na ljudskom iskustvu i emocijama, ali poznato je da danas nijedan stroj još nije u potpunosti obuhvatio navedeno.

Danas postoje mnogobrojne primjene umjetne inteligencije, s različitim razinama sofisticiranosti. Koristi se u vizualnim agentima, pametnim strojevima, biometriji, robotima, autima, zdravstvu itd. Algoritmi za preporuke koji sugeriraju što bi se ljudima sljedeće moglo svidjeti su popularne implementacije umjetne inteligencije, kao i razni chat botovi koji se pojavljuju na web stranicama ili u obliku pametnih asistenata u mobilnim uređajima kao što su Alexa, Siri itd. Umjetna inteligencija također se koristi u vremenskim i financijskim prognozama za pojednostavljenje proizvodnih procesa i smanjenje različitih oblika suvišnog motoričkog rada. Umjetna

inteligencija koristi se pri vožnji automobila, obradi jezika i ono najvažnije za ovaj rad, u videoigrama.

Hintze (2016) objavljuje članak u kojem dijeli umjetnu inteligenciju na četiri dijela (Slika 1):



Slika 1. Podjela umjetne inteligencije

Izvor: TechTarget (2022.)

## 1. Reaktivni strojevi (eng. Reactive machines)

Ono što je posebno kod ove vrste sustava umjetne inteligencije je to što ne posjeduju memoriju i dodjeljuju se samo zadacima (Burns, Laskowski & Tucci, 2022). Primjer ovog sustava iz stvarnog svijeta je Deep Blue, američki šahovski program tvrtke IBM koji je 1990-ih porazio ruskog šahovskog velemajestora Garrya Kasparova.



Deep Blue može identificirati figure koje se nalaze na ploči i može predvidjeti buduće poteze. Mana mu je da ne može nikako informirati buduće korake s prošlim potezima.

## **2. Ograničena memorija (eng. Limited memory)**

Burns i sur. (2022) tvrde da ovi sustavi umjetne inteligencije posjeduju memoriju, tako da mogu koristiti prošlo iskustvo za donošenje nekih budućih odluka. Neke od funkcija donošenja odluka u samovozećim automobilima osmišljene su na ovaj način. Mana ovih sustava je ta što su jednostavni podaci iz prošlosti zapravo prolazni i nisu sačuvani kao dio automobila iz koje se može učiti, kao što npr. čovjek stekne iskustvo tijekom godina vožnje.

## **3. Teorija uma (eng. Theory of mind)**

Teorija uma zapravo je psihološki pojam. Kada se taj pojam primijeni na umjetnu inteligenciju, to znači da će sustav imati socijalnu inteligenciju za razumijevanje naših osjećaja i stanja. Ova vrsta umjetne inteligencije moći će predvidjeti ljudsko ponašanje i namjere, što je prijeko potrebna tehnika za sustave umjetne inteligencije da postanu integralni članovi timova među ljudima (Burns, Laskowski & Tucci, 2022).

## **4. Svijest (eng. Self-awareness)**

U ovoj kategoriji, sustavi umjetne inteligencije dobivaju osjećaj sebe te posjeduju osjećaj svijesti (Burns, Laskowski & Tucci, 2022). Samosvjesni strojevi bi trebali znati svoje trenutno stanje, ali ova vrsta umjetne inteligencije zapravo još ne postoji jer istraživači prvo trebaju razumjeti svijest kako bi napravili sustave koji ih posjeduju. Hintze (2016) tvrdi da smo jako daleko od strojeva ovakvog tipa.

### **3.2. Različiti pristupi umjetnoj inteligenciji**

Danas je umjetna inteligencija veoma širok pojam stoga imamo različite pristupe prema njoj. Jedan od najbitnijih pristupa je strojno učenje koje je postalo

sveprisutno te se sve češće rješavanje problema i postupaka odvija preko strojnog učenja. Koncept strojnog učenja često se miješa upravo s umjetnom inteligencijom, ali treba znati da je strojno učenje zapravo dio nje. Znanost koja se bavi radom računala da djeluje ispravno bez ikakvog programiranja naziva se strojno učenje. Navedena znanost je jako bitna za razvoj umjetne inteligencije u videoigrama. U idućim poglavljima je objašnjena važnost i podjela strojnog učenja preko algoritama kao što su učenje pod nadzorom, učenje bez nadzora i ojačano učenje.

### **3.2.1. Učenje pod nadzorom (eng. Supervised learning)**

Jasan način da se shvati koncept nadziranog učenja upravo je izravno gledanje u informacije koje ga čine. Nadzirati znači promatrati i usmjeravati izvršavanje zadatka, aktivnosti ili projekta. U ovoj vrsti algoritma nadziru se modeli strojnog učenja koji proizvode pojedinu klasifikaciju. Kako bi se buduće instance predvidjele, model prije toga mora poprimiti informacije odnosno znanje. Model se podučava tako da koristi podatke iz određenog skupa podataka. Temelji se na usporedbi izračunatog izlaza i željenog ulaza. Učenje modela odnosi se na izračunavanje pogreške te nakon toga prilagođavanje pogreške kako bi se postigao željeni rezultat. Algoritam mjeri svoju točnost pomoću funkcije gubitka i prilagođava se dok pogreška ne bude dovoljno smanjena. Nasteski (2017) dijeli učenje pod nadzorom na dva dijela:

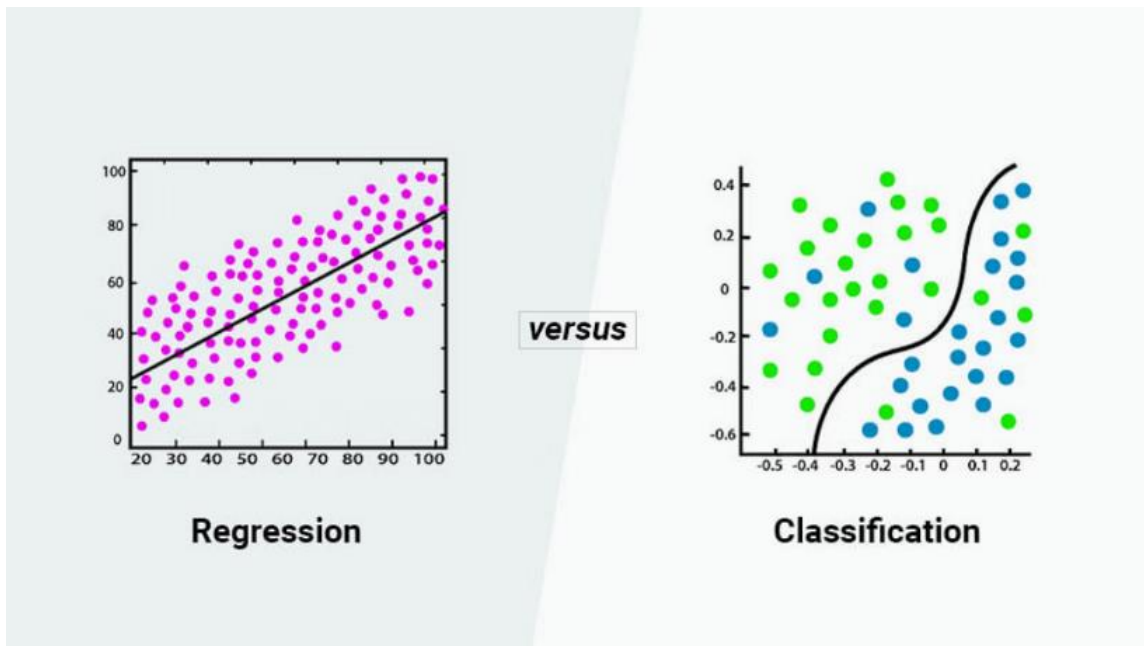
#### **Klasifikacija (eng. Classification)**

Klasifikacijski algoritam koristi se na testnim podacima za označavanje podataka u određene kategorije (Slika 2). Algoritam identificira određene elemente u skupu podataka i određuje kako bi se podaci trebali označiti. U klasifikaciji su algoritmi poput slučajne šume i stabla odlučivanja. Također strojevi za potporne vektore spadaju u tu skupinu.

#### **Regresija (eng. Regression)**

Regresija se koristi kako bi se shvatio odnos između varijabli koje mogu biti zavisne i nezavisne. Često se koristi za izradu prognoza, kao što je prihod od prodaje

za određenu tvrtku. Javatpoint (2020) navodi linearnu regresiju, logističku regresiju i polinomnu regresiju kao najpopularnije metode odnosno algoritme koji se danas koriste. Slika 2 predstavlja regresiju na primjeru varijabli.



Slika 2. Razlika klasifikacije i regresije

Izvor: Simplilearn (2022.)

### 3.2.2. Učenje bez nadzora (eng. Unsupervised learning)

Učenje bez nadzora je učenje informacija koje su čovjeku možda nevidljive da bi se vidjele golim okom. Model se ne nadzire, već ga se pušta da sam radi pomoću algoritama strojnog učenja kako bi otkrio informacije. Nadzirano učenje ima lakše algoritme od nenadziranog učenja jer model posjeduje vrlo malo informacija o podacima ili o očekivanim ishodom. Upotrebom učenja bez nadzora traže se stvari poput smanjenja dimenzionalnosti, otkrivanja srodnih članova i procjene gustoće u podacima.

Kada se uspoređuje učenje pod nadzorom s učenjem bez nadzora, učenje bez nadzora ima manje testova i manje modela koji se mogu koristiti kako bi se osigurala točnost rezultata modela. Stoga učenje bez nadzora stvara nekontrolirano okruženje jer strojevi stvaraju rezultate umjesto ljudi. Najveća razlika između učenja pod nadzorom i učenja bez nadzora je u tome što se učenje pod nadzorom bavi

označenim podacima, dok se učenja bez nadzora bavi neoznačenim podacima (Ghahramani, 2004). Označeni podaci posjeduju informacije, dok neoznačeni ne posjeduju nikakvu informaciju. Zbog toga učenje pod nadzorom ima klasifikaciju i regresiju, dok učenje bez nadzora ima samo grupiranje (eng. Clustering). Ibm (2022) definira grupiranje kao tehniku rudarenja podataka koja grupira nesvrstane podatke na temelju njihovih sličnosti ili razlika (Slika 3). Algoritmi grupiranja koriste se za obradu sirovih i neklasificiranih podataka u skupine predstavljene strukturama ili obrascima informacija. Algoritmi klasteriranja se dijele u isključive, iterativne, hijerarhijske i probabilističke.



Slika 3. Primjer grupiranja (clustering)

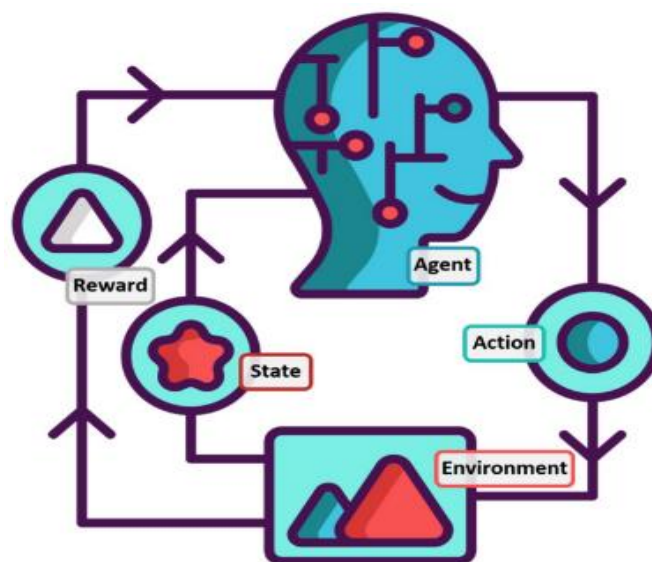
Izvor: iMerit (2021.)

### 3.2.2. Ojačano učenje (eng. Reinforcement learning)

Ojačano učenje je vrsta strojnog učenja koje uči rješavati probleme putem pokušaja i pogrešaka. Počinje interakcijom agenta s okolinom. Agent nastoji postići cilj u više koraka u okruženju (Wiering & Otterlo, 2012).

Na primjer, samovozeći automobil koji pokušava voziti cestom u stvarnom svijetu. Njegov cilj je omogućiti putnicima da izbjegnu prepreke na putu od kuće do

posla. Okolina ima stanje koje agent može promatrati, npr. uvjeti uključuju lokaciju automobila, uvjete na cesti i lokaciju drugih vozila. Agent percipira stanje okoline prema onome što vidi, čuje, osjeća ili razlikuje na druge načine. Agenti imaju poteze koji mogu promijeniti stanje okoline. Na primjer, agent može voziti naprijed, natrag, skrenuti lijevo ili desno. Sve te radnje mijenjaju položaj automobila na cesti u okolini. Osim toga, te radnje mogu utjecati na druga vozila i prepreke ako se sudare. U konačnici, agent prima signal nagrade kako se približava cilju. Agent koristi ove signale nagrađivanja kako bi odredio koje su akcije bile uspješne, a koje neuspješne. Na primjer, može se bodovati svaka jedinica udaljenosti kojom agent vozi putnika bliže odredištu. Također se mogu oduzimati bodovi zbog kršenja prometnih zakona, skretanja s rute ili sudara s preprekama. Zatim se ponavlja ovaj ciklus stanja, radnji i nagrada iznova i iznova sve dok agent kroz pokušaje i pogreške ne nauči kako učinkovito djelovati u okruženju (Slika 4). Cilj agenta je naučiti kako uvijek odabrati ispravnu akciju u bilo kojem stanju zadane okoline kako bi je približio cilju. Ojačano učenje razlikuje se od učenja pod nadzorom budući da se točan broj ulazno/izlaznih parametara nikada neće pojaviti, niti će se neoptimalne radnje eksplicitno ispraviti.



Slika 4. Ojačano učenje (reinforcement learning)

Izvor: Towards Data Science (2021.)

## 4. UMJETNA INTELIGENCIJA U VIDEOIGRAMA

Većina videoigara kao što su utrke, sportske i akcijske, imaju različite komponente koje pokreće umjetna inteligencija ili slične aplikacije, npr. neprijateljski roboti ili neutralni likovi (eng. NPC) (Das i sur., 2015). Glavni cilj korištenja umjetne inteligencije u videoigrama je pružiti igračima posebno iskustvo gaminga dok se bore međusobno na različitim mrežama. Osim toga, primjena umjetne inteligencije u videoigrama razvija povećanje interesa te tako proizlaze zadovoljniji igrači. Razvoj videoigrica i umjetne inteligencije raste s obzirom na to da utječu jedno na drugo. Za poboljšanje određenih dimenzija videoigara koristi se umjetna inteligencija, ali moderne računalne igre dizajnirane su za proučavanje vlastitog ponašanja što može poboljšati algoritme umjetne inteligencije. Ovo je samo jedan od oblika na koji se umjetna inteligencija razvija. Poboljšanje umjetne inteligencije ključni je korak prema tome da igre postanu inteligentnije, realističnije i interaktivnije.

Umjetna inteligencija radi na spremištu dostupnih informacija i koristi te podatke za poboljšanje avatara s kojima taj avatar može živjeti i na njemu izvoditi osnovne radnje (Safadi, Fonteneau & Ernst, 2015). Također jedna od bitnijih stvari u primjeni je pronalazak optimalnog puta u igrama. Algoritmima umjetne inteligencije mora se dati puno informacija, što otežava njihovu upotrebu u svakoj industriji. Podaci koje prikupljaju koriste se za izgradnju virtualnih svjetova u videoigrama koje uključuju realne scenarije, uzorke i radnje avatara u igricama. Algoritmi zatim koriste svoje znanje kako bi dali odgovarajuće odgovore na različite upite. Unatoč činjenici da umjetna inteligencija može učiniti mnogo stvari, informacije potrebne za treniranje algoritama nisu lako dostupne. Videoigre su odlično mjesto za vježbanje i poboljšanje tehnika umjetne inteligencije.

Danas su videoigre dobro proučene i lako je generirati informacije dok su ciljevi, nagrade i stanja jasno definirani. Došlo je do nevjerojatnog napretka u tehnologiji 3D vizualizacije, simulaciji temeljenoj na fizici, a odnedavno i virtualnoj i proširenoj stvarnosti u igrama. Prije deset godina nitko nije mogao zamisliti nevjerojatne igre koje programeri videoigara stvaraju uz pomoć virtualne stvarnosti, proširene stvarnosti, simulacije temeljene na fizici i 3D vizualizacije. Igračima je danas poželjno imati

videoigre koje su inteligentne i vizualno privlačne odnosno trebaju im videoigre koje oponašaju stvarni svijet. Pred programerima videoigara veliki je posao, a umjetna inteligencija mora pomoći u rješavanju problema oponašanja stvarnog svijeta. Da bi igre bile pametnije, realističnije i inteligentnije, potrebna je upotreba umjetne inteligencije zbog čega će programeri igara morati uključiti tehnike umjetne inteligencije u svoje igre. Programeri igara oduvijek su morali biti kreativni i fokusirati se na male detalje, ali današnji igrači također očekuju da njihove igre budu vrlo interaktivne i živopisne. Igre umjetne inteligencije moraju biti prilagodljive kako bi igra mogla promijeniti svoj scenarij i učiniti igru zanimljivijom za igrača. Tradicionalne vještine i tehnike razvoja igara i dalje su važne, ali će se morati uzeti u obzir i umjetna inteligencija. Traženje optimalnog puta, odlučivanje i NPC-evi su glavne karakteristike umjetne inteligencije u videoigrama. U idućim poglavljima prikazane su videoigre te tehnike koje su značajne za razvoj umjetne inteligencije u videoigrama.

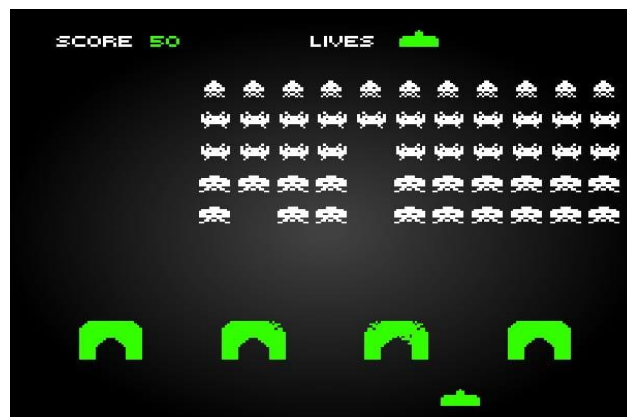
## **4.1. Značajne igre s umjetnom inteligencijom kroz povijest**

### **4.1.1. Ferranti Mark 1**

Mark 1 prvo je komercijalno dostupno digitalno računalo koje je proizvela britanska tvrtka Ferranti Ltd. 1951. godine isporučeno je sveučilištu Victoria koje ima sjedište u Manchesteru, a zatim prodano u SAD 31.3.1951. (ali nije stiglo do kasnog prosinca te godine). 1951.godine dr. Dietrich Prinz pomoću umjetne inteligencije napisao je računalnu igru koja se smatra jednom od najranijih, upravo na računalu Mark 1. Računalo nije moglo isprogramirati cijelu partiju šaha zbog svojih ograničenja. S Prinzom se mogu programirati samo problemi sa šah-matom. Računalni program za šah provjeravao je moguće poteze bijelog igrača pa tako i crnog gdje je postojalo na tisuće mogućnosti dok ne nađe rješenje. Program traje otprilike 15-20 minuta i ne može učiniti nekoliko stvari: rokadu, hvatanje dvostrukih pješaka, napredovanja pješaka i razlikovanje šah-mata od pat pozicije.

### 4.1.2. Space Invaders

Space Invaders jedna je od najutjecajnijih videoigara svih vremena (Slika 5). Svojom izlaskom u prodaju 1978. godine od japanske firme Taito, ne samo da je pomogla pretvoriti industriju videoigara iz male tržišne niše u globalnu industriju, već je uzrokovala početak zlatnog doba arkadnih igara. Igra je koristila različite razine težine i ponašanje umjetne inteligencije, što je bila prekretnica u razvoju UI videoigara. Neprijateljski izvanzemaljac postao je ikona gaming kulture koja predstavlja videoigre u cjelini. Razlog je pojavljivanje u toliko mnogo videoigara i različitih žanrova. Space Invaders je inspiracija za mnoge igre, a sama igra je mnogo puta ponovno izdavana. Dok je tehnološki napredak uvelike poboljšao grafiku i mehaniku, većine današnjih vodećih videoigara u gaming industriji nisu uspjele dotaknuti gaming kulturu kao Space Invaders.



Slika 5. Space Invaders

Izvor: iNews (2018.)

### 4.1.3. Galaxian

Namco je tvrtka iz Japana koja je izdala Galaxian igricu 1979. godine. Ovo je prva igra gdje se koristi poboljšana umjetna inteligencija. Neprijateljski brodovi imaju i svoje individualne osobnosti, često izlaze iz svojih formacija kako bi otišli na letjelicu (igrača). Također Galaxian je prva videoigra koja je u pravim bojama te ima bogatiju grafiku od prethodnih (Slika 6).

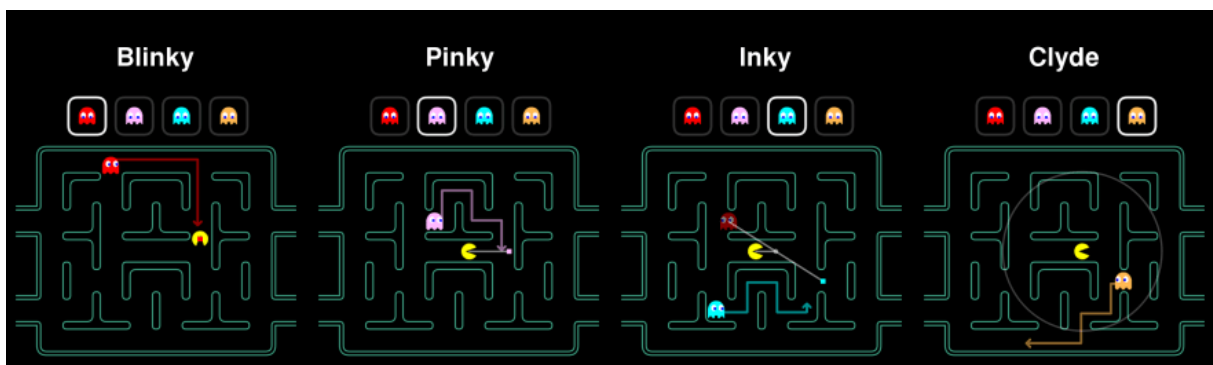




Slika 6. Galaxian  
Izvor: Raspberry Pi (2021.)

#### 4.1.4. Pac-Man

Pac-Man je videoigra koja je također izdana od tvrtke Namco. Izašla je u prodaju 1980. godine u Japanu te je jedna od najprodavanijih igri. Igra se odvija u velikom labirintu koji je ispunjen malim krugovima koje Pac-Man mora pojesti kako bi završio razinu. Međutim, u igri postoje četiri duha koja love Pac-Man-a te ga žele uhvatiti. Ako ga uhvate igra je gotova. Ova videoigra posebna je po tome što se pomoću umjetne inteligencije u igri koristi algoritam za kretanje duhova (Slika 7).



Slika 7. Kretanje duhova u Pac-Man igri  
Izvor: Dev (2018.)

U igri se nalaze četiri duha: Blinky, Pinky, Inky i Clyde. Crveni duh (Blinky) jednostavno slijedi Pac-Mana te ga pokušava uhvatiti. Ružičasti duh (Pinky) želi uhvatiti Pac-Mana tako što mu pokušava presjeći predviđeni put. Svijetloplavi duh (Inky) je jedinstven po tome što je programiran tako da ima nasumične kretnje te nitko ne može znati određenu rutu po kojoj će se kretati. Za zadnjeg duha narančaste boje (Clyde) možemo reći da ignorira Pac-Mana te tako prolazi labirintom.

#### 4.1.5. Dune II

Videoigra Dune II izdana je od tvrtke Westwood Studios 1992. godine. (Slika 8). Poznata je po tome što koristi umjetnu inteligenciju koja se ponaša dosta pasivno prema igraču sve dok ga ne vidi na karti. Zapravo ova igrice je preko korištene umjetne inteligencije donijela novi format u svijet videoigara i značajno ga promijenila jer ga i druge igrice poput Warcrafta i StarCrafta koriste. Također je jedna od prvih videoigara žanra strateških igrica u realnom vremenu. Današnje igre ovakvog žanra koriste podlogu od Dune II.



Slika 8. Dune II

Izvor: IndieRetroNews (2021.)

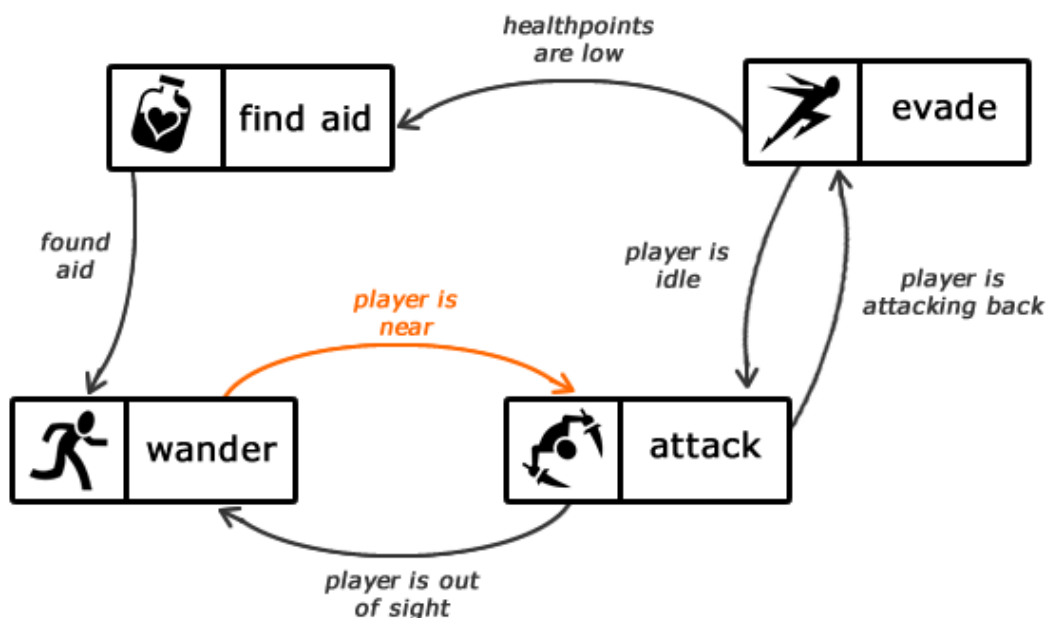
## 4.2. Tehnike umjetne inteligencije u današnjoj primjeni

### 4.2.1. Stroj konačnih stanja (eng. Finite state machine)

Strojevi stanja koriste se za simulaciju sekvencijalne logike u računalima. Imaju određeni broj stanja i mogu prelaziti iz jednog stanja u drugo. U videoigrama se koriste strojevi konačnih stanja za upravljanje ponašanjem agenata igre, razlažući njihove radnje na manja stanja. Stroj stanja može biti samo u jednom stanju u isto vrijeme i to je zapravo jedinstveno pravilo.

Kada se promatra spomenuti Pac-Man kao jednostavan, dobro poznati primjer, vidi se da svaki duh ima dva stanja: potjera i čekanje. Duhovi su uvijek u stanju potjere, osim ako igrač ne pokupi alat za ubrzanje, tada svi duhovi prelaze u stanje čekanja dok ne završi vrijeme trajanja alata.

Na slici 9 nalazi se jedan kompliciraniji primjer za igre poput pucačine iz prvog lica.



Slika 9. Primjer ponašanja jednog bota  
Izvor: Game Development (2013.)

Bevilacqua (2013) opisuje stroj konačnih stanja pomoću slike 9. Govori da su moguća stanja: lutanje (eng. Wander), napad (eng. Attack) i izbjegavanje (eng. Evade). Zadano stanje je lutanje. Kada je igrač u blizini, bot prelazi u stanje napada. Ovisno o stanju, prelazi između stanja lutanja, napada i izbjegavanja. Ako je zdravlje blizu nule, odnosno nisko, prelazi se u stanje izbjegavanja.

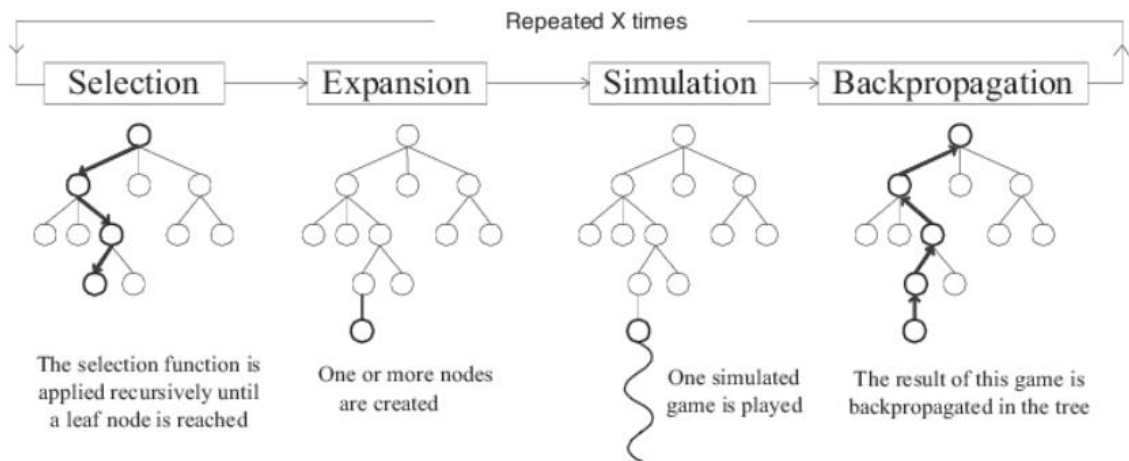
Neke od prednosti umjetne inteligencije temeljene na stroju stanja su te da ih je jednostavno implementirati dok u igri ne postoji prevelik broj mogućnosti. Također je lako ukloniti moguće pogreške (eng. Buggove) jer su im ponašanja temeljena na malim strukturama te imaju malo računalnih troškova jer slijede tvrdo kodirana pravila. Ovakvi modeli koriste se za pauziranje, nastavak te spremanje u videoigrama. Također se na njima mogu temeljiti složenija ponašanja ili strukture poput neizrazite logike i neuronskih mreža.

Neki od nedostataka su ti da igrači imaju osjećaj zasićenja jer primijete da se botovi (NPC) cijelo vrijeme isto ponašaju. Razlog ovome su stanja koja su poznata unaprijed, tj. programirana. S druge strane, ako igra ovakvog tipa ima mnogo veći broj stanja, s time dolazi i puno veći opseg programiranja za proizvođače. Programski kod tada postaje puno teži za održavati.

Danas se ova metoda smatra jednom od najpopularnijih u videoigrama. Programer lako dodaje nova pravila te isto tako ih i brišu. Također ne koštaju puno i lako se usklade s drugim metodama u igri.

#### **4.2.2. Monte Carlo stablo pretraživanja (eng. Monte Carlo tree search)**

Monte Carlo Tree Search (MCTS) algoritam je dio stabla ponašanja koji radi s umjetnom inteligencijom na sličan način kao stroj konačnih stanja samo što u stablima ne postoje stanja funkcija nego postoje stanja ponašanja kojih ima jako puno. Ovaj algoritam poseban je po tome što se može primijeniti na razne videoigre koje imaju konačnu duljinu. Najviše se pojavljuje u klasičnim društvenim igrama poput šaha, ali se može pojaviti i u modernim društvenim igrama gdje igrači imaju svoje nasumične poteze.



Slika 10. Monte Carlo Tree Search

Izvor: G. Chaslot (2008.)

Chaslot i sur. (2008) objašnjavaju MCTS algoritam tako što ga dijele na četiri dijela kao što je prikazano iznad (Slika 10):

### 1. Izbor (eng. Selection)

Kad je stablo u stanju izbora, idući korak bira se prema dosad pohranjenim podacima. Tu se razlikuje istraživanje i eksploatacija. Stablo treba imati ravnotežu između dva navedena pojma. Istraživanje vrši na aktivnostima koje treba istražiti iako rezultati možda ne obećavaju toliko. S druge strane, imamo eksploataciju, koju stablo odabire jer je ona zasad dovela do jako dobrih rezultata.

### 2. Ekspanzija (eng. Expansion)

Ekspanzija je vrlo jednostavan princip kada se radi o videoigri. Stablo ima svoj način proširivanja, a to je da dodaje novi čvor, ako se traženo stanje ne može pronaći u stablu.

### **3. Simulacija (eng. Simulation)**

Radnje za ostatak simulacije uzimaju se nasumično sve dok igra ne završi. Ako se koriste prethodne pogreške i pokušaji može se napraviti da simulacija izgleda puno bolje od običnog tipa gdje većinom sve izgleda jednoliko te se tako dobije slaba simulacija.

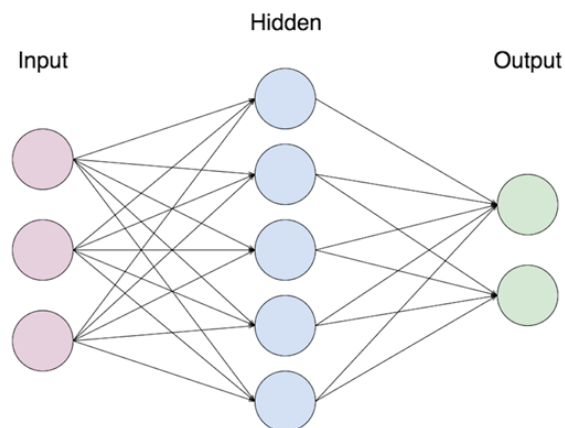
### **4. Vraćanje unatrag (eng. Backpropagation)**

Zadnji dio MCTS algoritma ima ovakav naziv zato što se svaki čvor stabla ažurira ovisno o tome koliko puta je bio posjećen. Zatim se na kraju same igre radi suma te se za program igre uzima upravo najposjećeniji čvor.

#### **4.2.3. Neuronske mreže (eng. Neural network)**

Stergiou i Siganos (2011) dali su definiciju pojma neuronskih mreža: „Neuronska mreža je paradigma obrade informacija koja je inspirirana na način kao biološki živčani sustavi, poput mozga te obrađuju informacije. Ključni element od ove paradigme je nova struktura sustava za obradu informacija. Sastoji se od velikog broja visoko međusobno povezanih procesorskih elemenata (neurona) koji rade usklađeno kako bi riješili specifične probleme“.

Neuroni su posebni po tome što uče na danim primjerima te se tako opredjeljuju za rješavanje različitih zadataka.



Slika 11. Primjer neuronske mreže

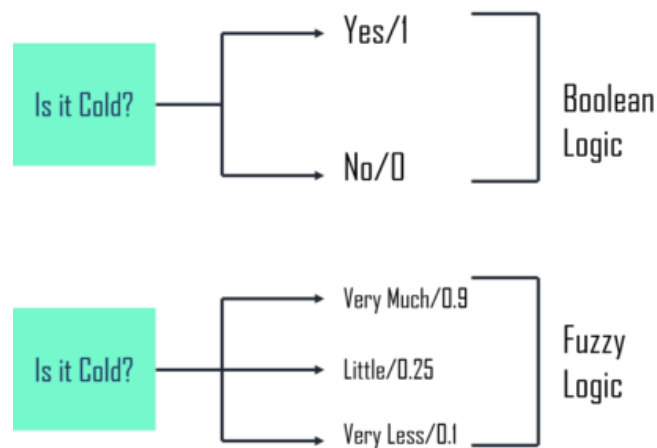
Izvor: Medium (2021.)

Ortega (2020) objašnjava sliku 11 tako što navodi da se klasični neuronski algoritam sastoji od ulaznog (eng. Input), skrivenog (eng. Hidden) i izlaznog sloja (eng. Output). Većina radnje odvija se u ulaznom sloju jer tamo dolaze sirovi podaci koji se moraju obraditi kako bi se poslali u neuronsku mrežu. Skriveni sloj mjesto je gdje se spomenuti podaci obrađuju i tako dobivaju na „težini“ te o tome ovisi sam tok podataka. Dalje se podaci prosljeđuju do izlaznog sloja temeljeno na danim težinama. Na ovaj način rješavaju se određeni zadaci i problemi koji su za taj tip podataka.

Danas se algoritam neuronskih mreža koristi u videoigrama pretežno kako bi simulirali bota (NPC) kao da je živ, odnosno da se ponaša kao pravi igrač (Kovačević, Cesar & Cafuta, 2019) . Neuronske mreže danas se smatraju vrhuncem umjetne inteligencije i zbog toga su jako skupe za implementaciju u videoigrama te znaju biti jako komplicirane zbog nepredvidivosti likova.

#### 4.2.4. Neizrazita logika (eng. Fuzzy logic)

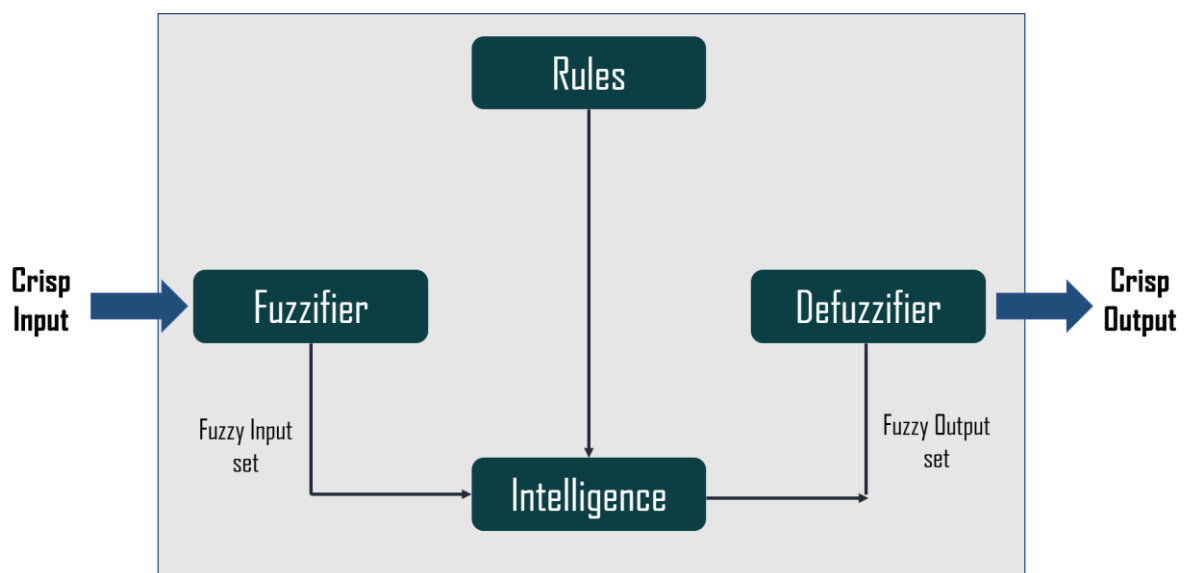
Pirovano (2012) navodi neizrazitu logiku (eng. Fuzzy logic) kao definiciju: “Neizrazita logika nadskup je konvencionalne logike koja je proširena za rukovanje konceptom vrijednosti djelomične istine između Booleove logike istinitog i lažnog. Obično neizrazita logika ima oblik neizrazitog sustava zaključivanja i njegovih komponenti koje su neizrazite varijable, neizrazita pravila i mehanizam za neizrazito zaključivanje. Koristeći teoriju neizrazitih skupova, varijable se rastavljaju odabirom, a skup funkcija pripadnosti na njihov mogući raspon vrijednosti.”



Slika 12. Razlike Booleove i neizrazite logike  
Izvor: Edureka (2019.)

Kao što je prikazano na ilustraciji (Slika 12), neizrazita logika razlikuje se od Booleove logike, odnosno može se reći da je ona proširena jer uzima u obzir i ljudsko razmišljanje gdje nema samo da (1) ili ne (0) nego postoje i opcije između poput moguće da, moguće ne, ne mogu reći, svakako da, svakako ne itd.

Syantini (2019) dijeli proces neizrazite logike na četiri dijela (Slika 13):



Slika 13. Proces neizrazite logike  
Izvor: Edureka (2019.)



## **1. Pravila (eng. Rules)**

Kao što samo ime govori, u ovom dijelu se nalaze svi if-then uvjeti i sva pravila koje daju stručnjaci za kontrolu sustava koji donosi odluke. Najnovija ažuriranja neizrazite logike donose manje pravila jer se koriste drugačije metode koje su poboljšane.

## **2. Fazifikacija (eng. Fuzzification)**

U ovaj dio procesa dolaze ulazni podaci ili jasni brojevi koji se zatim pretvaraju u nejasne skupove. Nakon toga odlaze u kontrolni sustav gdje se obrađuju, a tamo ih prosljeđuju određeni senzori koji dijele te podatke na: veliki pozitivni (eng. large positive), srednje pozitivni (eng. medium positive), mali (eng. small), srednje negativni (eng. medium negative) i veliki negativni (eng. large negative).

## **3. Mehanizam za zaključivanje (eng. Inference engine)**

Mehanizam za zaključivanje zapravo je najvažniji korak u cijelom procesu jer određuje kolika je sličnost između podataka s unosa i pravila. Prema toj sličnosti, pale se pravila koja su predodređena za taj stupanj te se tako formiraju kontrolne akcije pomoću kombinacije aktiviranih pravila.

## **4. Defazifikacija (eng. Defuzzification)**

Na samom kraju procesa, defazifikacija služi kako bi se dobila čista vrijednost od neizrazitih skupova. Svaki model odnosno sustav sebi bira najprimjereniju tehniku.

Jedna od najpopularnijih videoigara koja koristi neizrazitu logiku je Sims. Sims je poseban po tome što nudi širok spektar simulacija za čovjeka, odnosno nastoji ga prikazati što realnijim u stvarnosti. Kako igrač upravlja svojim avатарom, on ima potrebe koje treba zadovoljiti te upravo ovdje umjetna inteligencija dolazi do svog izražaja jer ima jako dobru interakciju avatara s okolinom.

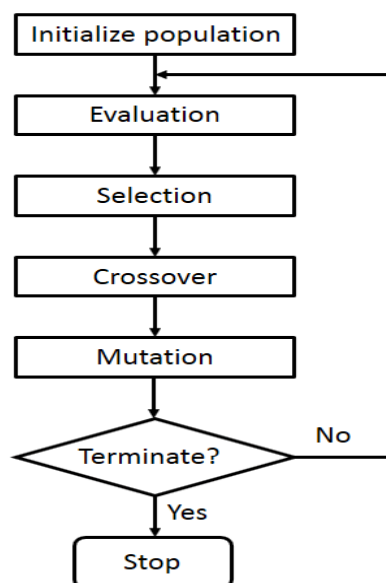
Druge popularne videoigre koje koriste neizrazitu logiku su Unreal, S.W.A.T., BattleCruiser itd. Svaka od navedenih videoigri je drugačijeg žanra te se tako može vidjeti široka primjena umjetne inteligencije neizrazite logike. Najviše se koristi u igrama avanturističkog i strateškog tipa (Pirovano, 2012).

Neizrazita logika jedna je od težih za implementirati u videoigre te je poprilično skupa tako da nije prvi izbor kod programera.

#### 4.2.5. Genetski algoritmi (eng. Genetic algorithm)

„Genetski algoritmi oponašaju glavni Darwinov princip – opstanak najjačih. Ovo je također glavno načelo evolucije. Pojedinač s boljim sposobnostima preživljavanja bit će onaj koji će preživjeti i prenijeti svoje gene na nove generacije. Rješavaju probleme optimizacije korištenjem povijesnih informacija u cilju usmjeravanja prema regiji u kojoj se nalaze bolji rezultati“ (Kovačević, Cesar & Cafuta, 2019).

Ova metoda umjetne inteligencije (Slika 14) radi tako da započinje s početnom skupinom mogućih rješenja za određeni cilj s kojom se te skupine uspoređuju. Zatim se odabiru najbolja rješenja za iduću skupinu pomoću elemenata kao što su: odabir (eng. Selection), križanje (eng. Crossover) i mutacija (eng. Mutation).



Slika 14. Proces genetskog algoritma

Izvor: Medium (2020.)

Whitley (1994) tvrdi da odabir znači zadržati roditelja s najboljom izvedbom iz jedne generacije u drugu. Drugim riječima ako imamo „roditelja 1“ i „roditelja 2“ iz prethodne generacije u problemu optimizacije, kroz selekciju oni prolaze do sljedeće generacije samo zato što su bili dobri u prethodnoj generaciji. Budući da su zadovoljili selekciju, koriste se i za proces križanja. U procesu križanja odvija se odabir varijabli. Varijable koje imaju sličnosti uzimaju se i zadržavaju kako bi se odvio proces mutacije tj. stvorila podređena varijabla za sljedeću generaciju. Posljednje što se događa je spomenuta mutacija gdje se uzimaju roditelji i mutiraju se određene varijable da poprime nasumične vrijednosti i tada se stvori „dijete“ na temelju mutacije. Mutacija omogućuje genetskim algoritmima da na neki način izbjegnu pad u lokalne minimume i pomaže im da dobro istraže prostor rješenja.

Jedan dobar primjer korištenja ove metode u videoigrama su upravo igre obrane tornja gdje je potrebno razmišljanje prostora. U takvim igrama se neprijatelji razvijaju na temelju ljudske izvedbe kroz obranu tornja. Svaki novi val neprijatelja predstavlja spomenutu generaciju. Svaka nova generacija koristi upravo najbolje od prethodne i tako jača te se zbog toga i igrač mora promijeniti. Također ova metoda se koristi u drugim raznim igrama poput igre otvorenog svijeta gdje se događa evolucija odnosno napredovanje neprijatelja poput raznih stvorenja. Implementacija ove metode nije jeftina i jednostavna te nije prvi izbor kod programera.

### 4.3. Prednosti i nedostaci umjetne inteligencije u videoigrama s obzirom na odabrane primjere tehnika umjetne inteligencije

| Usporedba        | Stroj konačnih stanja  | Monte Carlo stablo pretraživanja   | Neuronske mreže  | Neizrazita logika  | Genetski algoritmi   |
|------------------|--|--|--|--|--|
| <i>Prednosti</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jednostavna implementacija</li> <li>- Jeftino korištenje</li> <li>- Lako uklanjanje pogrešaka</li> <li>- Jednostavno određivanje dostupnosti stanja</li> <li>- Fleksibilnost sustava</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jednostavna implementacija</li> <li>- Algoritam učinkovito djeluje bez prethodnog znanja</li> <li>- Pronalazi vlastite poteze i uči iz njih</li> <li>- Može se spremirati u bilo kojem srednjem stanju</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kontinuirano učenje sustava</li> <li>- Višezadačnost samog sustava</li> <li>- Pri kvaru, cijeli program je dostupan na mreži</li> <li>- Stroj radi neprekidno</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jak sustav jer nisu potrebni točni izvori informacija</li> <li>- Fleksibilnost sustava</li> <li>- Upravljanje različitim vrstama ulaza</li> <li>- Lakše rješava složenije probleme</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mogu optimizirati kontinuirane funkcije</li> <li>- Uvijek generira rješenje koje se poboljšava s vremenom</li> <li>- Brži i učinkovitiji od klasičnih metoda</li> </ul> |
| <i>Nedostaci</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Može biti predvidljivo</li> <li>- Potrebna veća statička memorija za pohranu događaja u videoigrici</li> <li>- Ograničen broj stanja</li> <li>- Teško za upravljati pri većem broju stanja</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kako stablo raste, potrebno je puno više memorije</li> <li>- Nepouzdanost u igri zbog velike količine kombinacija</li> <li>- Problem s brzinom zbog velikog broja ponavljanja</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potrebno puno više podataka nego kod drugih metoda</li> <li>- Mogućnost nedobivanja željenog rezultata</li> <li>- Ovisnost o točnim podacima</li> <li>- Generiraju rezultate na temelju iskustva</li> <li>- Jako skupe za implementaciju</li> <li>- Ponekad komplicirana za korištenje</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jako skupa za implementaciju</li> <li>- Ponekad komplicirana za korištenje</li> <li>- Potrebna redovita nadogradnja</li> <li>- Potpuno ovisi o ljudskoj inteligenciji</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nije jeftina metoda</li> <li>- Mogućnost neželjenog rješenja</li> <li>- Svaka nova generacija donosi veću računsku složenost i probleme</li> </ul>                      |

Tablica 1. Prednosti i nedostaci umjetne inteligencije u videoigrama s obzirom na odabrane primjere tehnika umjetne inteligencije

(izvor: autor završnog rada prilagođen prema istraživanju korištenja metoda)

Podaci iz tablice 1 prikazuju prednosti i nedostatke različitih metoda umjetne inteligencije koje se primjenjuju u videoigrama. Usporedbom pet navedenih metoda

vidljivo je da metoda stroj konačnih stanja posjeduje najviše prednosti u odnosu na ostale metode.

Metoda stroj konačnih stanja prednjači zbog svih nabrojanih prednosti u tablici 1, od kojih se najviše ističu cijena same metode te jednostavnost pri implementaciji u videoigre i dobar omjer cijene i kvalitete.

S druge strane metode poput neuronskih mreža i genetskih algoritama iako posjeduju velik broj mogućnosti za iteraciju, rjeđe se koriste zbog skuplje cijene. Korisnici veće platežne moći češće odabiru skuplje metode s ciljem dobivanja kvalitetnijih rezultata. Iz toga je vidljivo da cijena igra bitnu ulogu u odabiru metoda.

## 5. BUDUĆNOST UMJETNE INTELIGENCIJE U VIDEOIGRAMA

Kako umjetna inteligencija u igrama postaje sve naprednija, u budućnosti će biti više pozitivnih nego negativnih značajki vezano za nju. Videoigre će postati realističnije i sveobuhvatnije. Dobro ponašanje likova u videoigri pružit će izvrsne karakteristike, poput realne interakcije između likova i igrača ili realističnog ponašanja različitih stvorenja.

Kroz senzore, aktuatore i programiranje, lik igre može komunicirati sa svojom okolinom i ponašati se drugačije ovisno o situaciji. Umjetna inteligencija zapravo je ono što će u budućnosti učiniti igru bliže našim osobnostima. Razni likovi u igri će sve više sličiti na čovjeka jer će puno više sudjelovati u samoj igri i gledati sebe. Razvoj umjetne inteligencije u videoigrama uvelike ovisi i o razvoju drugih tehnologija poput strojnog učenja, različitih tipova virtualne stvarnosti itd. Igre koriste umjetnu inteligenciju kako bi likovima koji nisu igrači dale veću kontrolu nad svojim radnjama i reakcijama. Umjetna inteligencija omogućuje NPC-ima da postanu interaktivniji i rade s igrom kako bi napredovali na više jedinstvenih načina u skladu s izvornim programiranjem igre. Neke poznatije tvrtke kao EA (Electronic Arts) već se bave igrama koje koriste neuronske mreže za personalizaciju iskustva igre za svakog igrača, povećavajući zabavu, izazov i angažman. Neuronske mreže uče vježbajući igru kao što bi to učinili najbolji igrači.

Od veljače 2019. godine postoji pristup novoj tehnologiji koja se zove super uzorkovanje dubokog učenja (DLSS). Spomenuta tehnologija uči umjetnu inteligenciju kako igra izgleda na najvećoj razlučivosti. Prema Logic simplified (2022) UI se može koristiti u online igrama za poboljšanje performansi simulacije, stvaranje realističnijeg i prirodnijeg izgleda pa čak i predviđanje budućnosti složenih sustava. Nvidia je jedna od najvećih tehnoloških tvrtki na svijetu, a njihova UI tehnologija može se koristiti na mnogo načina za poboljšanje vizualnih sadržaja igara. Upscaling je zgodan alat koji može uzeti slike i pretvoriti ih u stvarne prikaze ili zaslone, kao što je poboljšanje kvalitete online igre ili poboljšanje izgleda igre povećanjem rezolucije iznad one koju monitor može prikazati. Govori se da će u budućnosti postojati ljepše složeniji modeli

za manje potrebne snage računala. Razvijanjem proširene i virtualne stvarnosti, videoigrama se otvara veliki potencijal za upotrebu umjetne inteligencije u svojoj igri.

Tijekom sljedećih 15 godina programeri aplikacija za videoigre moći će stvoriti virtualne svjetove u kojima će igrači moći igrati (Darbinyan, 2022). Navedeni svjetovi će sadržavati UI koja može učiti i koristiti podatke i tehnike umjetne inteligencije. Igrači će biti stavljeni u teške situacije te će moći izvesti bilo koju radnju unutar virtualnog svijeta koju bi mogli učiniti u stvarnom životu.

Budućnost umjetne inteligencije u igrama teško je točno predvidjeti, ali očito je da će sa svojim rastom i napredovanjem stvoriti više jedinstvenih okruženja za igru i iskustva za igrače. Dosad primjena umjetne inteligencije u igrama izgleda zaista nevjerojatno i ljude očekuje uzbudljiva budućnost.

## 6. ZAKLJUČAK

Umjetna inteligencija smatra se nezamjenjivim alatom u videoigrama jer se upotrebljava u gotovo svim modernim videoigrama. Razvoj umjetne inteligencije brzo napreduje pa se tako njene metode i tehnike sve brže poboljšavaju. U budućnosti se očekuje da svaka videoigra posjeduje barem mali dio umjetne inteligencije u sebi. U radu se spominju različiti žanrovi videoigara, a neki od njih su: akcijske igre, sportske igre, simulacijske igre itd. Svako korištenje videoigara može imati pozitivne i negativne posljedice. Razvijanje određenih sposobnosti, edukacija i kontakti s bliskim osobama neki su od primjera pozitivnih posljedica videoigara. S druge strane negativne posljedice su pretilost, neaktivnost, ovisnost itd.

Glavni cilj ovog završnog rada bio je detaljnije objasniti i prikazati najpopularnije tehnike implementacije umjetne inteligencije u videoigrama. Ferranti Mark 1, Space Invaders, Galaxian, Pac-Man i Dune II jedne su od najvažnijih videoigara koje su doprinijele razvoju umjetne inteligencije u prošlosti, a podloge navedenih videoigara koriste se i u modernim videoigrama. Danas se umjetna inteligencija većinom upotrebljava u videoigrama zbog pronalaska puta, odlučivanja i NPC-ova. Kroz rad su se tumačile tehnike poput: stroj konačnih stanja, MCTS algoritam, neuronske mreže, neizrazita logika i genetski algoritmi. Svaka od navedenih tehnika posebna je na svoj način te ima svoje prednosti i nedostatke poput cijene, brzine i težine implementacije.

Umjetna inteligencija zajedno sa strojnim učenjem ima veliki potencijal koji zasigurno treba iskoristiti kako bi se poboljšala izvedba videoigara, ali i svega ostalog vezanog za ljudski život. Nemoguće je predvidjeti izgled umjetne inteligencije za 20, 30 godina, ali ljudi imaju dovoljno vremena kako bi ju usmjerili u pravom smjeru.



## LITERATURA

1. Ke, F. (2009). A Qualitative Meta-Analysis of Computer Games as Learning Tools. IGI Global. <https://www.igi-global.com/chapter/qualitative-meta-analysis-computer-games/20076>
2. Barr, M., & Copeland-Stewart, A. (2021). Playing Video Games During the COVID-19 Pandemic and Effects on Players' Well-Being. *Games and Culture*, 17(1), 122–139. <https://doi.org/10.1177/15554120211017036>
3. Herodotou, C., Kambouri, M., & Winters, N. (2014). Dispelling the myth of the socio-emotionally dissatisfied gamer. *Computers in Human Behavior*, 32, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.10.054>
4. Boot, W. R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M., & Gratton, G. (2008). The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. *Acta Psychologica*, 129(3), 387–398. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.09.005>
5. Chuang, T.-Y., & Chen, W.-F. (2007). Effect of Computer-Based Video Games on Children: An Experimental Study. *IEEE Conference Publication | IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4148840>
6. Bavelier, D., Green, C. S., Han, D. H., Renshaw, P. F., Merzenich, M. M., & Gentile, D. A. (2011). Brains on video games. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(12), 763–768. <https://doi.org/10.1038/nrn3135>
7. Kowert, R., Domahidi, E., Festl, R., & Quandt, T. (2014). Social gaming, lonely life? The impact of digital game play on adolescents' social circles. *Computers in Human Behavior*, 36, 385–390. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.003>
8. Loton, D. (2007). Problem video game playing, self esteem and social skills : an online study. *Semantic Scholar*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Problem-video-game-playing%2C-self-esteem-and-social-Loton/ca9f1d71eaaa76f5ec233d99ef2b5ce4da3f16c8>
9. Ray, M., & Jat, K. R. (2010). Effect of electronic media on children. *Indian Pediatrics*, 47(7), 561–568. <https://doi.org/10.1007/s13312-010-0128-9>
10. Putica, M. (2018). UMJETNA INTELIGENCIJA: DVOJBE SUVREMENOGA RAZVOJA. *Hrčak*. <https://hrcak.srce.hr/clanak/320733>
11. Nasteski, V. (2017). An overview of the supervised machine learning methods. *HORIZONS.B*, 4, 51–62. <https://doi.org/10.20544/horizons.b.04.1.17.p05>
12. Ghahramani, Z. (2004). *Unsupervised Learning*. SpringerLink. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-28650-9\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-28650-9_5)
13. Wiering, M., & Otterlo, M. (2012). *Reinforcement Learning*. SpringerLink. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-27645-3?noAccess=true>
14. Das, S., Dey, A., Pal, A., & Roy, N. (2015). Applications of Artificial Intelligence in Machine Learning: Review and Prospect. *International Journal of Computer Applications*, 115(9), 31–41. <https://doi.org/10.5120/20182-2402>
15. Safadi, Firas; Fonteneau, Raphael; Ernst, Damien (2015). Artificial Intelligence in Video Games: Towards a Unified Framework. *International Journal of Computer Games Technology*, 2015(), 1–30. <https://doi.org/10.1155/2015/271296>

16. Kovačević, R., Cesar, I. & Cafuta, D. (2019). UMJETNA INTELIGENCIJA U RAČUNALNIM IGRAMA. Polytechnic and design, 7 (2), 117-124.  
<https://doi.org/10.19279/TVZ.PD.2019-7-2-15>
17. C. Ortega, J. H. J. (2020). Analysis of Performance of Classification Algorithms in Mushroom Poisonous Detection using Confusion Matrix Analysis. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9(1.3), 451–456.  
<https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/7191.32020>
18. Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. Statistics and Computing, 4(2).  
<https://doi.org/10.1007/bf00175354>

### Internet izvori:

1. Računalne igre. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 22. 7. 2022.  
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=68642>.
2. TrueList. (2022). Gaming Statistics - TrueList 2022.  
<https://truelist.co/blog/gaming-statistics/>
3. Clement, J. (2022). Most popular video game genres worldwide 2021, by age group. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1263585/top-video-game-genres-worldwide-by-age/>
4. N. (2018). Top 10 Most Popular Game Genres in the World 2018. Technavio. <https://blog.technavio.org/blog/top-10-most-popular-game-genres>
5. Hintze, A. (2016). Understanding the Four Types of Artificial Intelligence. GovTech. <https://www.govtech.com/computing/understanding-the-four-types-of-artificial-intelligence.html>
6. Burns, E., Laskowski, N., & Tucci, L. (2022). What is artificial intelligence (AI)? SearchEnterpriseAI.  
<https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/AI-Artificial-Intelligence>
7. Umjetna inteligencija. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 26. 7. 2022.  
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=63150>.
8. Linear Regression vs Logistic Regression - Javatpoint. (2020). Wwww.Javatpoint.Com. <https://www.javatpoint.com/linear-regression-vs-logistic-regression-in-machine-learning>
9. Education, I. C. (2022). Unsupervised Learning. Ibm Cloud Education. <https://www.ibm.com/cloud/learn/unsupervised-learning>
10. Bevilacqua, F. (2013). Finite-State Machines: Theory and Implementation. Game Development Envato Tuts+.  
<https://gamedevelopment.tutsplus.com/tutorials/finite-state-machines-theory-and-implementation--gamedev-11867>
11. Chaslot, G., Bakkes, S., Szita, I., & Spronck, P. (2008). Monte-Carlo Tree Search: A New Framework for Game AI. ResearchGate.  
[https://www.researchgate.net/figure/Outline-of-a-Monte-Carlo-Tree-Search\\_fig1\\_220978338](https://www.researchgate.net/figure/Outline-of-a-Monte-Carlo-Tree-Search_fig1_220978338)

12. Stergiou, C., & Siganos, D. (2011). NEURAL NETWORKS by Christos Stergiou and Dimitrios Siganos. Angelfire.  
[https://www.angelfire.com/vt2/reporter69/richard\\_menes.htm](https://www.angelfire.com/vt2/reporter69/richard_menes.htm)
13. Pirovano, M. (2012). The use of Fuzzy Logic for Artificial Intelligence in Games. Semantic Scholar. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-use-of-Fuzzy-Logic-for-Artificial-Intelligence-Pirovano/24dae337f5c7f7c56548ceeffeba0dde45554dbd>
14. Sayantini, S. (2019). What is Fuzzy Logic in AI and What are its Applications? Edureka. <https://www.edureka.co/blog/fuzzy-logic-ai/>
15. Future of artificial intelligence in video game development. (2022). Logicsimplified. <https://logicsimplified.com/newgames/the-present-and-future-of-artificial-intelligence-in-game-development/>
16. Darbinyan, R. (2022). How Artificial Intelligence Can Empower The Future Of The Gaming Industry. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/07/13/how-artificial-intelligence-can-empower-the-future-of-the-gaming-industry/?sh=72e89d944a9f>

## Popis slika

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Podjela umjetne inteligencije Izvor: TechTarget (2022.).....                       | 10 |
| Slika 2. Razlika klasifikacije i regresije Izvor: Simplilearn (2022.).....                  | 13 |
| Slika 3. Primjer grupiranja (clustering) Izvor: iMerit (2021.) .....                        | 14 |
| Slika 4. Ojačanje učenje (reinforcement learning) Izvor: Towards Data Science (2021.) ..... | 15 |
| Slika 5. Space Invaders Izvor: iNews (2018.) .....  | 18 |
| Slika 6. Galaxian Izvor: Raspberry Pi (2021.) .....   | 19 |
| Slika 7. Kretnje duhova u Pac-Man igri Izvor: Dev (2018.) .....                             | 19 |
| Slika 8. Dune II Izvor: IndieRetroNews (2021.).....   | 20 |
| Slika 9. Primjer ponašanja jednog bota Izvor: Game Development (2013.) .....                | 21 |
| Slika 10. Monte Carlo Tree Search Izvor: G. Chaslot (2008.).....                            | 23 |
| Slika 11. Primjer neuronske mreže Izvor: Medium (2021.).....                                | 25 |
| Slika 12. Razlike Booleove i neizrazite logike Izvor: Edureka (2019.) .....                 | 26 |
| Slika 13. Proces neizrazite logike Izvor: Edureka (2019.).....                              | 26 |
| Slika 14. Proces genetskog algoritma Izvor: Medium (2020.).....                             | 28 |

## **Popis tablica**

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Prednosti i nedostaci umjetne inteligencije u videoigrama s obzirom na odabrane primjere tehnika umjetne inteligencije (izvor: autor završnog rada prilagođen prema istraživanju korištenja metoda) ..... | 30 |
|--|----|