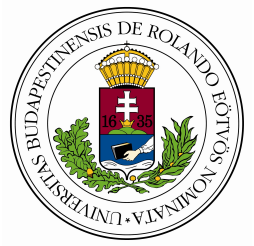


Eötvös Loránd Tudományegyetem

Informatika Kar

Programozáselméleti és Szoftvertechnológiai Tanszék

MI kliens 2 dimenziós ügyességi játékhoz

Témavezetők:

Bordás Henrik

Szoftverfejlesztő

CAE-Engineering kft.

Szerző:

Vecsernyés Márk

nappali tagozat

programtervező informatikus szak

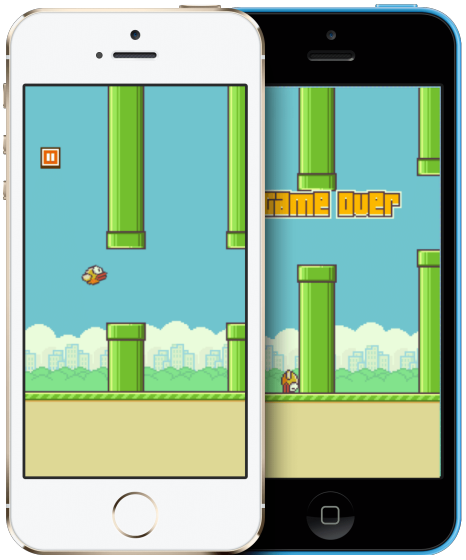
Budapest, 2019

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS

A világ legnagyobb videómegosztóján számos példa van arra, amikor a gép megtanul játszani egy játékkal anélkül, hogy ismerné annak szabályait. Komplexebb többszemélyes kompetitív játékokban a mesterséges intelligencia képes legyőzni a világ legjobb játékosait[1] is. Mindig is érdekelt, hogy ez hogyan lehetséges, ezért szakdolgozatom témájául a gépi tanulást választottam egy ismert játékon evolúciós algoritmussal.

A tanítást a Flappy Bird[2] (*1. ábra*[3]) átiratán végeztem. Az eredeti 2013. Május 24-én jelent meg okostelefonos platformra. *Dong Nguyen* fejlesztette a *dotGears* cégnél, 2014 elején napi 50.000 dollárt hozott reklámbevételekből. Két dimenziós, retro játékokra hasonlít, az irányítandó karakter egy sárga madár, aki folyamatosan halad előre balról jobbra, közben a magassága a gravitáció hatására csökken. Egyetlen parancsot lehet neki adni, ez az ugrás, így kell minél messzebb manővereznie az akadályok (oszlopok) között. 2014. Február 10-én *Nguyen* személyes okokra hivatkozva törölte a játékot. Ezután az egyik legtöbbször másolt játék lett az *Apple Storeban*, megközelítőleg napi 60 másolatot töltöttek fel, de PC-re is számos átirat megjelent.



1. ábra

Dolgozatom célja egy létező algoritmus implementálása egy olyan grafikus környezetben, amiben a felhasználó láthatja a működését a gyakorlatban.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a *családomnak* tanulmányaim tágmogatásáért, illetve *Bordás Henriknek*, aki konzulenskénk tudásával és tanáncsaival segített felépíteni dolgozatom.¶

2. BEVEZETÉS AZ EVOLÚCIÓS ALGORITMUSBA

A feladat *célja* egy működő program létrehozása. Jelen esetben az elméleti háttér minimális ismerete nélkül nem értelmezhető kellő mélységben a program által megoldott feladat, ezért szerentném röviden, a teljesség igénye nélkül ismertetni az evolúciós algoritmust működését a programomban. Az evolcúciós algoritmus egy *heurisztikákat* nem használó egy speciális *keresőrendszer. H*eurisztikus, vagy informált keresőrendszernek nevezzük azokat, amely a probléma definícióján túlmenően problémaspecifikus tudást is felhasznál – hogyan képes hatékonyabban megtalálni a megoldást[4]. A *keresőrendszer*[5] egy algoritmus (*2. ábra*), ami a problématérben keresi egy helyes választ. Általános alakja a következő:

```
Procedure KR
1.  ADAT := kezdeti érték
2.  while ¬ terminálási feltétel(ADAT) loop
3.      SELECT SZ FROM alkalmazható szabályok
4.      ADAT := SZ(ADAT)
5.  endloop
end
```

2. ábra

A mesterséges intelligenciában használy keresőrendszerekek ennek az algoritmus nakspeciális esetei, ilyen például az evolúciós algoritmus is.

A evolúció alapalgoritmusa[6] (3. *ábra*) a következő:

```
Procedure EA
populáció  := kezdeti populáció
while terminálási feltétel nem igaz loop
    szülők  := szelekció(populáció)
    utódok := rekombináció( szülők )
    utódok := mutáció(utódok)
    populáció := visszahelyezés(populáció, utódok)
endloop
```

3. ábra

Egy adott pillanatban a problématérnek sosem egy egyedét (lehetséges válaszát), hanem egy halmazát tároljuk. Ezt nevezzük *populációnak*. A populációt egyedeit valamivel kódolnunk kell, erre *neurális hálót* fogok használni (ami mátrixokkal van reprezentálva, de jelen dolgozatnak nem célja a neurális háló bemutatása).

Arra törekszünk, hogy az egyedek minél jobbak legynek, ennek megítélésére rátermettségi függvényt (későbbiekben fitnessz) fogunk használni. Egy madár fitnessz értéke annál magasabb, minél messzebb jut a pályán (minden időpillanatban egyet nő). Minden pálya véletlenszerűen van generálva, sosem egy adott pályára tanulnak rá az egyedek. A tanulás mindig a generáció végén történik.

Legfontosabb fogalmak rövid áttekintése:

- *Egyed:* problématér egy lehetséges válasza.

- *Kódolás*: egyed reprezentációja.
- *Populáció*: problématér egy halmaza, az egyedeket tartalmazza.
- *Fitnessz*: az egyed rátermettségi függvénye.
- *Generáció*: az algoritmus egy ciklusa.
- *Evolúciós operátorok:* Szelekció, rekombináció, mutáció, visszahelyezés.
- *Terminálasi feltétel:* az a feltélel, amikor az algoritmus véget ér (a fitnessz eléri a megadott küszöbértéket).

Az algoritmus futása vázlatosan a programomban:

1. Az algoritmus elején a populáció méretével megegyező számú egyedet (madarat) hozunk létre, tetszőleges neurális hálóval. Ez az első generáció inicializálasa.
2. Elkezdunk egy játékot, amiben a madarak a neurális hálójuk alapján ugrálnak az oszlopok között (itt még természetesen nem tanulnak). A neurális hálónak 3 input paramétere van: madár magassága (*y koordinátája*), az következő oszloppár *x koordinátája*, illetve a következő oszlopok közül a felső tetejének *y koordinátája.* Minden időpillanatban minden madár lefuttatja a neurális hálóját a jelenlegi poziciójához tartozó paraméterekre, majd ez alapján kétféle döntés hozhat: ugrik vagy nem ugrik. Ha az egyik madár fitnessz értéke elér egy küszöbindexet, akkor az algoritmus terminál. Amennyiben nem éri el egyik sem, és minden madár meghal, a 3. pontra lépünk.
3. Az első evolúciós operátorunk a szelekció. Itt kiválasztunk néhány (feltehetőleg rátermett) egyedet szülőnek. A cél, hogy a kevésbé rátermett egyedek is esélyt kapjanak (persze kisebb valószínűséggel). Erre több módszer létezik, én a *versengéses* módszert választottam, ahol tetszőleges

csoportok (itt párok) legjobbikát választom ki, pontosan $\left\lfloor \frac{s}{100} * p \right\rfloor$ darabot, ahol $s \epsilon \{50,51,..,100\}$ szelekciós együttható, illetve $p \epsilon \{20,25,..,100\}$ a populáció mérete.

4. A második evolúciós operátor a rekombináció. Feladata, hogy a szülőkből olyan utódokat készítsünk, amik a szülők tulajdonságait öröklik. Erre a következő módszert használok: egyszerű jelcsoportokat cserélek két véletlenszerűen választott szülőben. A szülők neurális hálóval vannak kódolva, ami 2 mátrixból, és 2 vektorból áll (lásd bővebben Fejlesztői dokumentáció megfelelő fejezetében). A mátrixokat ugyanabban a tetszőleges pontban kettévágom és összeolvasztom, a vektoroknál a kettő közül az egyiket választom ki, és azt adom az utódnak. Pontosan $\left\lfloor \frac{c}{100} * p \right\rfloor$ (alsó egészrész) darab utód jön létre, ahol ahol $c \epsilon \{40,45,..,90\}$ rekombinációs együttható, illetve $p \epsilon \{20,25,..,100\}$ a populáció mérete.

5. A harmadik evolúciós operátor a mutáció. Feladata egy utód kisméretű változtatása. Meghatározásához 2 együtthatót kell definiálnunk, $M \epsilon \{5,10,..,30\}$ és $m \epsilon \{5,10,..,30\}$. $\left\lfloor \frac{M}{100} * p \right\rfloor$ számú utódot választunk ki, mindegyiknek $\left\lfloor \frac{m}{100} * p \right\rfloor$ darab komponense megváltozik (a neurális háló minden eleme $(-1,1)$ intervallumba esik, így ezen az inntervallumon belül változhat a kiválasztott elem).

6. A negyedik evolúciós operátor a visszahelyezés. Feladata a populáció utódokkal való frissítése. Kiválsztja a lecserélendő egyedeket, majd azok helyére az újakat teszi. A populáció mérete legyen $p \epsilon \{20,25,..,100\}$ és a törlési együttható $d \epsilon \{1,2,..,10\}$. Az utolsó (legrosszabb fitnessz értékkel

rendelkező) $\left\lfloor \frac{d}{100} * p \right\rfloor$ darab egyed helyett újat generálunk, majd a sorban következő (növekvő sorrendben) egyedeket lecseréljük az összes utódra. A maradék (legjobb fitnessz értékű) egyed marad. A generáció számát növeljük eggyel, majd 2. pontra lép az algoritmus.

Megjegyzés: az együtthatók intervallumait tapasztalati úton hoztam létre

Az evolúciós algoritmus egy nem-módosítható stratégia, a populácion végzett változtatások visszavonhatatlanok. Nem determinisztikus, a populáció módosítása mindig ugyanazzal a stratégiával, de véletlenszerű választásokkal történik. Ugyanarra a kezdőpopulációra más eredményeket ad általában. A program kipróbálásakor ezért tapasztalhatunk eltérő tanulási időket, például valamikor egy 3. generációs egyed eléri a megadott küszöbértéket, valamikor pedig a 200. generációra sem képes egyetlen egyed sem eljutni a 3. oszlopig.¶

3. FELHASZNÁLÓI DOKUMENTÁCIÓ

A következőkben ismertetjük *a program által megoldott feladatot*, *célközönségét*, majd a felhasználó szempontjait szem előtt tartva áttekintjük az

Név	Verzió
Google Chrome	70.0
Mozilla Firefox	63.0
Opera	53
Safari	12.0

első üzembehelyezést, végül részletesen bemutatjuk a *program használtát*, paraméterezését és a program által generált eredményeket, és értelmezését. Jelen dokumentum az olvasási szokások miatt (az egyes részeknek önmagukban is teljeseknek kell lennie) redundáns információkat tartalmazhat.

3.1. A program által megoldott feladat

A program a gépi tanulás egy módszerének, az *evolúciós algoritmusnak a* futását, nem pedig magát az algoritmust akarja részletesen megmutatni a felhasználónak. A szoftver korlátozottan, de paraméterezhető.

Bármilyen módszer működése egy adott probléma megoldására akkor szemléltethető a legjobban, ha a modell kellően bonyolult, viszont közérthető. A bonyolultságra azért van szükség, mert az esetleges egyszerűsítések következtében ha túl sok tulajdonságot elhagyunk, akkor a módszer hátrányait nem minden esetben láthatjuk. Közérthetőség nélkül pedig a probléma sokak számára értelmezhetetlenné válik. A bevezetőben ismertetett modellt fogom úgy átalakítani, hogy a gép képes legyen hozzáferni a megfelelő interfészekhez ("lássa, amit a felhasználó láthat", illetve "parancsot tudjon neki adni, hogy a felhasználó", de semmi többet).

A *kiindulási modell* a játék egy változata melynek forráskódja[7] ingyenesen letölthető az internetről. Itt a felhasználó manuálisan, egy gomb lenyomásával tudja irányítani a karaktert. Ezt az input interfészt le kell cserélnünk, hogy a számítógép irányítsa madarat, illetve a populációnak méretének megfelelő számú madarat kell elhelyezni a játékban. A minden madarat eltérő mesterséges neurális hálóval kell kódolni, futása végén (egy futás játék indításától a madár haláláig tart) pedig fitnessz értékét feljegyezni. Az algoritmus a ezen értékekek ismeretében tudja elvégezni a kiértékelést. *A program által megoldott feladat a feljebb ismertetett modellen történő optimális egyed keresés evolúciós algoritmussal.*

3.2. Célközönség

A program célközönsége azok az emberek, akik már megismerkedtek az evolúciós algoritmussal, és szeretnék látni működés közben. A módszer előnyei, illetve hátrányai közül számos előjön futtatások során. Például egy alkalmazási terület amikor a tanár elmagyarázza az algoritmust, majd elindítja ezt a programot, és a diákok láthatják működés közben.

3.3. Minimális rendszerkövetelemények

A program jelenleg csak asztali számítógépen futtatható, operációs rendszertől függetlenül, amennyiben a szükséges programcsomagok telepítve vannak. Két fő komponense van: *backend* (szerverszolgáltatás) illetve a *frontend* (kliens rész).

3.3.1. Backend komponenseinek minimális rendszerkövetelményei

Név	Verzió	Feladat	Telepítés
Python	3.7.0	Interpretálás	Binárisból
Pip3	18.0	Python3 csomagok telepítése	Binárisból
PostgreSQL	10.5	Adatbázis-szolgáltatás	Binárisból

Flask	1.0.2	HTML szerver	Pip3-mal
Psycopg2	2.7.5	Adatbázis utasítások kezelése	Pip3-mal
Numpy	1.15.2	Mátrixok kezelése	Pip3-mal
Torch	0.4.1	Neurális háló kezelése	Pip3-mal

3.3.2. Frontend minimális rendszerkövetelményei

Elég egy böngésző következők közül tetszőlegesen a teljesség igénye nélkül (html, javascript, illetve ajax támogatás szükséges):

3.3.3. Hardveres minimális rendszerkövetelmények

Amennyiben a 3.3.1-es, és 3.3.2-es pontban leírt komponensek futnak az adott személyi számítógépen, akkor a program is futni fog. Pontos minimális hardveres követelmények a csomagok hivatalos honlapjain elérhetőek.

3.4. Első üzembehelyezés

Ha a minimális szoftveres és hardveres követelmények a rendelkezésünkre állnak, akkor a forráskód birtokában el fogjuk tudni indítani az alkalmazást, külön telepítést nem igényel, mert interpretert használ. Indítás előtt győződjünk meg a következőkről:

- Python3 interpretert el tudjuk indítani konzolos felületről
- PostgreSQL szolgáltatás fut, illetve rendelkezik '*postgres*' role-lal

Első lépésben a backend szolgáltatást fogjuk elindítani: nyissunk meg egy konzolt, navigáljunk a forráskód gyökérkönyvtárába, majd a "`python3 app.py`"

```
markvecsernyes@szonor fbai (master) $ python3 app.py
Connecting to the PostgreSQL database...
 * Serving Flask app "app" (lazy loading)
 * Environment: production
   WARNING: Do not use the development server in a production environment.
   Use a production WSGI server instead.
 * Debug mode: on
Connecting to the PostgreSQL database...
```

4. ábra

parancsot kiadva a program backend része elindul. Ekkor az alkalmazás a standard outputra kiír pár log üzenetet (*4. ábra*).

Ha sikerült csatlakoznia az adatbázishoz, és az üzenetek között nincs hiba, akkor a backend szolgáltatás fut, több teendőnk ezzel nincs (nem szükséges a továbbiakban leállítani, illetve újraindítni ezt).

3.5. A program futtatása

A böngészőbe http://127.0.0.1:5000/ címet beírva az URL sávba, megkapjuk a program grafikus felhasználói felületét, amit GUI-nak (graphical user interface) nevezünk. Összesen 3 különböző oldal található meg a programban (Kezdőoldal (3.5.1), egyjátékos mód (3.5.2), mesterséges intelligenciát használó mód (3.5.3)), ezeket a következőkben ismertetem.

3.5.1. Kezdőoldal

Leírás: egy üdvözlőképernyő, ahonnan a felhasználó a többi oldalra tud navigálni

Elérés: A 3.5-ös pontban ismertetett URL a program kezdőlapjára navigálja a felhasználót (*5. ábra*).

5. Ábra

Felület: A GUI két jól elkülíthető részre van osztva:

- Gombokra, ahol a "`Single player mode`" az egyjátékos módhoz (3.5.2), illetve "`AI player mode`" ami a mesterséges intelligenciát használó (3.5.3) verzióhoz vezet.

- Rajzvászonra 576 pixel * 512 pixel-es mérettel, melynek világoskék a színe. Nyelve angol, a felirat jelentése pedig: "Üdvözöljük! Kérem válassza ki a játék módját felül, jó szórakozást!"

Használat: A gombok valamelyikére kell kattintani, hogy el tudjuk kezdeni a játékot valamelyik verzióban.

3.5.2. Egyszemélyes mód

Leírás: a játékot a felhasználó kipróbálhatja, megismerheti a játék menetét, illetve nehézségét.

Elérés: Erre az oldalra (6. *ábra*) a *kezdőoldalról* (3.5.1), illetve a *mesterséges intelligenciát használó módból* navigálhatunk (3.5.3).

6. ábra

Felület: A GUI két jól elkülíthető részre van osztva:

- Gombokra, ahol a "<Home" a kezdőoldalra (3.5.1), illetve "AI player mode" ami a mesterséges intelligenciát használó (3.5.3) verzióhoz vezet.

- Rajzvászonra 576 pixel * 512 pixel-es mérettel, melynek világoskék a színe. Középen egy vonallal van elválasztva bal oldalán a játék fut (automatikusan indul), jobb oldalon pedig az aktuális pontszám látható, minden időpillanatban frissítve. A madár meghal, ha oszloppal ütközik, ekkor a pontszám 0-ra csökken, a játék pedig újraindul. A szöveg fordítása: "Egyjátékos mód! Nyomja le bármelyik gombot, hogy a madarat vezérelje. A cél elkerülni az oszlopokat."

Használat: A mód használatához bármelyik gombot lenyomhatjuk a billentyűzeten, ekkor ugrik a madár. Az oldalt elhagyni valamelyik fent említett gombra kattintva lehet.

3.5.3. Mesterséges intelligenciát használó mód

Leírás: mesterséges intelligenciát használva (evolúciós algoritmust) a számítógép megpróbálja megtanulni a 3.5.2-ben futtatható játékot minél jobban játszani.

Elérés: Erre az oldalra a *kezdőoldalról* (3.5.1), illetve az *egyszemélyes módból* navigálhatunk (3.5.3).

Felület: A GUI három jól elkülöníthető részre van osztva:

- Gombokra, ahol a "<Home" a kezdőoldalra (3.5.1), illetve "Single player mode" ami az egyszemélyes verzióhoz (3.5.2) vezet.

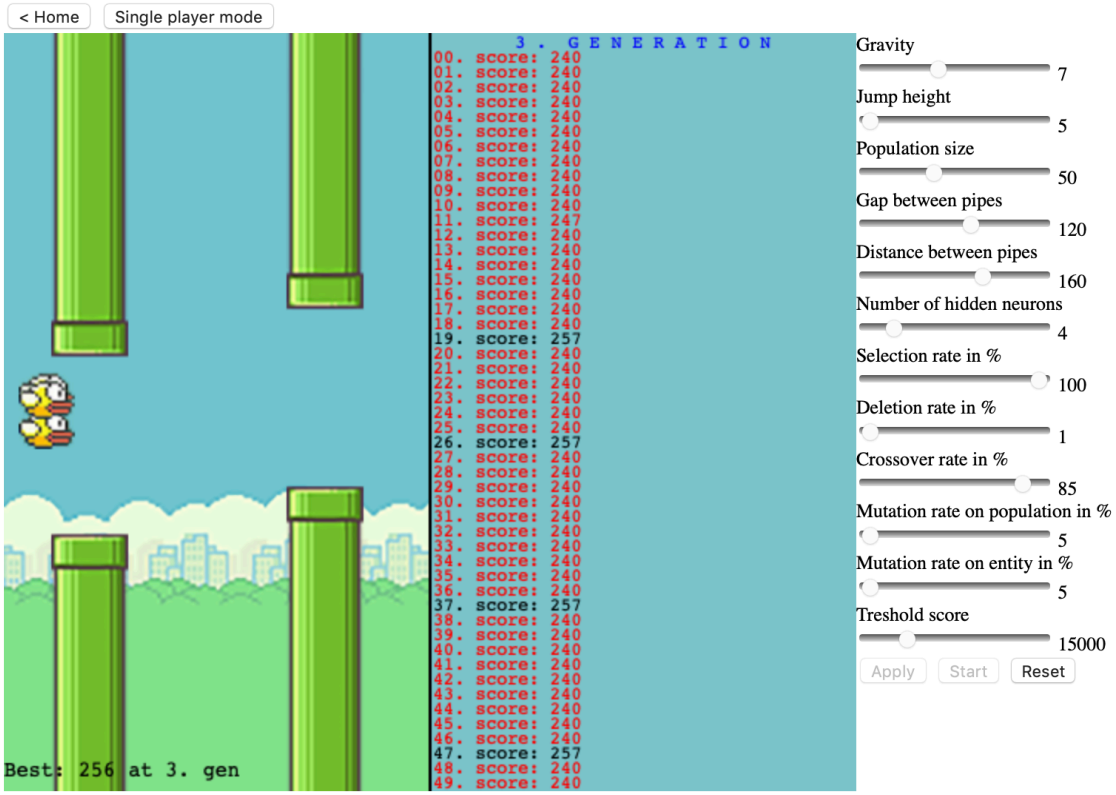
- Rajzvászonra 576 pixel * 512 pixel-es mérettel, melynek világoskék a színe. Két állapota van:

- Indítás előtt (7. *ábra*): Utasítások vannak kiírva középre. A szöveg fordítása: "Mesterséges intelligenciát használó mód! 1. Állítsa be a futási paramétereket, 2. kattintson az Apply-ra, 3. kattintson a Start-ra."

7. ábra

- Indítás után (8. *ábra*): egy vonallal van a rajzvászon kettéosztva. B*al oldalt* a játék fut, minden időpillanatban frissítve. A populáció méretével megegyező számú madár van kirajzolva, folyamatosan haladnak balról jobbra, a magasságuk a gravitáció hatására csökken. Az ugrási parancsok mesterséges intelligenciával vannak vezérelve. Ha egy madár oszloppal ütközik, akkor meghal, és eltűnik a képernyőről. *Jobb oldalt f*elül az aktuális generáció száma, alatta az egyes madarak fitnessz értékei láthatóak sorszámozva feketével. A madár halálával a

fitnessz értékét tartalmazó szöveg színe *piros* lesz. Ha minden madár meghal, akkor lefut a tanító algoritmus, majd a generáció száma eggyel nő, és a játék újraindul, de a madarak már máshogy fognak ugrálni.



8. ábra

- Input paraméterek, és a játék indítása. A bemeneti paramétereket csúszkával lehet állítani, majd a gombok segítségével lehet véglegesíteni, majd indítani a játékot. Alaphelyzetben a *csúszkák*, és az *Apply*, illetve a *Reset* gomb aktív, a *Start* pedig inakvív. A felület ezen része részletesen a következő elemeket tartalmazza:

- Gravity (csúszka): a gravitáció értéke, megadható vele, hogy milyen gyorsan csökkenjen a madár magassága. Állítható: 5-10 között, 1-es lépéseközzel.

- Jump height (csúszka): ugrás magassága, megadható vele, hogy egy ugrással mennyit nőjön a madár magassága. Állítható: 5-10 között, 1-es lépésekkel.

- Population size (csúszka): populáció mérete, azt állítja, hogy hány madár (egyed) legyen a populációban. Ezek az egyedeket vezérli a neurális háló, illetve rajtuk fut a tanítási algoritmus. llítható: 20-100 között, 5-ös lépésekkel.

- Gap between pipes (csúszka): egy oszloppár közti függőleges távolság. Állítható: 90-140 között, 5-ös lépésekkel.

- Distance between pipes (csúszka): két egymást követő oszloppár közti vízszintes távolság. Állítható: 120-180 között, 10-es lépésekkel.

- Number of hidden neurons (csúszka): a neurális háló rejtett neuronjainak száma. Állítható: 3-10 között, 1-es lépésekkel.

- Selection rate in % (csúszka): szelekciós ráta, az evolúciós algoritmus pontosan $\left\lfloor \frac{s}{100} * p \right\rfloor$ darab pár közül választja ki a legjobbat szülőnek (s a szelekciós ráta, p a populáció mérete). Állítható 50-100 között 5-ös lépésekkel.

- Deletion rate in % (csúszka): törlési ráta, az evolúciós algoritmus pontosan $\left\lfloor \frac{d}{100} * p \right\rfloor$ darab egyed helyett teljesen újat hoz létre (d a törlési ráta, p a populáció mérete). Állítható 1-10 között 1-es lépésekkel.

- Crossover rate in % (csúszka): rekombinációs ráta, az evolúciós algoritmus a kiválasztott szülők közül pontosan $\left\lfloor \frac{c}{100} * p \right\rfloor$ darab egyedpár kódjait keresztezi. Állítható 40-90 között 5-ös lépésekkel.

- Mutation rate on population % (csúszka): mutációs ráta a populáción, az evolúciós algoritmus pontosan $\left\lfloor \frac{M}{100} * p \right\rfloor$ darab utódot választ ki, ezek fognak mutálódni. Állítható 5-30 között 5-ös lépésekkel.

- Mutation rate on entity % (csúszka): mutációs ráta az egyeden, az evolúciós algoritmus a mutációra kiválasztott egyedek pontosan $\left\lfloor \frac{m}{100} * p \right\rfloor$ darab kódját lecseréli egy véletlenszerű értékre a $(0,1)$ intervallumban. Állítható 5-30 között 5-ös lépésekkel.

- Threshold score (csúszka): a terminálási feltétel pontszáma, azt állítja, hogy az evolúciós algoritmus mekkora fitnessz értéknél álljon le. Állítható 5000-50000 között 5000-es lépésekkel.

- Apply (gomb): nyugtázás, az input paraméterek véglegesítése. Start gomb előfeltétele.

- Start (gomb): játék indítása, a gomb az Apply gomb megnyomása után válik elérhetővé.

- Reset (gomb): az oldal újratöltése, minden beállítás elveszik, és alapértelmezettre áll vissza.

Használat: A mód használatához először tetszőlegesen módosítsuk az input paramétereket a csúszkával (hagyhatjuk az alapértelemzett beállításokon is). Majd az Apply gombbal véglegesítsük (ekkor az Apply, illetve az input paraméterek inakvívvá válnak, a start gomb pedig aktívvá), majd a Start gomb

megnyomásával elindíthatjuk a játék futását, Innentől semmilyen felhasználói input nem szükséges. A Reset gombbal bármikor újratölthetjuk a lapot, ekkor minden eddigi beálliás elveszik. Az oldalt elhagyni valamelyik felső gombra kattintva lehet.

3.6. A mesterséges intelligencia mód által generált eredmények eredmények értelmezése

3.7. Hibaüzenetek

3.8. Általános információk¶

4. FEJLESZTŐI DOKUMENTÁCIÓ

4.1. Probléma részletes specifikációja

4.2. Felhasznált módszerek részletes leírása

4.3. A program logikai és fizikai szerkezetének leírása

4.4. Tesztelés

5. ÖSSZEFOGLALÁS¶

6. IRODALOMJEGYZÉK

[1] https://www.engadget.com/2017/08/12/ai-beats-top-dota-2-players/?guccounter=1 2018.11.11.

[2]https://en.wikipedia.org/wiki/Flappy_Bird: *2018.10.03.*

[3] https://www.imore.com/sites/imore.com/files/topic_images/2014/topic_flappy_bird.png 2018. 11.13.

[4] http://project.mit.bme.hu/mi_almanach/books/aima/ch04s01 2018.11.15.

[5] [5] Gregorics Tibor: Mesterséges intelligencia fóliasora *2017/18, tavaszi félév*

[6] Gregorics Tibor: Mesterséges intelligencia fóliasora *2017/18, tavaszi félév*

[7] https://github.com/CodeExplainedRepo/FlappyBird-JavaScript 2018.11.13