



Eötvös Loránd Tudományegyetem

Informatikai Kar

Komputeralgebra Tanszék

Gépi tanulás a legnagyobb sebzés eléréséhez

Dr. Vatai Emil

Adjunktus

Komputeralgebra tanszék

ELTE IK

Szalóki Sándor

Programtervező informatikus BSc.

Budapest, 2018

Tartalomjegyzék

1. Bevezető

Legfőbb célom a szakdolgozattal a gépi tanulás mélyebb megértése, tanulása egy olyan példán keresztül, amely előfordulhat problémaként a való életben is.

A probléma, amivel itt foglalkozunk kellően bonyolult ahhoz, hogy a megoldáshoz gépi tanulást kelljen alkalmazni és megoldása ne legyen triviális egy egyszerű algoritmussal.

Ahhoz, hogy a feladat több legyen, mint egy egyszerű út keresés, minden lépés hatással van a környezetére, illetve a környezettől függően egy-egy lépés hatása, értéke változhat.

Erre egy kellő nehézségű probléma a Final Fantasy XIV harcrendszerének szimulálása, majd ebben a szimulációban való tanulás.

Tanulás közben cél, hogy egy adott karakter képességeinek egy olyan sorozatát találjuk meg, amivel a lehető legnagyobb sebzést tudjuk elérni egy általunk megadott indőintervallum alatt.

2. Felhasználói dokumentáció

2.1. Feladat

2.1.1. Játék modell

Első feladat a játéknak egy kellő pontosságú modellezése. A megoldás hatékonysága érdekében törekedni kell arra, hogy ne legyen felesleges adat, viszont minden, ami szükséges, az elérhető legyen. A harcrendszer szabályai pontosan meghatározhatóak, így a szimulációtól elvárható a pontos eredmény is. Két fő részre osztható a modell: Karakterek és ezek képességei.

Karakterek Minden karakternek három meghatározó eleme van:

Gyorsaság Ez adja meg a karakter globális időzítőjét, amíg az ezzel rendelkező képességek nem használhatóak.

Támadás A képesség, ami a játékos irányítása nélkül történik a karakter gyorsaságától függően.

MP/TP Magic Points, illetve Tactial Points, ezek a képességek erőforrásai.

Képességek Egy képesség leírásához hét tulajdonság szükséges:

Potenciál A sebzés mértékének alapja.

Időzítő Meghatározza, hogy az adott képesség a globális időzítőt, vagy a sajátját használja.

Erőforrás A használatának ára MP, vagy TP-ben.

Combo Képességek hatékonysága növelhető, ha adott sorrendben hajtódnak végre.

Típus Fegyver, vagy varázslat.

Feltétel A használatára vonatkozó feltétel.

Hatás Használat után adott ideig hatással lehet a következő képességére, a hős állapotára, vagy adott időközönként plusz sebzést okozhat.

A karakter tulajdonságai és képességeinek listája alapján egy adott képesség sorozatból készíthető egy szimuláció, amely megadja, hogy a sorozatot hány tizedmásodperc végrehajtani, illetve végrehajtás után ennek mekkora a teljes sebzési értéke.

Fontos, hogy a szimuláció bármely pontján tudjuk, hogy mi a játékos pontos állapota: Erőforrásainak, globális időzítőjének, képességeinek saját időzítőjének állapota, az aktív hatások, illetve ha van, akkor a Combo álltal meghatározott következő képesség.

Ez az állapot megfelel annak, amit a játékos játék közben a képernyőn láthatna.

2.1.2. Gépi tanulás

A feladat ebben a szimulációban egy olyan képesség sorozat keresése, amely eléri a felhasználó által megadott időt, és ezalatt az idő alatt minél hatékonyabb legyen, azaz a legnagyobb sebzés elérésére törekszik.

A probléma tér elég nagy ahhoz, hogy egy egyszerű kereső algoritmus futási ideje túl nagy legyen. Ennek megoldásához megerősítéses tanulást használ a program.

Ehhez szükséges, hogy a játék állapotáról egy kellően pontos képet kapjunk, erre szolgál a játék szimulációjából tudható képszerű adat. Ezt az adatot állapotnak, a képességeket pedig akcióknak használhatjuk fel.

2.1.3. Grafikus felület

Szükséges egy egyszerű grafikus felület, amely megkönnyíti a program használatát, átláthatóságát. Egy felület a képességek sorozatának megjelenítéséhez, a gépi tanulás eredményének grafikus feldolgozásához, fejlődésének szemléltetéséhez.

Az algoritmus eredményessége jól bemutatható néhány egyszerű grafikonon, például a tudás alapján egy sebzés-idő arányokat mutató grafikon, illetve egy, amely az elmúlt generációk tudását jelöli.

2.2. Módszerek

A feladat megoldása funkcionális programozással történik. A választott nyelv az F#.

2.2.1. Játék modell

Az említett két fő elemet (Karakterek és Képességek) megfelelő típusokkal vesszük, majd egy-egy tetszőleges karaktert a képességeivel együtt már egyszerűen előállíthatunk. Miután kellő adat birtokában vagyunk, a képességekből összeállíthatunk egy sorozatot, amit szimulálni szeretnénk.

A játék harcrendszerének szimulációja két lépésben történik.

1. A képességek sorozatát validálni kell. Ellenőrizni kell, hogy a képesség időzítője szerint lehetséges-e már a használata, rendelkezésre áll-e megfelelő típusú és mennyiségű erőforrás. Illetve néhány képesség rendelkezhet saját feltétellel, amit szintén ellenőrizni kell. Amennyiben minden rendelkezésre áll, a képességet meg kell tartani és a megfelelő hatásokat, illetve időzítőket be kell állítani.
2. A validált sorozaton végig kell menni és minden ponton az adott állapot szerint ki kell számolni, hogy abban a tizedmásodpercen mennyi sebzés történt, majd ezeket összegezni.

2.2.2. Gépi tanulás

A megfelelő algoritmus választásához több tényezőt is figyelembe kell venni. A problémátér túl nagy, emiatt az egyszerű kereső algoritmusok hatékonysága nem elég. Erre egy megoldás a megerősítéses tanulás. Az akciók értéke az állapottól függ, illetve az akciók változtathatják az állapotot, emiatt az a feladat nem vezethető vissza egy egyszerű többkarú rabló problémára sem.

A probléma megoldásához Monte-Carlo-módszer használható. Az algoritmusnak nincs szüksége a háttérben működő szimuláció pontos leírására, elég ha tudunk adni egy pontos képet az állapotról, illetve az adott állapotban választott akciók értékéről.

A szimuláció olyan módon működik, hogy megfelelő képet tudjon adni az állapotról, az akció értéke pedig megadható az képesség sebzésének függvényében.

2.2.3. Grafikus felület

A program nem igényel bonyolult grafikus felületet. Egyszerű Model-View-ViewModel (MVVM) architektúra használatával épül fel Windows Presentation Foundation (WPF) segítségével. Karakterenként a kilistázzuk a képességek ikonjait, melyek

majd választhatóak lesznek szimulációra. Lehetőséget kell adni az eredmény sorozatnak kilistázására, illetve grafikonok rajzolására. Fontos, hogy a számolás a háttérben fusson, hiszen ez egy idő után nagy számításokkal járhat, ami zárolhatja az ablakot.

2.3. Rendszer-követelmények, telepítés

A program futtatásához Windows operációs rendszer szükséges. Telepítés nem szükséges, viszont a futtatható állomány mellé el kell helyezni a (programmal együtt kiadott) dinamikus könyvtárakat is.

Ajánlott hardware: Quad-Core 2.3 Ghz processzor, 2 GB RAM

Software követelmény: Microsoft .NET Framework 4.6.1

2.4. A program használata

A program indításához a futtatható állomány szükséges (App.exe). Ennek indításával rögtön egy ablak fogad (?? ábra). Az ablakon található egy menüsor rendre Add, Start, illetve Cancel gombokkal. Alatta található a program futásához szükséges beállítások mezői. Soronként találhatóak a karakterek és a hozzájuk rendelt képességek listája (skillset). Az ablak közepén kerül majd megjelenítésre futtatás során a tanult képesség sorozat, majd alatta a két grafikon. Továbbá található még egy státusz sor a képernyő legalján. Ebben a következő információk találhatóak:

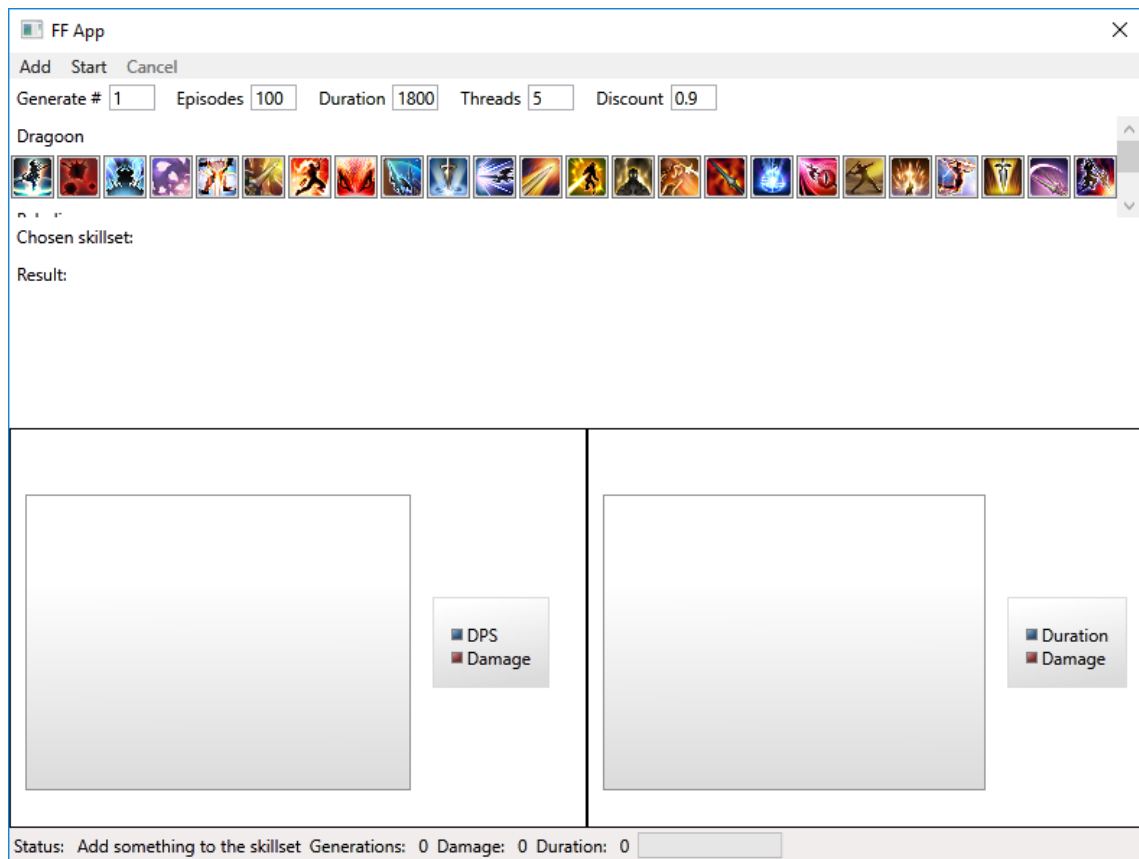
Status rövid üzenet a program állapotáról;

Generations a jelenlegi generáció száma;

Damage a tanult képesség sorozat által elért sebzés értéke;

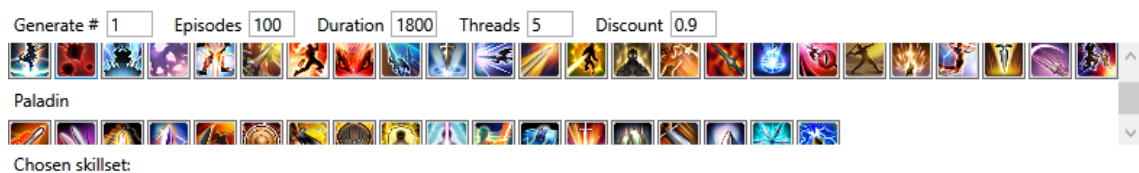
Duration a tanult képesség sorozat által elért idő tizedmásodpercben;

Progress Bar töltő csík, amely mutatja, ha éppen számolás történik a háttérben.



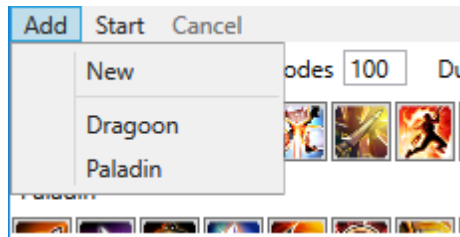
1. ábra. Kezdő képernyő

Mielőtt elindíthatnánk a tanulást, választanunk kell egyet a megadott karakterek képességlistái közül (?? ábra). Minden képesség lista fölött megtalálható a hozzá tartozó karakter neve. A kurzor egy képességen tartása után megjelenik a képesség neve, rövid leírása.



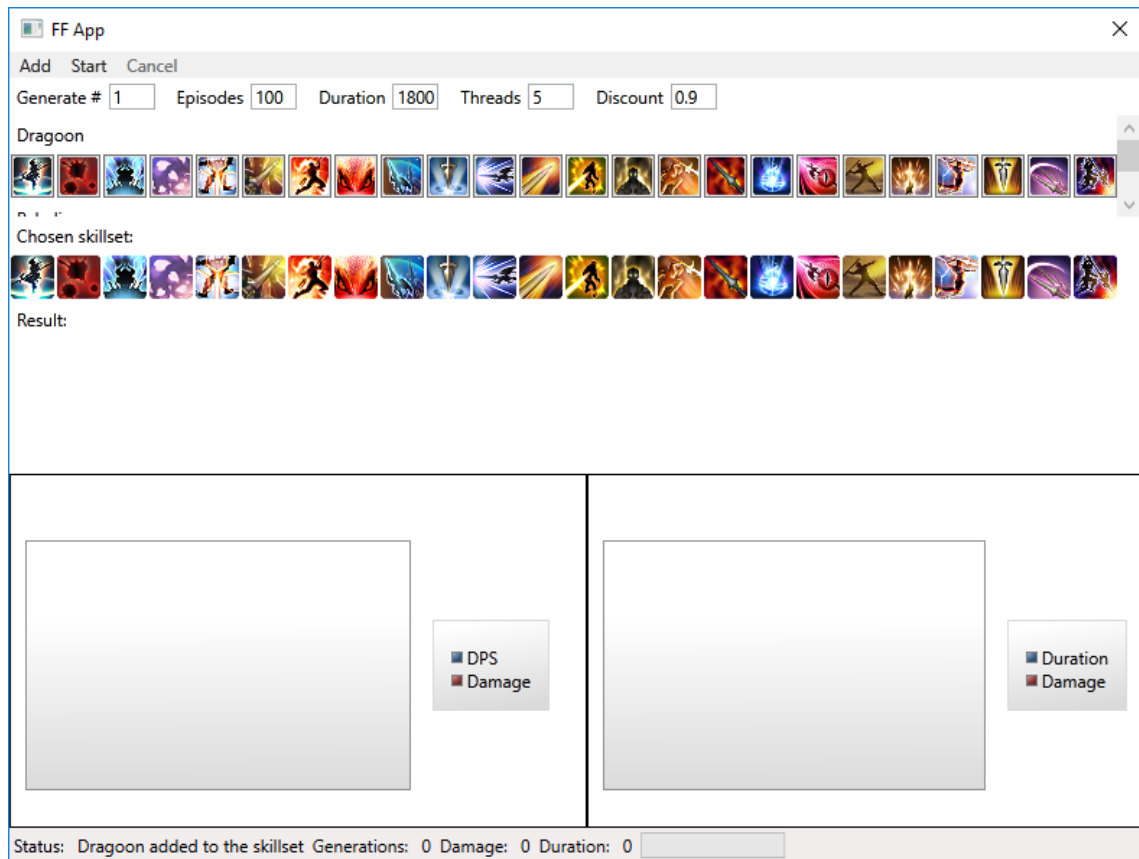
2. ábra. Lehetséges választható karakterek

Ha megtaláltuk a megfelelő listát, akkor az Add menüpontban (?? ábra) választhatjuk ki a szükséges listát név alapján. Választás után szabadon cserélhetjük a listákat. A New gombra kattintva a programot alaphelyzetbe állíthatjuk.



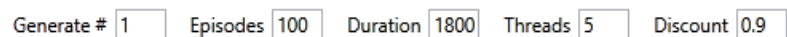
3. ábra. Lehetséges választható listák az Add menüpont alatt

A lista kiválasztása után erről információt kapunk, a választott lista megjelenik a Chosen skillset alatt (4. ábra). Ezen a ponton a tanulás elindítható a Start gombbal.



4. ábra. A választott lista megjelenik a képernyőn

Indítás előtt lehetőségünk van néhány beállítás változtatására (5. ábra).



5. ábra. Futási beállítások

A beállítások sorra:

Generate A kívánt generációk számát adhatjuk meg (Értéke: 1..)

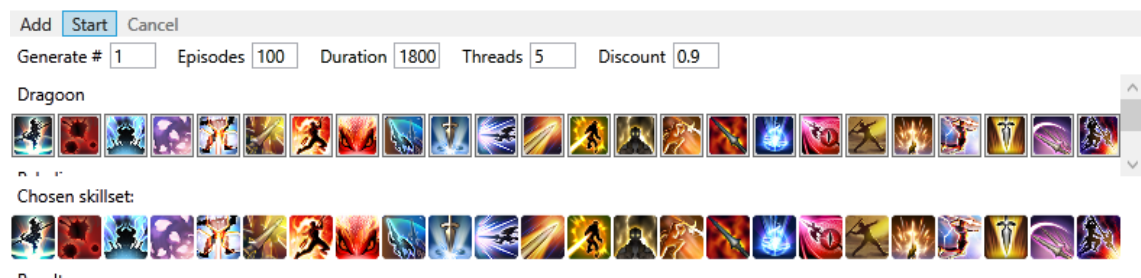
Episodes Generációnként létrehozott szimulációk száma (Értéke: 1..)

Duration Szimulációk hossza tizedmásodpercben (Értéke: 1..)

Threads Párhuzamosítás során használható magok száma (Értéke: 1..)

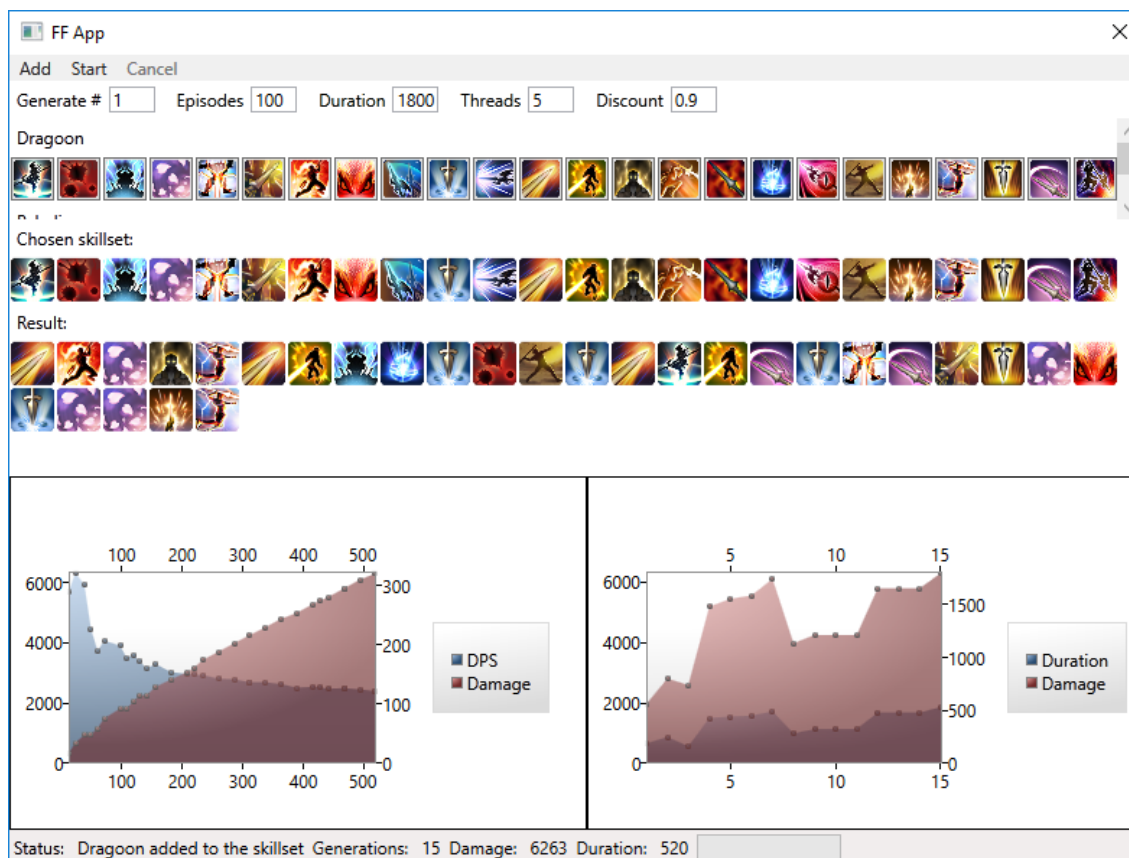
Discount Ez a szám jelöli egy-egy akció értékének hatásának arányát az előtte lévő akciókra (Értéke: 0.0 .. 1.0)

Amennyiben a beállításokat megfelelőnek találjuk, a Start gomb (6. ábra) lenyomásával elindítható a beállított számú generációk generálása.



6. ábra. Generálások indítása

A program a generációkat egyesével állítja elő és rajzolja őket ki a képre (6. ábra). Eközben a beállítási mezők, illetve az Add és Start gombok nem elérhetőek, viszont a generálás bármikor leállítható a Cancel gombra kattintva. Leállítás kérésére esetén az éppen futó számolás még befejeződik, ennek eredménye megjelenik a képernyőn, majd az eddig letiltott mezők, gombok feloldásra kerülnek.



7. ábra. Eredmény 15 generáció futtatása után

Az eredményről három féle információt kapunk.

Result A jelenlegi tudás alapján generált képesség sorozat

Bal grafikon A Result-ban szereplő képesség sorozat szimulálása során kapott sebzés értékek másodpercre osztott értékei. Piros színnel és Damage névvel jelölt terület mutatja az adott másodpercben elért teljes sebzést. Kék színnel és DPS névvel jelölt terület mutatja az adott másodpercben elért sebzés és idő hányadosát.

Jobb grafikon Nyomon követhetjük minden generáció tudásának sebzés értékét, illetve az elért időtartamát.

3. Fejlesztői dokumentáció

3.1. Specifikáció

A feladat egy karakter és annak képességeinek listájából létrehozni a legnagyobb sebzés értékű képesség sorozatot. A megfelelő specifikáció és az egyszerűség érdekében az alábbi két típust vezetjük be a játék modelljéből:

\mathcal{K} : Képesség

\mathcal{H} : Karakter

Ezek segítségével már megfogalmazhatóak a programra a következő állítások:

$$\begin{aligned} A &= (\mathcal{H}_{Karakter} \times \mathcal{K}^*_{Képességek} \times \mathcal{K}^*_{Eredmény}) \\ B &= (\mathcal{H}_{Karakter'} \times \mathcal{K}^*_{Képességek'}) \\ Q &= (Karakter = Karakter' \wedge Képességek = Képességek') \\ R &= (Sebzés(Karakter', Eredmény) = \argmax_{ks \in \mathcal{P}(Képességek')} Sebzés(Karakter', ks)) \\ \text{Sebzés: } \mathcal{H} \times \mathcal{K}^* &\rightarrow \mathbb{N} \end{aligned}$$

Az állapottér tartalmazza a karaktert és annak használható képességeit, illetve az eredményt. Paramétertérnek felvesszük a karakter és képességeinek listájának egy kezdő állapotát. Előfeltételként lerögzítjük a karakter és képességeinek listájának értékét. Utófeltétel, hogy az eredmény által meghatározott képesség sorozat sebzés értéke az adott karakterrel maximális. Ennek meghatározása a képességek számával arányosan exponenciálisan nő, ezért fontos egy olyan algoritmus használata, amely ezt hatékonyan képes kiszámolni.

3.2. Módszerek

3.2.1. Játék modell

A játék modellezéséhez szükséges a két alaptípus: Karakter és Képesség. Ezeket egy-egy megfelelő erősségű típussal könnyen megvalósíthatjuk.

Skill A Skill típus reprezentálja a Képességet. Ennek a leírása a következő:

```
type Skill =
{
    Name          : string
    Potency       : int
    Action        : ActionType
    CooldownType  : CooldownType
    CostType      : CostType
    CastType      : CastType
    SkillType     : SkillType
    Combo         : Combo list option
    Condition     : (Buff list -> bool) option
    ID            : int
}
```

Ahhoz, hogy a képesség modellje elég pontos legyen a játék szimulációjához, az alábbi típusokkal jellemezzük a tulajdonságait:

```
type CooldownType =
| GlobalCooldown
| OffGlobalCooldown of int
```

```
type CostType =
| Free
| MP of int
| TP of int
```

```
type CastType =
| Instant
| Time of int
```

```
type SkillType =
| Ability
| Weaponskill
| Spell
```

```

type ActionType =
| Damage of Buff list option
| DamageOverTime of potency:int * duration:int * Buff option
| Buff of Buff list
| Debuff of Buff
| Heal of Buff option
and BuffType =
| Job of (Job -> Job)
| Skill of (Skill -> Skill)
| BuffDuration of (Buff -> (Buff * int * int) option)
and Buff =
{
    Name      : string
    Effect     : BuffType
    Duration   : int
    Condition  : Condition
    Stacks     : int
    EndEffect  : (Buff -> Buff) option
    ID         : int
}
and Condition =
| NotLimited
| LimitedUses of uses:int * contidion:(Skill * Job * Buff list ->
    bool)
and Combo =
{
    Name          : string
    Target        : string
    Effect        : Skill -> Skill
    DistruptedByGCD : bool
}

```

Job A Job típus valósítja meg a karaktert. Ennek jellemzése hasonló módon történik. Tulajdonságai jól megfeleltethetők egy-egy típusnak:

```
type Job =  
{  
    Name      : string  
    Speed     : int  
    AutoAttack : Skill  
    MaxMP     : int  
    MP        : int  
    TP        : int  
}
```

Rotation Ezek segítségével a szimulációt reprezentáló típust könnyedén hozhatjuk létre a következő módon:

```
type GCD =  
| Cooldown of int  
| Available  
  
type Tick =  
{  
    ActiveBuffs      : (Buff * int) list  
    ActiveDebuffs    : (Buff * int) list  
    OGCDTimers       : (Skill * int) list  
    GCDtick          : GCD  
    ActiveSkill       : Skill option  
    ActiveDoTs        : (Skill * (int * int)) list  
    ActiveCombo       : (Combo list * int) option  
}  
  
type Rotation =  
| Rotation of (Tick list) * Job
```

A képesség sorozat végleges szimulációja a Rotation típusban jelenik meg. Az ebben szereplő Tick lista reprezentálja az idővonalat, egy Tick egy tizedmásodpercet jelöl. Ezzel a megoldással a szimuláció bármely pontján kérhetünk információt az adott tizedmásodperc adatairól. Tudjuk az éppen aktív pozitív (buff), negatív hatásokat (debuf), minden képesség saját időzítőjét (amennyiben rendelkezik saját időzítővel), a globális időzítő állását, az éppen használt képességet (ha létezik), az aktív időszakos sebzéseket, illetve tudjuk, ha létezik éppen aktív combo (akár több is).

Szimuláció Ahhoz, hogy a Rotation Tick listájába adat kerüljön, szükséges egy függvény, amivel a szimulációhoz úgy adhatunk új képességeket, hogy az validálva legyen, illetve a lehető legnagyobb pontossággal tükrözze a valódi játékban történő eseményeket. Ezt a feladatot a Rotation Add függvénye végzi el.

```
static member add (skill: Skill) (rotation: Rotation) =
    match rotation with
    | Rotation (ticks, job) ->
        match ticks with
        | [] -> failwith "Failed to add skill to the rotation"
        | ticks ->
            let ticks = ticks |> List.indexed
            let lastIndex, last = ticks |> List.last
            let job = Rotation.updateJob job lastIndex last
            let originalSkill = skill
            .
            .
            .
```

Ez a függvény az alábbi dolgokat hajtja végre:

Global Cooldown - GCD Miután feloldottuk a típust és megszereztük az eddigi Tick listát, elkezdhetjük előállítani a következő Tick adatait. Először megnézzük, hogy az előző állapotban mi volt a globális időzítő értéke és beállítjuk az állapota alapján az megfelelő értékre.

Skill Következő lépésben az éppen használni kívánt képességet az aktív hatások és combo alapján frissítjük. Kihasználjuk, hogy a hatások típusa (Skill \rightarrow Skill), így ezek kompozíciójával egyszerűen számolhatunk.

Combo Miután az aktív képességet a hatások által meghatározott állapotára hoztuk, beállíthatjuk ez alapján az combo értékét is. Sok esetben egy képesség csak akkor kap combo tulajdonságot, ha már ő maga is az előző combo célja volt, ezért fontos, hogy ez a lépés a frissítés után történjen. Amennyiben a képesség nem rendelkezik ilyen tulajdonsággal, az előző állapotot kell tovább vinnünk. Ha az előző állapotban megadott Combo időzítője lejárt, ezt törölni kell.

Buff A Combo tulajdonsághoz hasonlóan a képességhez tartozó új hatások is más hatások eredménye képpen kerülhetnek csak elő. Ezeket a megfelelő időzítővel ellátva rakjuk bele hatások listájába. Ezeken a listákon végig kell menni és ellenőrizni, hogy az időzítőjük alapján törölni kell-e őket.

Cast Time Fontos, hogy egy képesség használata mennyi időt vesz igénybe, hiszen e szerint kell használat után további "üres" Tick-ekkel feltölteni a szimulációt, amivel garantáljuk az idő múlását.

Damage over Time - DoT Képességeknek lehetőségük van nem csak egy-szeri sebzést okozni, de megadott ideig időközönkénti sebzést okozni. Ezeket az időközönkénti sebzéseket is külön tárolnunk kell egy listában. A listát ellenőrizni kell, amennyiben egy időzítő lejárt, a hozzá tartozó elemet törölni kell.

Off Global Cooldown - OGCD A saját időzítővel rendelkező képességek időzítőinek listáján is végig kell menni és a lejárt időzítőket törölni kell.

Condition Képességeket az időzítőjük típusától függően különböző feltételekkel tehetjük csak be a szimulációba. Közös működés történik amennyiben a képességhez szükséges erőforrás nem áll rendelkezésre (ekkor addig várunk, amíg megfelelő mennyiségű erőforrás keletkezik), illetve amikor a képesség saját feltétele (ha van) nem teljesül. Ha a saját feltétel nem teljesül, akkor a képesség használata nem szabályos, nem kerül be a szimulációba.

GCD Az egyszerűbb eset, amikor a globális időzítőt használja a képesség. Ekkor megvárjuk a globális időzítő végét, majd a képességet hozzá adjuk a szimulációhoz és újra indítjuk a globális időzítőt.

OGCD Ebben az esetben ellenőrizni kell, hogy a képesség saját időzítője már benne van-e az aktív időzítők listájában. Amennyiben benne van, a képességet nem tudjuk használni. Ellenkező esetben a képesség időzítőjét elindítjuk, a képességet hozzá adjuk a szimulációhoz.

Üres Tick Sokszor van szükség "üres" időtöltésre, ekkor a szimulációt ugyan ezek a szabályok alapján, de aktív képesség nélkül töljük fel megfelelő számú új Tick-el.

Sebzés számlálás Miután a képesség sorozatból megkaptuk a megfelelő validált szimulációt, lehetőségünk van ezen végig menni és megszámlolni a sorozat teljes sebzés értékét. A szimulált sorozatban minden képesség sebzés értéke már rendelkezik a hatások módosításaival, tehát ezt nem kell újra számolni. Minden karakter rendelkezik egy sebesség tulajdonsággal, illetve egy alapvető támadással, ezt itt kell nyomon követnünk. A sebesség álltal meghatározott időközönként ezt a támadást hozzá kell adnunk a szimulációban található sebzésekhez. Ez a támadás szintén élvezheti a hatások módosításait, tehát ezeket is itt kell hozzá adnunk az előbb használt módon. Található még a szimulációban időközönkénti sebzés is, amit szintén itt kell nyomon követnünk.

Ebből a három tényezőből már egy számszerű sebzés érték rendelhető minden Tick-hez. Ezeket az értékeket összegezve megkapjuk a szimuláció teljes sebzési értékét.

```
let ToDamage (rotation: Rotation) : int =  
  match rotation with  
  | Rotation (rotation, job) ->  
    let time = (List.length rotation) / 10  
    rotation  
    |> List.indexed  
    |> List.fold (fun dps (index, tick) ->  
      .  
      .
```

3.2.2. Mereősítéses tanulás

A választott algoritmus az Off-Policy Monte Carlo módszer az optimális $\pi \approx \pi_*$ stratégia közelítéséhez.

Az eredeti algoritmus ehhez (forrás: [1]) a következő:

Kezdetben $\forall s \in \mathcal{S} : \forall a \in \mathcal{A}(s) :$

$Q(s, a) \in \mathbb{R}$ (tetszőleges)

$C(s, a) \leftarrow 0$

$\pi(s) \leftarrow \operatorname{argmax}_a Q(s, a)$

Végtelen ciklus (minden szimulációra) :

$b \leftarrow$ tetszőleges gyenge stratégia

Szimuláció létrehozása b -t használva: $S_0, A_0, R_1, \dots, S_{T-1}, A_{T-1}, R_T$

$G \leftarrow 0$

$W \leftarrow 1$

Ciklus a szimuláció minden lépésére, $t = T - 1, T - 2, \dots, 0 :$

$G \leftarrow \gamma G + R_{t+1}$

$C(S_t, A_t) \leftarrow C(S_t, A_t) + W$

$Q(S_t, A_t) \leftarrow Q(S_t, A_t) + \frac{W}{C(S_t, A_t)} [G - Q(S_t, A_t)]$

$\pi(S_t) \leftarrow \operatorname{argmax}_a Q(S_t, a)$

Ha $A_t \neq \pi(S_t)$: Ciklus vége

$W \leftarrow W \frac{1}{b(A_t|S_t)}$

Mivel a program funkcionális nyelven készült, az algoritmust, ennek megfelelően kellett megváltoztatni. Az algoritmus megvalósításához szükséges néhány változtatás. A használt típusok és függvények leírásai:

$$\mathcal{S} : \mathbb{N}^* \times \mathbb{N}^* \times \mathbb{N}^* \times \text{string}^* \times \mathbb{N} \times \mathbb{N}$$

$$\mathcal{A} : \mathbb{N}$$

$$\mathcal{Q} : \mathcal{S} \times \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$\mathcal{C} : \mathcal{S} \times \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$\pi : \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^*$$

$$\mathcal{E} : \mathcal{S} \times \mathcal{A} \times \mathbb{R}$$

$$\text{Episode} : \mathcal{E}^*$$

$$\text{GenerateEpisode} : \pi \rightarrow \text{Episode}$$

$$\text{CreateRandomPolicy} : \pi$$

$$\text{CreateGreedyPolicy} : \mathcal{Q} \rightarrow \pi$$

$$\text{CreateEpsilonGreedyPolicy} : \mathcal{Q} \times \varepsilon \rightarrow \pi$$

$$\text{MonteCarlo} : \mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \pi \rightarrow \mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \pi$$

A fenti típusok használata segítségével az algoritmus átírható egy annak megfelelő, funkcionális szemlélettel előállított függvényre. Ciklusok helyett foldl, illetve foldr műveletek használhatóak. Ahhoz, hogy a módosítások ne vesszenek el, mindezt, amit az eredeti függvény változóiban tárol, a fold függvények állapotában kell tárolnunk. A függvény kimenete az algoritmus által előállított Q, C függvények, illetve az ezekből előállítható mohó stratégia. A fenti algoritmus a ε -mohó stratégiát lépésenként állítja elő, ezt az alábbi függvényben csak a legvégén tesszük meg.

```

MonteCarlo :  $\mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \pi \rightarrow \mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \pi$ 
MonteCarlo Q C b =
  episodeFolder :  $\mathbb{R} \times \mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathcal{E} \rightarrow \mathbb{R} \times \mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \mathbb{R}$ 
  episodeFolder (G, Q, C, W) E =
    (S, A, R) = E
    g =  $\gamma G + R$ 
    c (S, A) =  $C(S, A) + W$ 
    q (S, A) =  $Q(S, A) + \frac{W}{C(S, A)}[G - Q(S, A)]$ 
    w =  $W \frac{1}{b(S)|A}$ 
    (g, q, c, w)
  episodes : Episode*
  episodes = [GenerateEpisode b|x ← [1..]]
  episodesFolder :  $\mathcal{Q} \times \mathcal{C} \rightarrow \text{Episode} \rightarrow \mathcal{Q} \times \mathcal{C}$ 
  episodesFolder (Q, C) E =
    (g, q, c, w) = foldl episodeFolder (0, Q, C, 1) E
    (q, c)
  (q, c) = foldr episodesFolder (Q, C) episodes
  q, c, CreateGreedyPolicy q

```

Az itt található GenerateEpisode feladata az adott stratégia használatával létrehozni egy-egy szimulációt. Ehhez szükséges néhány új függvény a játék modell és a tanulás közötti átmenet miatt:

```

Random :  $\mathbb{R}^* \rightarrow \mathcal{A}$ 
ToSkill :  $\mathcal{A} \rightarrow \text{Skill}$ 
Add :  $\text{Skill} \times \text{Rotation} \rightarrow \text{Rotation}$ 
FromRotation :  $\text{Rotation} \rightarrow \mathcal{S}$ 
ToDamage :  $\text{Rotation} \rightarrow \mathbb{N}$ 
Time :  $\text{Rotation} \rightarrow \mathbb{N}$ 
EmptyRotation :  $\text{Rotation}$ 
Duration :  $\mathbb{N}$ 

```

Ezek használatával a szimuláció már egyszerűen létrehozható az alábbi módon:

```

GenerateEpisode :  $\pi \rightarrow Episode$ 
GenerateEpisode b =
  Generate :  $Rotation \times \mathcal{S} \times \mathbb{L} \times Episode$ 
  Generate Rot S l Ep =
    Ha l: Ep
    A :  $\mathcal{A}$ 
    A = Random (b S)
    (s, r, l, rot) :  $\mathcal{S} \times \mathbb{R} \times \mathbb{L} \times Rotation$ 
    (s, r, l, rot) =
      skill = ToSkill A
      rotation = Add skill Rot
      state = FromRotation rotation
      reward =
        Ha (Time Rot) = (Time rotation): -50
        Ha (Time rotation) > Duration: 1000
        Különben:  $\frac{ToDamage(rotation)}{Time(rotation)}$ 
      finished = (Time Rot) = (Time rotation)  $\vee$  (Time rotation) > Duration
      (state, reward, finished, rotation)
    Generate rot s l (Ep + (S, A, r))
  Generate EmptyRotation (FromRotation EmptyRotation) False []

```

Reward Ezen a ponton szükséges minden állapothoz egy jutalom választása. A folyamatos magas sebzésre törekvés érdekében a jutalom az aktuális sebzés értéke és az eltelt idő hányadosa. Szükséges a rossz működés büntetése is. Amennyiben az akciót követően a szimuláció ideje nem változik, az adott akció egy nem megengedett volt. Ha a szimuláció időtartama eléri az előre megjelölt célt, a jutalom sokszorosát kapja.

Generációk A hatékonyság növelése érdekében a MonteCarlo episode generálás-hoz használt belső π értéke egy ε -mohó stratégia. További hatékonyság növelést

érünk el, ha a generált szimulációk számát korlátozzuk, majd a tanult tudás alapján az algoritmust újra indítjuk úgy, hogy az új π -t ez alapján a tudás alapján hozzuk létre egy már kisebb ε értékkel. Kezdetben az algoritmust egy igazságos véletlen szerű startégiával indítjuk el. Ezeket a meneteket hívjuk itt generációknak.

Egy generációs algoritmust ezek alapján a következő éppen fogalmazhatunk meg az eddig ismert típusok és függvények használatával:

GeneticMonteCarlo : $\mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \pi \rightarrow \mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \pi$

GeneticMonteCarlo Q C b =

Folder : $\mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \pi \rightarrow \mathbb{N} \rightarrow \mathcal{Q} \times \mathcal{C} \times \pi$

Folder (Q C b) i =

$\varepsilon = 1 / (5 \times \ln i + 5)$

(q, c, pi) = MonteCarlo Q C b

(q, c, CreateEpsilonGreedyPolicy q ε)

(q, c, pi) = foldl Folder [1..] (Q, C, b)

q, c, CreateGreedyPolicy q

3.2.3. Grafikus felület

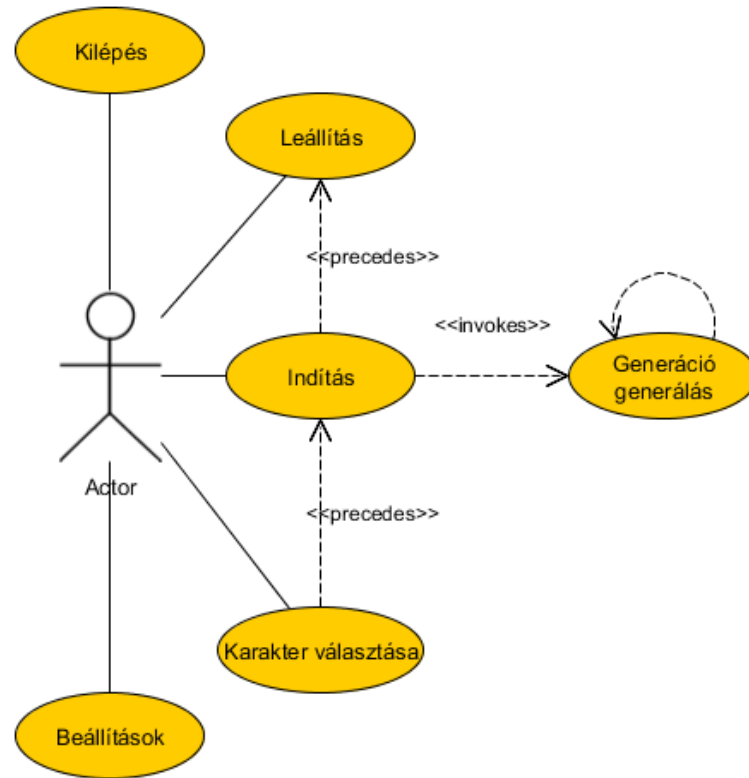
Grafikus felületet WPF segítségével könnyen adhatunk a számolások fölé. Szerkezetében MVVM architektúrát használunk, ahol a Model a játék modellje, illetve a gépi tanulás algoritmusai. View egy egyszerűbb ablakból áll, melyhez tartozik a számolásokat kezelő ViewModel.

A felhasználónak lehetősége van a programból kilépni, beállításokat állítani (?? oldal: ?? ábra). A tanítás indítása előtt szükséges egy karakter választása (?? oldal: ?? ábra). Ekkor az indítás elérhető válik. Indítást követően a program automatikusan elkezdi generálni a beállításokban megadott számú és tulajdonságú generációkat. Ez a folyamat bármikor megszakítható.

Minden generáció előállítása után a felület megjeleníti az adott generáció tudását. A tanult stratégia alapján létrehozunk egy képesség sorozatot, a továbbiakban ennek tulajdonságait jelenítjük meg. Ezt három féle módon tesszük meg:

1. A sorozat elemeit kilistázzuk a megfelelő képekkel

2. Egy grafikonon ábrázoljuk a sorozat minden állapotában elért sebzés értékét, illetve annak idővel vett hányadosát.
3. Egy másik grafikonon vezetjük az elmúlt generációk sebzés, illetve idő értékét



8. ábra. A grafikus felület Use-Case diagrammja

Mivel a számítások idő és erőforrás igénye magas lehet, ezeket egy másik, háttérben futó szálon indítjuk el. Ezt egy BackgroundWorker segítségével valósítjuk meg. Minden generáció előállítása végén ez a szál jelet küld a grafikus felület kezelő szálnak, illetve átadja a szükséges kiírandó információkat. Ekkor a grafikus felület kirajzolja a képernyőre a megfelelő új adatokat, a háttér szál tovább számolja az újabb generációkat (amennyiben ezekre még igény van). A háttér szál futása közben a beállítások mezői, illetve a leállítás gombjának kivételével a gombok le vannak tiltva, így a felhasználó nem tud beleszólni az éppen futó számolás alapvető beállításába.

3.3. Szerkezet

3.3.1. Külső függőségek

A program két fő részre oszlik: Model (játék és gépi tanulás számítások), illetve Grafikus felület. Közös követelmény az F# fordító, a Microsoft.FSharp könyvtárak.

A program Model része további külső függőségekre nem támaszkodik.

A grafikus felület működéséhez szükséges az F# és WPF közötti átjáráshoz:

1. FsXaml.Wpf - XAML fájlok kezeléséhez F# kódból
2. FSharp.Desktop.UI, FSharp.ViewModel.Core - MVVM architektúrát segítő könyvtárak
3. System.Windows.Interactivity.WPF - Reaktív felülethez szükséges könyvtár
4. System.Windows.Controls.DataVisualization.Toolkit - Grafikonok rajzolása
5. Rx-Core, Rx-Interfaces, Rx-Linq, Rx-Main, Rx-PlatformServices - További könyvtárak reaktív felülethez

3.3.2. Adatszerkezetek

Játék modell A játék modelljének megvalósításához szükséges fő típusok:

1. Skill - Képesség
2. Job - Karakter
3. Rotation - Szimuláció

Ezek megfelelő pontosságú leírásához szükség van további típusokra.

```
type CooldownType =  
    | GlobalCooldown  
    | OffGlobalCooldown of int  
  
type CostType =  
    | Free  
    | MP of int
```

```

| TP of int

type CastType =
| Instant
| Time of int

type SkillType =
| Ability
| Weaponskill
| Spell

type ActionType =
| Damage of Buff list option
| DamageOverTime of potency:int * duration:int * Buff option
| Buff of Buff list
| Debuff of Buff
| Heal of Buff option
and BuffType =
| Job of (Job -> Job)
| Skill of (Skill -> Skill)
| BuffDuration of (Buff -> (Buff * int * int) option)
and Buff =
{
    Name      : string
    Effect     : BuffType
    Duration   : int
    Condition  : Condition
    Stacks     : int
    EndEffect  : (Buff -> Buff) option
    ID         : int
}
and Condition =
| NotLimited
| LimitedUses of uses:int * contidion:(Skill * Job * Buff list ->

```

```

        bool)
and Combo =
{
    Name          : string
    Target         : string
    Effect         : Skill -> Skill
    DistruptedByGCD : bool
}
and Skill =
{
    Name          : string
    Potency       : int
    Action        : ActionType
    CooldownType  : CooldownType
    CostType      : CostType
    CastType      : CastType
    SkillType     : SkillType
    Combo         : Combo list option
    Condition     : (Buff list -> bool) option
    ID            : int
}
and Job =
{
    Name          : string
    Speed         : int
    AutoAttack    : Skill
    MaxMP         : int
    MP            : int
    TP            : int
}

type GCD =
| Cooldown of int
| Available

```

```

type Tick =
{
    ActiveBufs      : (Buff * int) list
    ActiveDebufs    : (Buff * int) list
    OGCDTimers      : (Skill * int) list
    GCDtick         : GCD
    ActiveSkill     : Skill option
    ActiveDoTs      : (Skill * (int * int)) list
    ActiveCombo     : (Combo list * int) option
}

type Rotation =
| Rotation of (Tick list) * Job

```

Gépi tanulás A gépi tanuláshoz egy további típusra van szükség. A State típus jelöli az állapotot, amit a szimuláció egy pontjából kapunk megfigyelés után:

```

type State =
(int list) * (int list) * (int list) * (string list) * int * int

```

Megfigyelés a következő képpen történik: Lekérdezzük az aktuális Tick adatait, majd ezeket a gyorsabb számolás érdekében egyszerűbb, de egyértelmű típusokkal reprezentáljuk. Ahol lehetséges egy teljes bonyolult típus helyett csak a hozzá tartozó ID értéket tároljuk, ha ez nem létezik, akkor a nevét. Az erőforrások értékét átalakítás nélkül tárolhatjuk.

```

let fromRotation (r: Rotation) : State =
    match r with
    | Rotation (ticks, j) ->
        let last = List.last ticks
        let buffs =
            last.ActiveBufs
            |> List.map (fun (b, _) -> b.ID)
            |> List.sort

```

```

let ogcd =
    last.OGCDTimers
    |> List.map (fun (b, _) -> b.ID)
    |> List.sort

let dots =
    last.ActiveDoTs
    |> List.map (fun (b, _) -> b.ID)
    |> List.sort

let combo =
    match last.ActiveCombo with
    | None -> []
    | Some combos -> (fst combos) |> List.map (fun c ->
        c.Target) |> List.sort

(bufffs, ogcd, dots, combo, j.TP, j.MP)

```

További hatékonyság növelés érdekében az (Állapot \rightarrow Értékek) tárolását kettő szintes Map típusban valósítjuk meg. Ez az Állapot (State) bonyolult típus a gyors összehasonlításhoz, de ezen segíthetünk, ha egy hash függvény alapján más-más Map szerkezetekben tároljuk őket. Erre a célra egy megfelelő hash függvény (a legtöbbet változó) első két lista hosszának összege:

```

let toKey (s: State) : int =
    let bufffs, ogcd, _, _, _, _ = s
    bufffs.Length + ogcd.Length

```

Grafikus felület Szükséges a képességek kezeléséhez egy megfelelő View Model. Ezt valósítja meg a SkillView típus:

```

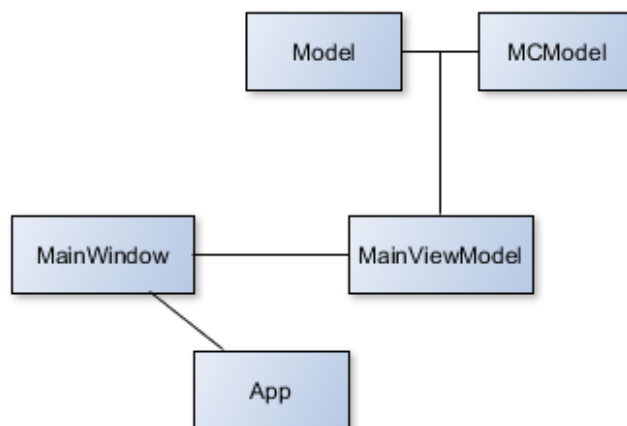
type SkillView (s: FFDPSMeter.Model.Skill, place: int) =
    member this.Name = s.Name
    member this.Potency = s.Potency
    member this.ID = s.ID
    member this.Image = "/Resources/Skills/" + (s.Name.Replace(" ",
        "")) + ".png"
    member this.Place = place

```

```
member this.ToMLModel (s: FFDPSMeter.Model.Skill list) =  
    s  
    |> List.find (fun skill -> skill.ID = this.ID)
```

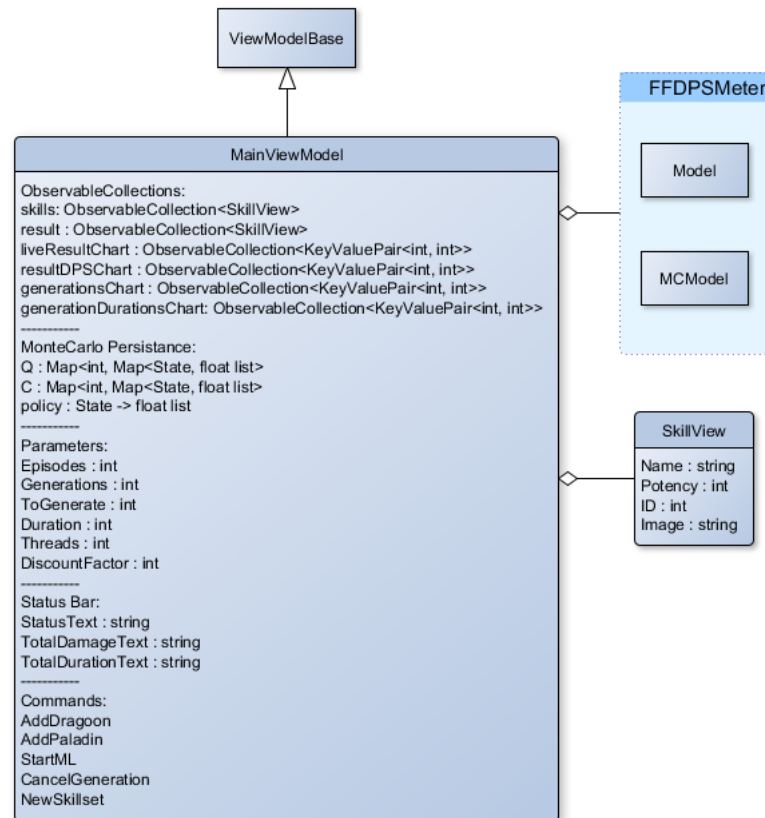
A reaktív felület elérése érdekében a ViewModel-ben szereplő adatok ObservableCollection-ben találhatóak.

3.3.3. Modulok



9. ábra. Modulok kapcsolata

A modulok helyes együttműködését az App biztosítja. Az egyetlen ablak felületet a MainWindow valósítja meg, illetve az ehhez tartozó MainViewModel. A model, a játék illetve a megerősítéses tanulás kódja. Ezek rendre a Model, illetve az MCModel modulok.



10. ábra. View Model felépítése

3.3.4. Karakterek bővítése

További képességek, karakterek hozzáadása a típusrendszer megszorításaival egyszerűen megoldható.

Egy karaktert az átláthatóság kedvéért egy saját modulba rendezünk, ekkor a modul neve legyen a karakter neve.

Job Első lépésként létre kell hozni a karakter típusával (Job) magát a karaktert, ahol a következő értékeket kell megadni:

```

type Job =
{
    Name      : string
    Speed     : int
    AutoAttack : Skill
    MaxMP     : int
  }
  
```

```

        MP          : int
        TP          : int
    }

```

Name A karakter neve

Speed Gyorsasága tizedmásodpercben

AutoAttack Alapvető támadás (Skill), amit automatikusan Speed időközönként alkalmaz

MaxMP Magic Points maximális értéke

MP, TP MP, illetve TP kezdő értéke (TP maximális értéke mindig 1000)

Skill Képességek megadásához szükséges ismerni a Skill típust is:

```

type Skill =
{
    Name          : string
    Potency       : int
    Action        : ActionType
    CooldownType  : CooldownType
    CostType      : CostType
    CastType      : CastType
    SkillType     : SkillType
    Combo         : Combo list option
    Condition     : (Buff list -> bool) option
    ID            : int
}

```

Name A képesség neve

Potency Sebzési értéke

Action Akció típusa

CooldownType Időzítő típusa

CostType	Erőforrás típusa
CastType	Használatához szükséges idő
SkillType	Képesség típusa
Combo	Lehetséges Combo listája
Condition	Használat feltétele
ID	Képesség egyéni száma

Ez a típus több másik típusra is támaszkodik, a típus teljes megértéséhez szükséges ezen típusok ismerete is.

ActionType Képesség akció típusa szerint más-más hatással lehet a szimulációra.

```

type ActionType =
  | Damage of Buff list option
  | DamageOverTime of potency:int * duration:int * Buff option
  | Buff of Buff list
  | Debuff of Buff
  | Heal of Buff option

```

Damage Egyszerű sebzés, rendelkezhet további hatásokkal (Buff)

DamageOverTime Egyszerű sebzés mellett adott ideig időközönkénti sebzést is okozhat, rendelkezhet további hatásokkal (Buff)

Buff Egyszerű hatások (Buff) hozzáadása

Debuff Hasonló az előző Buff típushoz, de ez negatív hatásokat tartalmaz

Heal Karakter életének növelése (jelenlegi szimulációban ezzel nem foglalkozunk)

Buff Az előző típus leírásához szükséges a Buff típus ismerete is. Ez felelős egy-egy hatás megvalósításáért.

```
type Buff =  
  {  
    Name      : string  
    Effect     : BuffType  
    Duration   : int  
    Condition  : Condition  
    Stacks     : int  
    EndEffect  : (Buff -> Buff) option  
    ID         : int  
  }
```

Name	A hatás neve
Effect	Hatás típusa szerint különböző dolgokat változtathat meg
Duration	Hatás időtartama
Condition	Feltétel a hatás időtartamára
Stacks	Egy-egy hatásnál lehetőség van belső számláló használatára
EndEffect	Lehetőség az időtartam végén, vagy feltétel sérülés esetén átalakítani a hatást
ID	Egyéni azonosító szám

Ehhez továbbá szükséges az alábbi két típus:

BuffType A hatás típusa aszerint, hogy mit változtat.

```
type BuffType =  
  | Job of (Job -> Job)  
  | Skill of (Skill -> Skill)  
  | BuffDuration of (Buff -> (Buff * int * int) option)
```

Job Karakterre vonatkozó módosítások

Skill Képességre vonatkozó módosítások

BuffDuration Másik hatásra, vagy annak időtartamára vonatkozó módosítások
(Ennek eredménye az új hatás, az időtartam növelésének mértéke, illetve a maximális időtartam)

Condition A hatás végéért felelős feltétel.

```
and Condition =  
  | NotLimited  
  | LimitedUses of uses:int * contidion:(Skill * Job * Buff list ->  
    bool)
```

NotLimited Nincs feltétel

LimitedUses Megadható egy feltétel függvény, illetve egy számláló, ami egyel csökken, ha a feltétel igaz. Amennyiben a számláló eléri a nullát, a hatásnak vége van

CooldownType Képességek időzítőjük szerint két csoportba sorolhatóak: globális, illetve saját időzítővel rendelkező képességek.

```
type CooldownType =  
  | GlobalCooldown  
  | OffGlobalCooldown of int
```

GlobalCooldown Globális időzítő

OffGlobalCooldown Saját időzítő és annak mértéke tizedmásodpercben

CostType Erőforrás használata alapján három csoport létezik: ingyenes, MP és TP.

```
type CostType =  
  | Free  
  | MP of int
```

| TP of int

Free Ingyenes

MP Magic Points használata és annak mértéke

TP Tactical Points használata és annak mértéke

CastType Egy képesség használata időt vesz igénybe. Ez alapján két csoport létezik: azonnali használat, vagy várakozni kell a használata előtt.

```
type CastType =  
  | Instant  
  | Time of int
```

Instant Azonnali használat (1 másodpercet vesz igénybe)

Time Adott tizedmásodperc várakozás a képesség használata előtt

SkillType Képességeket három csoportba lehet sorolni típusuk szerint: tehetség, fegyver alapú, vagy varázslat.

```
type SkillType =  
  | Ability  
  | Weaponskill  
  | Spell
```

Ability Tehetség

Weaponskill Fegyver alapú

Spell Varázslat

Combo Képességek adott sorrendben használata esetén változtathatunk a következő képesség tulajdonságain. Ezt valósítja meg a Combo:

```

type Combo =
{
    Name          : string
    Target        : string
    Effect        : Skill -> Skill
    DistruptedByGCD : bool
}

```

Name Combo neve

Target A sorrendben következő képesség neve

Effect Target-ben szereplő képesség módosítása

DistruptedByGCD Ha az értéke igaz, minde globális időzítővel rendelkező képesség megszakítja a Combo-t

Saját karakter befejezése A típusok megértése után már mindent tudunk egy új karakter megírásához:

```

module UjKarakter =
    let Karakter : Job =
        let AutoAttack : Skill =
            {
                Name = "Auto Attack"
                Potency = 72
                Action = ActionType.Damage None
                CooldownType = CooldownType.OffGlobalCooldown 30
                CostType = CostType.Free
                CastType = CastType.Instant
                SkillType = SkillType.Weaponskill
                Combo = None
                Condition = None
                ID = 0
            }
        {

```

```

        Name      = "Uj Karakter"
        Speed     = 25
        AutoAttack = AutoAttack
        MaxMP      = 5000
        MP         = 5000
        TP         = 1000
    }

let Combo1 : Skill =
    let combo : Combo =
        {
            Name = "Combo 1"
            Target = "Combo 2"
            Effect = (fun (s: Skill) -> {s with Potency = int
                ((float s.Potency) * 1.1)})
            DistruptedByGCD = true
        }
    {
        Name      = "Combo 1"
        Potency    = 40
        Action     = ActionType.Damage None
        CooldownType = CooldownType.GlobalCooldown
        CostType   = CostType.TP 100
        CastType   = CastType.Instant
        SkillType  = SkillType.Weaponskill
        Combo      = Some [combo]
        Condition  = None
        ID = 1
    }

let Combo2 : Skill =
    let buff =
        {
            Name = "Buff"

```

```

        Effect = Skill (fun (s: Skill) -> {s with Potency =
            s.Potency + 50}))
        Duration = 150
        Condition = Condition.NotLimited
        Stacks = 0
        EndEffect = None
        ID = 2
    }
}

{
    Name          = "Combo 2"
    Potency       = 70
    Action        = ActionType.Damage (Some [buff])
    CooldownType  = CooldownType.GlobalCooldown
    CostType      = CostType.MP 500
    CastType      = CastType.Time 150
    SkillType     = SkillType.Spell
    Combo         = None
    Condition     = None
    ID = 2
}

let Skillset : Skill =
[
    Combo1
    Combo2
]

```

Ekkor az `UjKarakter.Karakter`, illetve az `UjKarakter.Skillset` értékekkel már könnyedén hozhatunk létre új szimulációkat.

3.4. Tesztelés

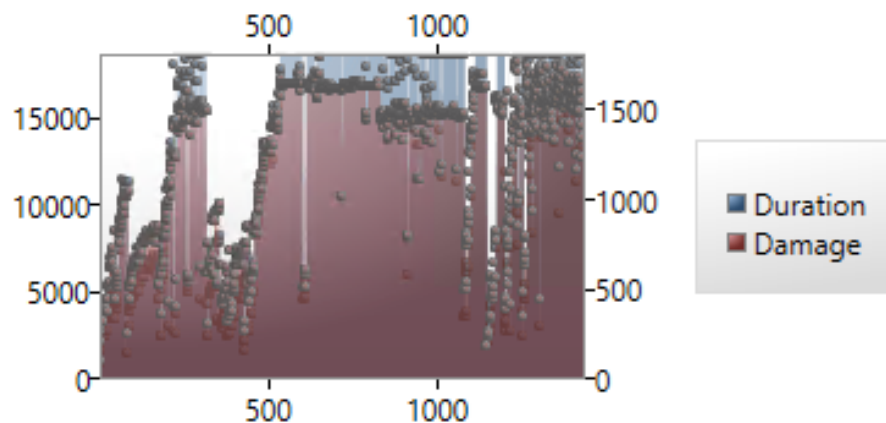
A program tesztelése a gépi tanulás sajátosságai miatt nehéz, helyette a hatékonyságáról lehet írni. Az algoritmusok alapja a véletlenszerű szám generálás, illetve egy valószínűség szerinti akció választás. A végleges algoritmus megengedi, hogy belső

paramétereit futás közben is változtathassuk, így ezek hatékonyságának tesztelése lehetséges.

Reward Fontos kérdés a jutalom függvény választása az adott akciókhoz. Jelenleg a jutalom az akció által létrehozott állapot sebzés értékének és idejének hányadosa. ezzel elérhető, hogy az algoritmus egy stabil sebzés/másodperc arányra törekedjen. A büntetés feltétele és mértéke is kérdéses ilyenkor. A jelenlegi jutalom-büntetés rendszer egy működő rendszer, bár az optimalitása kérdéses. Ennek teszteléséhez további kutatás szükséges.

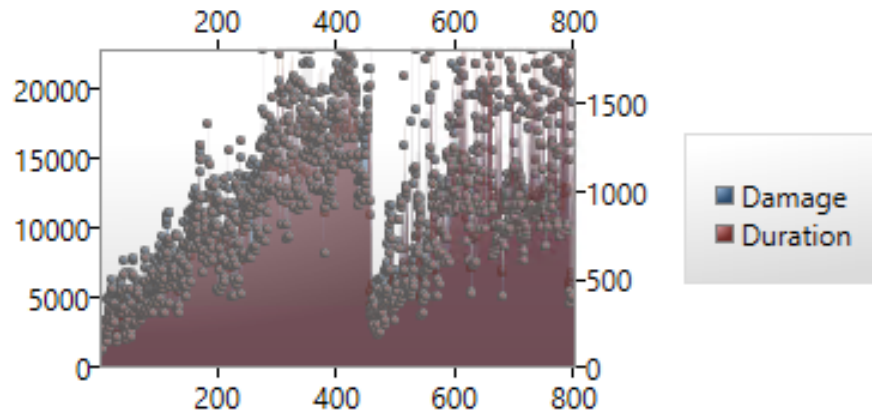
Discount Factor Az algoritmusban egy-egy akció értékének összegzésénél jelen van egy γ szorzó. Ez felelős azért, hogy ha egy szimuláció végtelen hosszú, akkor is egy konvergens sorozatot kapjunk az értékekből. Véges sorozat esetében ezzel az értékkel adhatjuk meg, hogy egy-egy akció értéke mennyire legyen hatással az előtte lévő akciók értékére. γ optimális értéke is kérdéses lehet.

$\gamma = 0.9$ Amikor γ értéke közel van egyhez, látható, hogy az algoritmus sok változtatást nem végez a már megtanult lépéseken. Amikor egy látszólag jó útra tér, annak értéke magas. Ahogy látható az ábrán (11. ábra) a tudása hullámokban növekszik, amíg el nem ér egy stabil állapotot, ahol elkezdődik a nagyobb felfedezés.



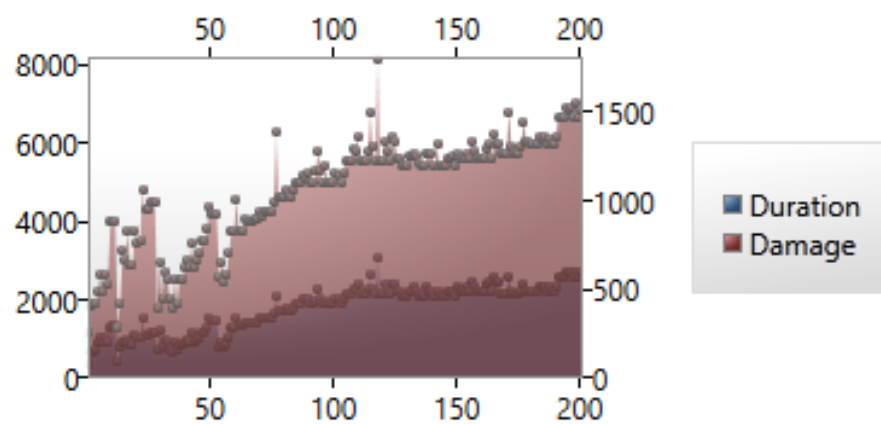
11. ábra. Generációk grafikonja ($\gamma = 0.9$, 1400 generáció, 400 episode/generáció, 180 másodperc)

$\gamma = 0.1$ Ha γ értéke kicsi, egy-egy akció értéke szinte csak a közvetlen előtte lévő akció értékére van hatással. Ilyenkor a generációk grafikonja jelentősen változik (?? . ábra).

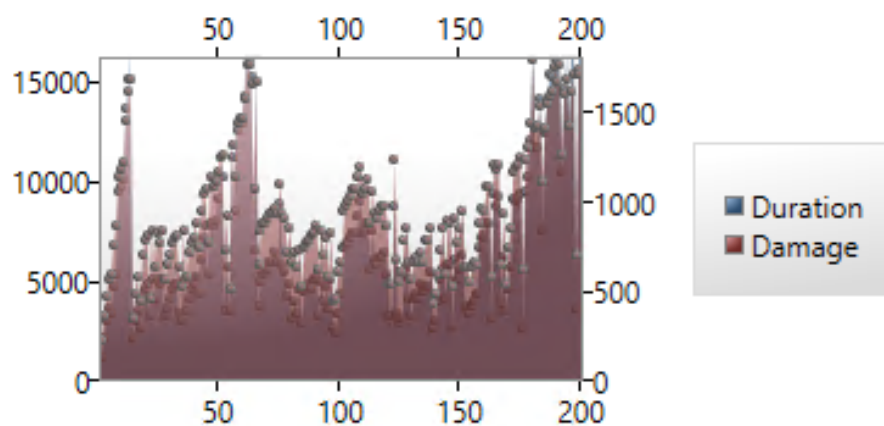


12. ábra. Generációk grafikonja ($\gamma = 0.1$, 800 generáció, 500 episode/generáció, 180 másodperc)

Episodes Megerősítéses tanuláskor fontos, hogy a meglévő tudást ne használjuk ki túlzottan, hiszen lehetséges, hogy egyszer egy akció értéke nagyobbnak tűnik, mint a többi akció értéke, viszont kellő mennyiségű próbálkozás után, egy másik akció értéke jobb lehet. Ha mohó stratégiát használunk, akkor az ilyen "hibás" akció választás miatt az algoritmus lelassul, eltéved. Erre megoldás az ε -mohó startégia, ami csak $1 - \varepsilon$ valószínűséggel választja a tudása szerinti legjobb akciót, a maradék esetben véletlenszerűen dönt. Meggondolandó a generációnkénti szimulációk generálásának száma is. Túl kevés esetén (?? . ábra) az ε -mohó startégia felfedezésére nem adatik elég lehetőség. Túl sok esetén (?? . ábra) a futás ideje és a program memória igénye megnő. Mivel a stratégia, amivel létrehozuk a szimulációkat csak generációváltás alkalmával frissül, a tanulás folyamata jelentős mértékkel nem gyorsul.



13. ábra. Generációk grafikonja ($\gamma = 0.9$, 200 generáció, 10 episode/generáció, 180 másodperc)



14. ábra. Generációk grafikonja ($\gamma = 0.9$, 200 generáció, 1000 episode/generáció, 180 másodperc)

4. Irodalomjegyzék

[1] Richard S. Sutton and Andrew G. Barto: Reinforcement Learning: An Introduction, The MIT Press, 2018, [528], ISBN-978-0-262-19398-6