

Wykorzystanie sztucznej inteligencji w symulowaniu zachowań biologicznych

(Utilizing artificial intelligence to model biological behaviours)

Tymoteusz Kaczorowski

Praca inżynierska

Promotor: dr Jakub Kowalski

Uniwersytet Wrocławski
Wydział Matematyki i Informatyki
Instytut Informatyki

14 lutego 2018 r.

Tymoteusz Kaczorowski

.....

.....

(adres zameldowania)

.....

.....

(adres korespondencyjny)

PESEL:

e-mail:

Wydział Matematyki i Informatyki

stacjonarne studia I stopnia

kierunek: informatyka

nr albumu: 273882

Oświadczenie o autorskim wykonaniu pracy dyplomowej

Niniejszym oświadczam, że złożoną do oceny pracę zatytułowaną *Wykorzystanie sztucznej inteligencji w symulowaniu zachowań biologicznych* wykonałem samodzielnie pod kierunkiem promotora, dr Jakuba Kowalskiego. Oświadczam, że powyższe dane są zgodne ze stanem faktycznym i znane mi są przepisy ustawy z dn. 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (tekst jednolity: Dz. U. z 2006 r. nr 90, poz. 637, z późniejszymi zmianami) oraz że treść pracy dyplomowej przedstawionej do obrony, zawarta na przekazanym nośniku elektronicznym, jest identyczna z jej wersją drukowaną.

Wrocław, 14 lutego 2018 r.

(czytelny podpis)

Streszczenie

TODO: streszczenie

Spis treści

1. Wstęp	7
1.1. Motywacja	7
1.2. Realizacja	7
1.3. Narzędzia	8
2. Zasady symulacji	9
2.1. Byty	9
2.1.1. Osiołek	9
2.1.2. Oset	10
2.2. Początek gry	10
2.3. Przebieg gry	10
2.4. Akcje	11
3. Aplikacja	13
3.1. Działanie aplikacji	13
3.2. Opis interfejsu	14
3.3. Ustawienia	15
4. Sztuczna inteligencja	17
4.1. Rodzaje kontrolerów	17
4.2. Kwantyzacja stanu	17
4.3. Akcje	20
4.4. Parametry kontrolera	20
4.5. Nauka	21

4.6. Podejmowanie decyzji	21
5. Wnioski	23
5.1. Ustawienia <i>simple_mk1</i> i <i>simple_mk0</i>	23
5.2. Ustawienia <i>smallStomach_mk1</i> i <i>smallStomach_mk0</i>	24
5.3. Ustawienia <i>oneBite_mk1</i>	26
5.4. Podsumowanie	26
Bibliografia	27

Rozdział 1.

Wstęp

W ramach tej pracy stworzyłem grę przedstawiającą uproszczony model środowiska naturalnego, której przeznaczeniem jest testowanie metod sztucznej inteligencji. Aplikacja pozwala kontrolować stan symulacji i obserwować, jak AI uczy się grać optymalnie.

Agentem w tej grze jest osiołek, którego zadaniem jest przeżycie odżywiając się ostem.

1.1. Motywacja

Założeniem projektu było stworzenie symulacji inspirowanej światem rzeczywistym, w której egzystują byty zdolne do nauczenia się strategii pozwalającej na optymalne funkcjonowanie.

1.2. Realizacja

Na potrzeby realizacji celu powstały trzy elementy:

1. Środowisko graficzne służące do wizualnego reprezentowania i kontrolowania symulacji
2. Silnik symulacji, będący grą dla jednego gracza, w której osiołek (gracz) ma za zadanie przeżyć jak najdłużej odżywiając się roślinami
3. Ucząca się sztuczna inteligencja kontrolująca osiołka

1.3. Narzędzia

Projekt w całości został zrealizowany w języku C# z wykorzystaniem silnika WPF do części wizualnej.

Rozdział 2.

Zasady symulacji

Symulacja stworzona na potrzeby tej pracy to prosta, turowa gra dla jednego gracza rozgrywająca się na ciągłej, dwuwymiarowej, kwadratowej planszy, na której żyje osiołek. Osiołek musi odżywiać się ostem by przeżyć, lecz poruszanie się po planszy go męczy, powodując dodatkowe zapotrzebowanie na pożywienie.

2.1. Byty

Wszystkie byty posiadają następujące cechy:

1. Pozycja na planszy
2. Identyfikator

2.1.1. Osiołek

Osiołek jest bytem kontrolowanym przez gracza. W danej turze na planszy znajduje się dokładnie jeden osiołek. osiołek posiada następujące cechy zdefiniowane w ustawieniach [3.3.]:

1. **Mass** - masa, która opisuje stopień wypełnienia żołądka i umożliwiającą osiołkowi funkcjonowanie poprzez spalanie jej
2. **MovementSpeed** - maksymalny dystans, który może pokonać w ciągu tury
3. **InteractionDistance** - zasięg, na którym możliwe jest jedzenie ostu
4. **BiteSize** - maksymalna masa, którą może przyswoić z rośliny w ciągu tury
5. **StomachCapacity** - maksymalny rozmiar żołądka
6. **SightRange** - zasięg, w którym inne byty są dla osiołka widoczne

7. **PassiveWork** - ilość masy zużywanej co turę
8. **MovementWork** - ilość masy zużywanej na potrzeby ruchu

2.1.2. Oset

Osiólek żywi się ostem. Na planszy może znajdować się co najwyżej określona w ustawieniach liczba roślin. Każdy oset ma następujące cechy:

1. **Mass** - określa ilość dostępnego pożywienia w danej roślinie
2. **MaxMass** - maksymalna masa, do której roślina może urosnąć
3. **RegrowthRate** - stały przyrost masy na turę

Maksymalna masa i przyrost masy na turę danej rośliny są losowane z rozkładem jednostajnym na przedziałach zdefiniowanych w ustawieniach [3.3.].

2.2. Początek gry

Przed pierwszą turą w losowych miejscach tworzone jest tyle roślin, ile zdefiniowane jest w ustawieniach, o masie równej swojej masie maksymalnej. Następnie w losowym miejscu umieszczany jest osiołek, którego masa ustawiana jest na połowę maksymalnej.

2.3. Przebieg gry

Każda tura przebiega następująco:

1. Wszystkie rośliny, których obecna masa jest większa niż zero zwiększają swoją masę w oparciu o **RegrowthRate**, nie przekraczając **MaxMass**
2. Wszystkie byty, których masa nie przekracza zera umierają i znikają. Jeśli umiera osiołek symulacja jest resetowana.
3. Osiołek otrzymuje opis otoczenia i swojego stanu
4. Kontroler wybiera akcję dla osiołka w oparciu o ten opis
5. Osiołek wykonuje akcję i spala część swojej masy określoną wzorem:
$$\text{PassiveWork} + \text{MovementWork} \cdot \frac{\text{distance}}{\text{MovementSpeed}}$$
, gdzie *distance* to dystans przebyty w danej turze
6. Jeżeli liczba roślin na planszy nie przekracza maksymalnej pojawia się w losowym miejscu nowa roślina, nie częściej niż raz na liczbę tur opisaną w ustawieniach. Początkowa masa nowej rośliny równa jest jej masie maksymalnej.

2.4. Akcje

W każdej turze osiołek może wykonać jedną z poniższych akcji:

1. Pominięcie tury
2. Próba zjedzenia wybranej rośliny, która przekazuje część swojej masy osiołkowi jeśli ten znajduje się w odpowiednim zasięgu. Ilość zaabsorbowanej masy wynosi

$$\min(\mathbf{BiteSize}, \mathbf{plant.Mass}, \mathbf{StomachCapacity} - \mathbf{donkey.Mass})$$

3. Poruszenie się w stronę zadanego punktu

Rozdział 3.

Aplikacja

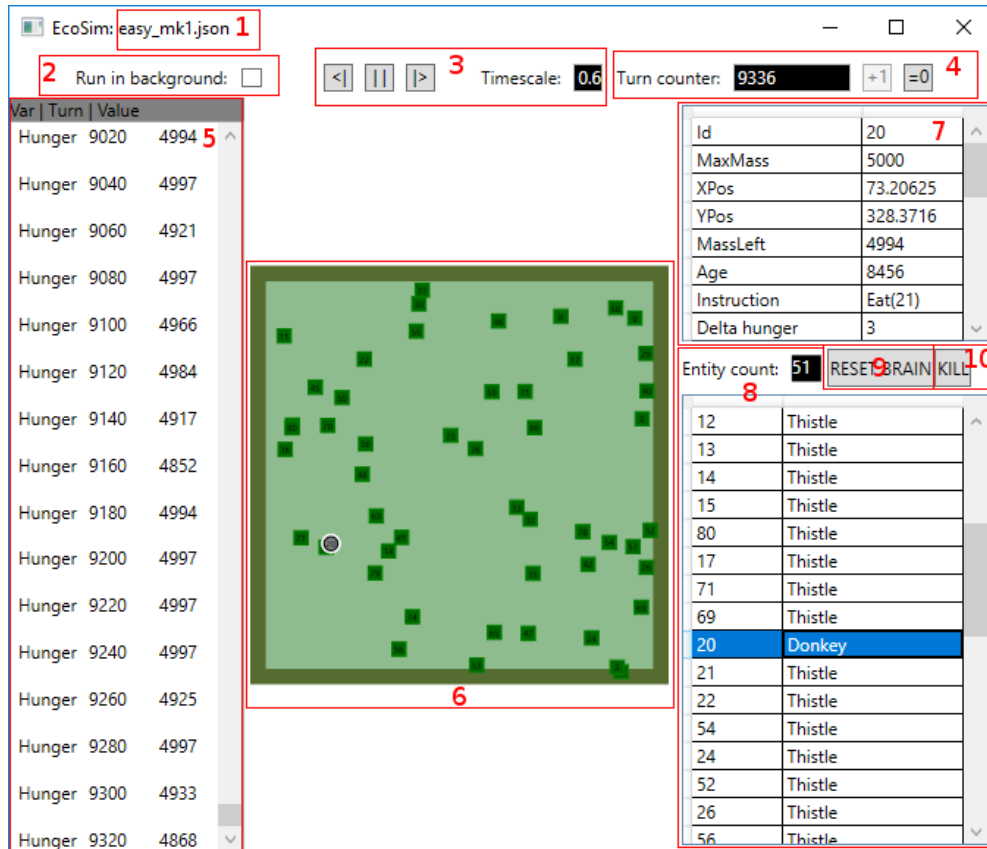
Aplikacja udostępnia prostą wizualizację oraz metody kontrolowania i podglądu stanu symulacji. Ten rozdział opisuje interfejs, obsługę i działanie aplikacji.

3.1. Działanie aplikacji

Po uruchomieniu użytkownik proszony jest o wybranie pliku `.json` z ustawieniami. Następnie tworzona jest instancja kontrolera osiołka i uruchamiane są zadania cykliczne: odświeżanie grafiki i obliczanie kolejnych tur symulacji. Program przyjmuje jeden, opcjonalny argument wywołania, liczbę całkowitą określającą liczbę odświeżeń grafiki na sekundę. Wartość domyślna wynosi 20.

Gdy nastąpi śmierć osiołka symulacja jest resetowana, ale licznik tur i kontroler zachowują swój stan.

3.2. Opis interfejsu



1. Nazwa wybranego pliku z ustawieniami
2. Checkbox pozwalający wyłączyć odświeżanie grafiki i obliczać kolejne tury symulacji tak szybko, jak jest to możliwe.
3. Przyciski kontrolujące częstotliwość obliczania kolejnych tur symulacji.
4. Licznik tur. Przycisk $+1$ pozwala obliczyć kolejną turę symulacji gdy **Time-scale** jest równe 0. Przycisk $=0$ resetuje licznik tur.
5. Log, w którym pojawiają się wiadomości tworzone przez symulację. W przykładzie jest to bieżąca тура i stan żołądka osiołka wypisywane co 20 tur.
6. Plansza reprezentująca stan symulacji.
7. Szczegóły obecnie wybranego bytu. Byt można wybrać klikając go na planszy lub na liście bytów.
8. Lista bytów znajdujących się na planszy
9. Przycisk pozwalający wywołać metodę *Reset()* na kontrolerze osiołka
10. Przycisk pozwalający natychmiastowo zabić obecną instancję osiołka.

3.3. Ustawienia

Symulacja oraz kontroler są parametryzowane plikiem `.json`. Poniżej przedstawiam przykładowy plik z ustawieniami oraz ich opisami:

```
{
  "Brain": "Mark1", // "Mark1" lub "Mark0", wybiera rodzaj kontrolera
  "LogDeaths" : false, //wartosc true sprawia, ze po kazdej smierci
    Osiolka zalogowana zostanie tura jego urodzin i wiek w momencie
    zgonu
  "LogHungerEvery": 20, //loguje stan zoladka Osiolka co kazde
    LogHungerEvery tur. Wartosc 0 wylacza te opcje.
  "InitialPlantCount": 20, //liczba roslin pojawiajaca sie na poczatku
    symulacji
  "MaxPlantCount": 50, //maksymalna liczba roslin na planszy
  "NewPlantFrequency": 5, //liczba tur miedzy pojawieniami sie nowych
    roslin
  "MinPlantMass": 100, //dolna granica przedzialu, z ktorego losowana
    jest maksymalna masa rosliny
  "MaxPlantMass": 500, //gorna granica w/w przedzialu
  "MinGrowthRate": 30, //dolna granica przedzialu, z ktorego losowane
    jest RegrowthRate rosliny
  "MaxGrowthRate": 50, //gorna granica w/w przedzialu

  // opisane w rozdz. 2 pracy:
  "MovementSpeed": 20,
  "InteractionDistance": 22,
  "BiteSize": 100,
  "StomachCapacity": 5000,
  "SightRange": 88,
  "PassiveWork": 3,
  "MovementWork": 5,

  // opisane w rozdz. 4 pracy:
  "BrainBaseActionScore": 0.0022,
  "BrainDiscount": 0.6,
  "BrainLearningRate": 0.148,
  "BrainLearningRateDamping": 0.99999,
  "BrainBaseActionScoreDamping" : 0.99952,
  "BrainProbabilityExponent": 1.6
}
```


Rozdział 4.

Sztuczna inteligencja

Poczynaniami osiołka kieruje kontroler implementujący algorytm Q-learning [TODO: jakieś citation]. W tym rozdziale opiszę szczegóły implementacji kontrolera.

Wybrany algorytm w prosty sposób pozwala na nauczenie się, jakie decyzje podejmować w danym kontekście utrzymując balans między wybieraniem natychmiastowej nagrody, a dążeniem do stanów o większym potencjale zdobycia nagrody, nawet jeśli oznacza to mniejszy zysk krótkofalowy.

4.1. Rodzaje kontrolerów

Zaimplementowane zostały dwa rodzaje kontrolerów, *Mark1* i *Mark0*. Różnią się jedynie liczbą stanów, które rozróżniają - *Mark0* jest "krótkowzroczny" i nie analizuje pożywienia poza zasięgiem interakcji. *Mark1* uwzględnia w swojej przestrzeni stanów wszystkie rośliny w zasięgu wzroku, największą uwagę zwracając na te, które znajdują się bliżej agenta.

4.2. Kwantyzacja stanu

Kontroler w każdej turze symulacji otrzymuje opis stanu osiołka:

1. **Hunger** - liczba z zakresu 0-1 równa $1 - \frac{\text{donkey.Mass}}{\text{donkey.MaxMass}}$
2. Pozycję osiołka
3. Pozycje i masy wszystkich roślin w zasięgu wzroku osiołka

Na potrzeby działania algorytmu stan ten sprowadzany jest do liczby 19-bitowej (11-bitowej dla kontrolera *Mark0*). Składa się na nią kolejno:

1. **Penalty** - liczba 3-bitowa równa $\lceil \text{Hunger} \cdot 7 \rceil$

- Kontroler rozróżnia osiem kierunków. Kolejne bity liczb **FoodRichDirections** i **CloseRichDirections** wyznaczają kolejne kierunki.

- r_i oznacza zasięg interakcji
- $L(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{gd}y \ a \leq b \\ 0, & \text{w p. p.} \end{cases}$
- $P_{k,0} \dots P_{k,n_k}$ reprezentuje wszystkie rośliny w zasięgu wzroku (r_s) w kierunku k , $k = 0 \dots 7$.
- $M(P)$ oznacza masę danej rośliny P
- $D(P)$ oznacza odległość rośliny P od osiołka
- $C_k = \sum_{i=0}^{n_k} M(P_{k,i}) \cdot L(D(P_{k,i}), r_i)$
- $C = \sum_{d=0}^7 C_d$
- $R'_k = \sum_{i=0}^{n_k} \frac{M(P_{k,i})}{D(P_{k,i}) - r_i + 1} \cdot (1 - L(D(P_{k,i}), r_i))$

- $R_k = \frac{R'_{(k-1) \bmod 8} + R'_{(k+1) \bmod 8}}{2} + R'_k$
- $R = \sum_{d=0}^7 R_d$

Wtedy:

$$\begin{aligned}\text{CloseFoodDirections} &= \sum_{d=0}^7 2^d \cdot L(\frac{C}{9}, C_d) \\ \text{FoodRichDirections} &= \sum_{d=0}^7 2^d \cdot L(\frac{R}{9}, R_d)\end{aligned}$$

Tak więc bit **CloseFoodDirections** jest równy 1, jeśli w wyznaczanym przez niego kierunku znajduje się więcej jedzenia w zasięgu interakcji niż przeciętnie.

Bit **FoodRichDirections** jest równy 1, jeśli w wyznaczanym przez niego kierunku, znajduje się poza zasięgiem interakcji (po przeskalowaniu względem odległości i uwzględnieniu kierunków sąsiednich) więcej jedzenia niż przeciętnie.

4.3. Akcje

Instrukcje, które kontroler może wydać osiołkowi są uproszczone, podobnie jak stany. Akcja w rozumieniu kontrolera składa się z dwóch elementów:

- Rodzaj - pominięcie tury, ruch, jedzenie
- Kierunek - liczba od 0 do 7

Akcja taka jest po wybraniu tłumaczona na instrukcję w rozumieniu silnika symulacji. Próba zjedzenia obiera na cel najbliższą roślinę w danym kierunku, zaś ruch obiera kierunek odpowiadający zadanemu, dla uproszczenia odchylany w stronę najbliższej rośliny w tym kierunku.

4.4. Parametry kontrolera

Parametry kontrolera definiowane są w pliku .json z ustawieniami. Są to:

1. **ProbabilityExponent** - zwiększa różnicę w prawdopodobieństwie między najlepszymi a najgorszymi akcjami
2. **StartLearningRate** - początkowa wartość parametru α , który wpływa na skalę zmian wprowadzanych do stanu kontrolera po każdej decyzji
3. **LearningRateDamping** - zmniejsza wartość parametru α kontrolera z czasem poprzez mnożenie go przez tę liczbę w każdej turze
4. **StartBaseActionScore** - początkowy **BaseActionScore**, który zapewnia niezerowe prawdopodobieństwo wszystkim możliwym akcjom
5. **BaseActionScoreDamping** - zmniejsza faktyczny **BaseActionScore** kontrolera z czasem poprzez mnożenie go przez tę liczbę w każdej turze
6. **Discount** - wartość parametru γ , który wpływa na balans między rozważaniem natychmiastowej nagrody płynącej z akcji i jej konsekwencji

4.5. Nauka

Kontroler wykorzystuje prosty Q-Learning oparty o tabelkę definiującą funkcję Q , która każdej parze (stan,akcja) przyporządkowuje pewną wartość, która jest modyfikowana w czasie nauki. Na początku funkcja ta ma wartość 0 dla wszystkich argumentów.

Przyjmijmy, że w turze t osiołek znajdował się w stanie S_t , jego **Hunger** wynosił H_t i podjął akcję A_t . Doprowadziło go to do stanu S_{t+1} , w którym **Hunger** wynosi H_{t+1} . Niech $\Delta H = H_t - H_{t+1}$, $\alpha_t = \text{StartLearningRate} \cdot \text{LearningRateDamping}^t$. Wtedy:

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) = Q_t(s_t, a_t) \cdot (1 - \alpha_t) + \alpha_t \cdot (\Delta H + \gamma \cdot \max_a Q_t(s_{t+1}, a))$$

Dla wszystkich (s, a) różnych od (s_t, a_t) $Q_{t+1}(s, a) = Q_t(s, a)$

4.6. Podejmowanie decyzji

Po zaktualizowaniu funkcji Q wybierana jest akcja do podjęcia w danej turze. Każda akcja ma pewne prawdopodobieństwo zostania wybraną, zależne od wartości funkcji Q . Niech $\beta_t = \text{StartBaseActionScore} \cdot \text{BaseActionScoreDamping}^t$. Wtedy prawdopodobieństwo akcji a w stanie s_t wynosi:

$$P_t(s_t, a) = \frac{P'_t(s_t, a)}{\sum_{a'} P'_t(s_t, a')}, \text{ gdzie}$$

$$P'_t(s_t, a) = (Q_t(s_t, a) - \min_{a'} Q_t(s_t, a') + \beta_t)^{\text{ProbabilityExponent}}$$

Parametr β zapewnia niezerowe prawdopodobieństwo każdej możliwej akcji, dzięki czemu akcje uznane wcześniej za dobre nie dominują tych jeszcze niewypróbowanych. **ProbabilityExponent** zwiększa szanse wybrania dobrych akcji zmniejszając szanse wybrania złych.

Rozdział 5.

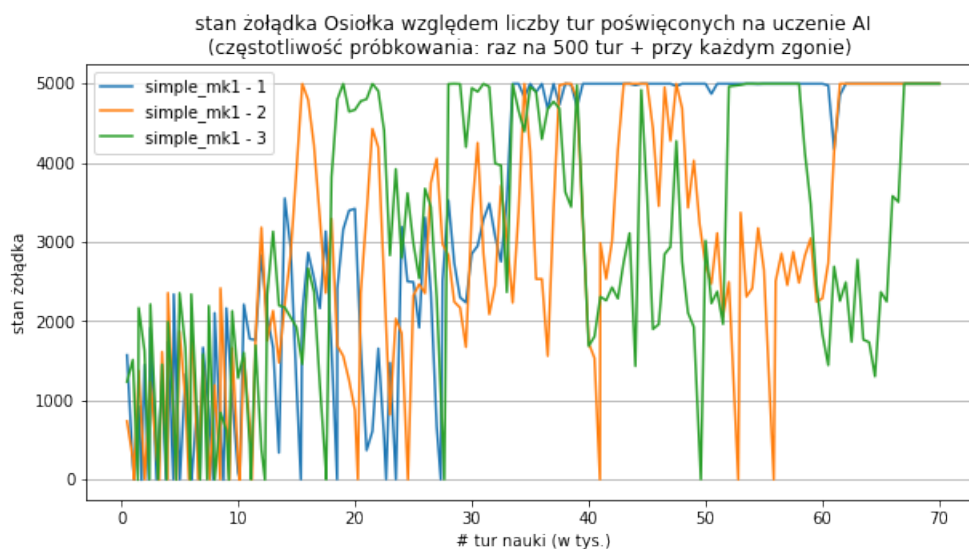
Wnioski

W ramach testów kontrolera przygotowałem kilka zestawów ustawień. W tym rozdziale opiszę, jak zaprojektowana przeze mnie sztuczna inteligencja radzi sobie w różnych środowiskach.

Parametry algorytmu uczącego były dobierane do wymyślonych ustawień świata w sposób eksperymentalny. Ostateczne pliki ustawień uwzględnione w tej pracy zawierają najlepsze z wypróbowanych parametrów.

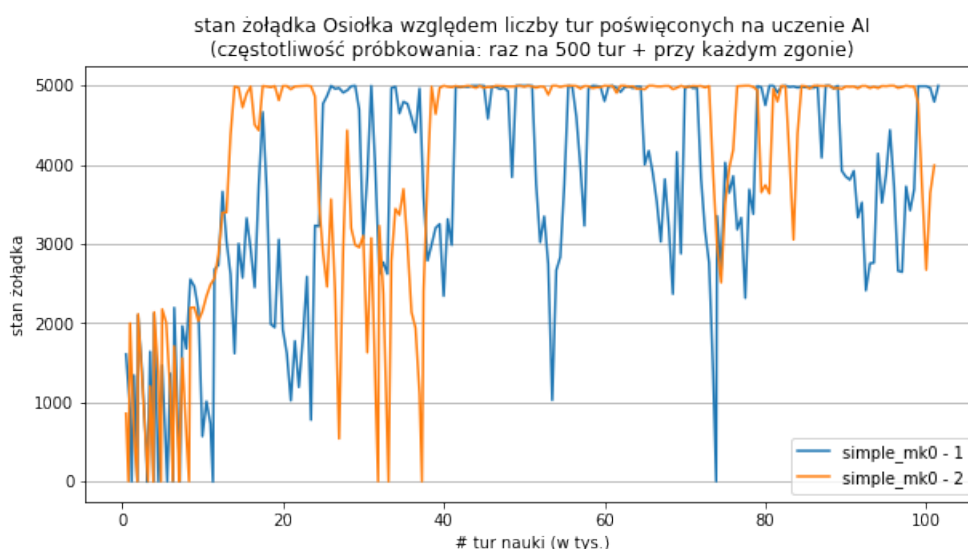
5.1. Ustawienia *simple_mk1* i *simple_mk0*

Te ustawienia tworzą dość prosty świat - osiołek może zadomowić się w pobliżu jednego ostu i odżywiać się nim w nieskończoność, bo w żadnej turze nie zużywa więcej energii, niż najmniejszy możliwy przyrost masy rośliny. I do takiej właśnie strategii dochodzi za każdym razem kontroler *Mark1*.



Na wykresie narysowane są trzy łamane odpowiadające trzem różnym uruchomieniom programu z tymi samymi ustawieniami. Każda z nich reprezentuje w istocie wiele instancji osiołka - w momencie osiągnięcia zera symulacja resetuje się, ale kontroler zachowuje wyniesione doświadczenia.

Z rysunku można wywnioskować, że różne uruchomienia dochodzą do strategii optymalnej w różnym czasie. Mimo to można dostrzec, że z upływem czasu zagęszczenie zgonów się zmniejsza, a wykres zaczyna oscylować w okolicach wyższych wartości. Podobne wnioski można odnieść przy wszystkich innych ustawieniach, więc dla czytelności w następnych wykresach przedstawiał będę tylko dwa uruchomienia.



Ten wykres przedstawia dwa uruchomienia z tymi samymi ustawieniami świata dla kontrolera *Mark0*. Ze względu na fakt, że kontroler ten nie analizuje ostów znajdujących się poza zasięgiem interakcji nie dochodzi on do dokładnie tego samego stanu, co *Mark1*. Świat budowany przez te ustawienia nie ma dużego zagęszczenia roślin, przez co częstokroć gdy błądzący osiołek w końcu natrafia na jedną zjada ją w całości.

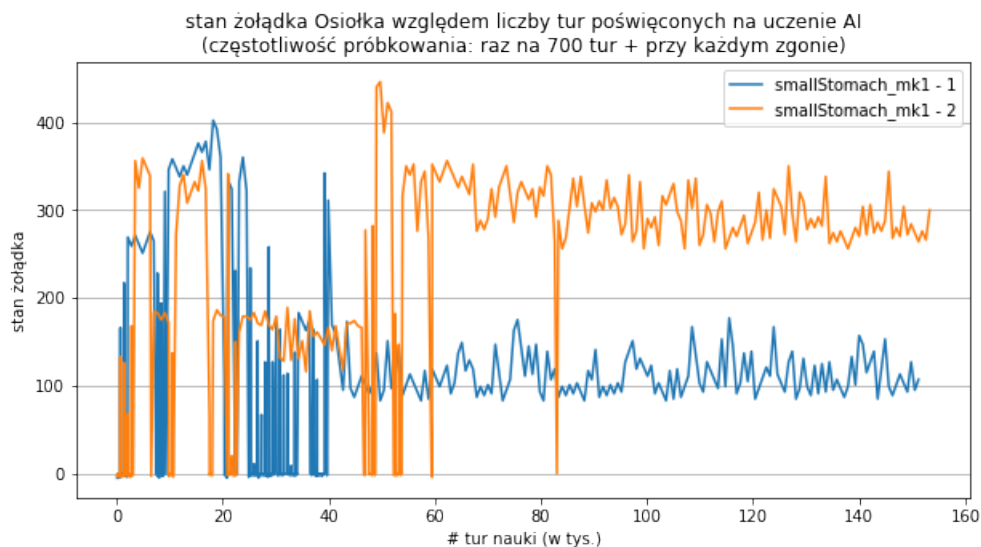
Mimo ograniczeń kontrolera, w każdej próbie uruchomienia programu na tych ustawieniach osiąga on stan, w którym osiołek już więcej nie umiera.

5.2. Ustawienia *smallStomach_mk1* i *smallStomach_mk0*

W przypadku tych ustawień osiołek ma mało czasu na znalezienie pożywienia ze względu na mały rozmiar żołądka i relatywnie duże zużycie energii na turę. Utrudnia to kontrolerowi uczenie się, jednak i tu osiągana jest w pewnym momencie strategia pozwalająca na przeżycie w nieskończoność.

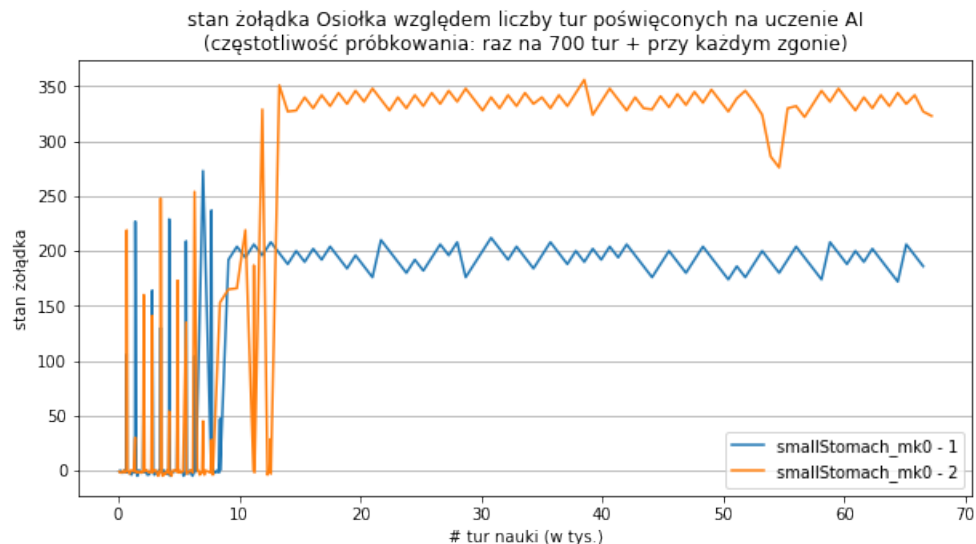
Sprawę ułatwia fakt, że osiołek nigdy nie zjada żadnej rośliny w całości - każda

odrosta szybciej, niż ten jest w stanie absorbować jej masę, więc strategia z ustawień *simple* wciąż jest adekwatna.



Choć na wykresie można dostrzec trochę mniejsze zagęszczenie zgonów wraz z postępem nauki, kontroler *Mark1* daje wiele podobnie mało satysfakcjonujących żywotów i ostatni, w którym stosuje już efektywną strategię.

Ciekawym jest, że w przeciwieństwie do ustawień *simple* stan żołądka po osiągnięciu stanu ostatecznego może oscylować wokół różnych wartości zależnie od uruchomienia.

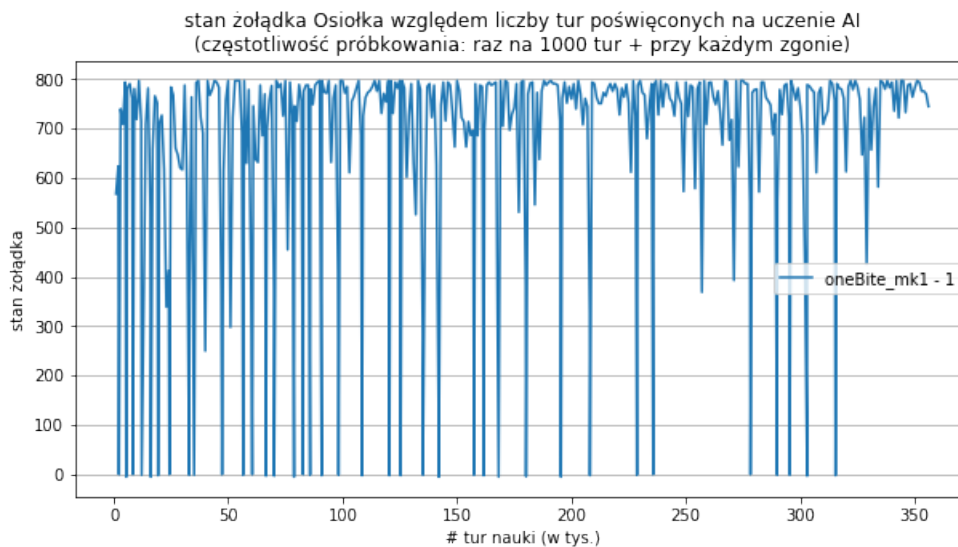


Podobnie jak w przypadku *Mark1*, testy kontrolera *Mark0* nie wykazały dużej tendencji wzrostowej w jakości strategii względem czasu, aż do osiągnięcia strategii pozwalającej na nieśmiertelność. Także i on zależnie od uruchomienia osiąga stany, w których stan żołądka oscyluje wokół różnych wartości.

Mark0 osiąga jednak strategię efektywną znacznie szybciej - mniejsza liczba różnianych stanów wydaje się być w przypadku tych ustawień zaletą. Analizowanie odległych roślin nie przynosi tu korzyści, za to zwiększa czas potrzebny na naukę.

5.3. Ustawienia *oneBite_mk1*

To najtrudniejsze z przygotowanych przeze mnie ustawień. Wszystkie rośliny mają jednakową masę, wystarczająco małą by osiołek mógł zjeść je w jednej turze i nie regenerują się. Oznacza to, że zjedzenie rośliny często prowadzi do mało korzystnego stanu, w którym trzeba się przemieścić, by znaleźć kolejną. Trudno zatem znaleźć odpowiednie parametry - mały **Discount** prowadzi do kontrolera, który preferuje się nie przemieszczać, zaś duży zmniejsza atrakcyjność jedzenia.



Tym razem wszystkie uruchomienia dają bardzo podobne wykresy, więc dla czytelności przedstawione zostało tylko jedno. Można dostrzec mniejsze zagęszczenie zgonów wraz z czasem nauki, co sugeruje dążenie do efektywnej strategii. Mimo to w żadnym z wykonanych przeze mnie testów najdłuższy zarejestrowany żywot nie przekraczał 400 tysięcy tur.

Kontroler *Mark0* nie daje dla tych ustawień żadnych ciekawych wyników.

5.4. Podsumowanie

TODO: podsumowanie

Bibliografia

- [1] test test entry, 2017