

# Zastosowanie Qlearningu w zachowaniu boidów

Jakub Łęcki, Marek Hering, Maciej Jabłoński

08.06.2020

## Streszczenie

Tematem niniejszej pracy jest problem nauczania boidów (w naszym przypadku są to ryby), aby poprzez prawidłowe poruszanie się maksymalizowały swój czas życia. W tym celu użyliśmy koncepcji qlearningu oraz algorytmu stada.

## 1 Boidy

### 1.1 Pochodzenie

Termin **boid** został stworzony przez Craiga Reynoldsa w 1987 roku jako określenie stworzenia wykazującego cechy stadne. Słowo boid wzięło się z uproszczenia terminu 'bird-like' jako odniesienie do ptaków formujących się w gromady.

### 1.2 Zasady zachowania

Okazuje się, że w świecie rzeczywistym wiele gatunków zwierząt łączących się w grupy wykazuje podobne własności. Patrząc na stada ptaków, ławice ryb, roje pszczół lub stada owiec można zauważyć, że każda z jednostek stosuje się do 3 podstawowych zasad:

1. Rozdzielność - osobnik nie lubi przebywać w tłoku, dlatego zachowuje dystans do swoich sąsiadów
2. Spójność - osobnik nie lubi przebywać w samotności, więc kieruje się ku najbliższym współstadnikom
3. Wyrównanie - osobnik porusza się w kierunku zbliżonym do kierunku otaczających członków stada

Łącząc te 3 proste zasady, boidy tworzą złożone i bardzo zorganizowane skupiska, które obserwujemy jako np. ławice ryb, które pozostają w płynnym, nieustannym ruchu.

## 2 Qlearning

Jest to jedna z technik szerokiej dziedziny uczenia maszynowego znanej jako "Uczenie ze wzmocnieniem" (ang. Reinforcement Learning). Opiera się na śledzeniu zachowania agentów oraz efektów, które owe akcje powodują. W tym celu używana jest tablica stanów-akcji zwykle nazywana jako **qtable**.

### 2.1 Qtable

Tablica ma wymiary  $m \times n$ , gdzie:

- $m$  - liczba możliwych stanów
- $n$  - liczba akcji możliwych do wykonania

W każdej komórce  $Q(s, a)$  znajduje się oczekiwana wartość nagrody jaką agent otrzyma będąc w stanie  $s$  i wykonawszy akcję  $a$ . Po wykonaniu akcji, agent przechodzi do kolejnego stanu  $s'$ . Agent będąc w stanie  $s$  będzie wybierał swoją kolejną akcję na podstawie polityki  $\operatorname{argmax}(Q(s))$ , czyli wybranie akcji za którą teoretycznie otrzyma największą nagrodę.

## 2.2 Środowisko

Jest to zbiór agentów oraz dowolnych innych encji z którymi agent może w jakiś sposób oddziaływać. Rolą środowiska jest wykonanie akcji wybranej przez agenta i ocenienie jak dobrze akcja została wybrana. W tym celu środowisko nadaje agentowi nagrody (i kary, jeśli nagroda jest ujemna). W kolejnych rundach skutkuje to stopniowym poprawianiem procesu wyboru akcji i agent zbiera coraz wyższe nagrody. Po wykonaniu kroku środowisko przekazuje do algorytmu uczenia zestaw danych:

- stan w którym był agent
- akcja jaką wykonał
- stan w którym znajduje się po wykonaniu akcji
- nagroda jaką otrzymał za przejście do kolejnego stanu

## 2.3 Proces uczenia

Aby agent wybierał z czasem coraz lepsze decyzje, wartości w  $Q$ table muszą ulegać zmianie. Odbywa się to w oparciu o poniższe równanie:

$$Q'(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha \cdot \left( r + \gamma \cdot \max_a Q(s', a) - Q(s, a) \right) \quad (1)$$

Gdzie  $s$  i  $a$  to stan i akcja przed jej wykonaniem, a  $s'$  to stan po wykonaniu akcji.

### 2.3.1 Współczynnik uczenia $\alpha$

Wartość  $\alpha \in (0, 1)$  reguluje jak bardzo znacząca jest nowa informacja uzyskana w wyniku wykonania akcji w środowisku. Przy wartości 0 agent nie będzie się uczył niczego nowego, natomiast przy  $\alpha = 1$  agent zaakceptuje całą zdobytą wiedzę.

### 2.3.2 Współczynnik dyskontowania $\gamma$

Wartość  $\gamma \in (0, 1)$  określa ważność przyszłych nagród zdobywanych przez agenta. Wartość dążąca do zera zwiększy sugerowanie się pamięcią krótkotrwałą, natomiast do 1 pamięcią długotrwałą. Ważnym elementem jest, aby  $\gamma$  rzeczywiście zawierała się w przedziale  $(0, 1)$  ponieważ zapewnia to zbieżność wartości przewidywanej nagrody. Jeśli proces uczenia byłby nieskończony i  $\gamma \geq 1$  (a nawet lekko poniżej) wartości nagród rosłyby nieustannie zaburzając proces.

### 2.3.3 Efekt

W wyniku przeprowadzenia odpowiedniej ilości kroków wartości nagród zbiegają się do optymalnych, a w tabeli powstają zależności pomiędzy poszczególnymi stanami umożliwiające dotrzeć do największej nagrody, dysponując jedynie obecnym stanem i przewidywaną nagrodą.

### 2.3.4 Polityka wspomagająca

Gdy podczas uczenia agent będzie słuchał się tylko tabeli  $Q$ learningu, może się zdarzyć że zadowolony się częściowo poprawnym rozwiązaniem, zamiast szukać rozwiązania dokładnego. Aby uniknąć takiej sytuacji proces wybierania akcji rozszerza się często o politykę **epsilon greedy**, w której z pewnym prawdopodobieństwem wybierana jest losowa akcja zamiast wskazywanej przez tabelę. Wartość  $\epsilon$  jest zmniejszana z czasem, aby agent coraz częściej stosował to czego się nauczył.

## 3 Kontrola ruchu boidów

### 3.1 Ruch ciągły

Boidy muszą być osadzone w przestrzeni euklidesowej, zatem każdy z boidów posiada trzy dwuwymiarowe wektory położenia, prędkości i przyspieszenia.

Aby agent mógł poruszać się ruchem gładkim, postanowiliśmy kontrolować boidy za pomocą przyspieszenia, a na prędkość nałożyć ograniczenia w postaci minimalnej i maksymalnej wartości.

### 3.2 Stan agenta

Stanem agenta jest jego pozycja oraz kąt nachylenia prędkości do osi X.

### 3.3 Dyskretyzacja

Qlearning z definicji działa na wartościach dyskretnych, ponieważ wartości nagród wpisujemy pod konkretne wiersze i kolumny tabeli. Zatem konieczne było zdyskretyzowanie stanu agenta. Wykonaliśmy to poprzez przeniesienie pozycji agenta w przestrzeń o dużo mniejszej rozdzielczości  $r$ , a kąt spłaszczamy do  $N$  równo oddalonych wartości.

### 3.4 Akcja agenta

W klasycznym algorytmie qlearningu na wyjściu otrzymujemy  $N$  wartości nagród, spośród których indeks maksymalnej wartości symbolizuje akcję do wykonania. W naszym problemie jednak sprowadzenie ruchu do zaledwie kilku kierunków nie spełniłoby założenia o gładkości, dlatego przyjęliśmy nową politykę. Zamiast wyznaczać przyśpieszenie na podstawie jednej akcji, wyznaczamy je według wzoru:

$$a = \sum_{i=0}^N a_i \quad (2)$$

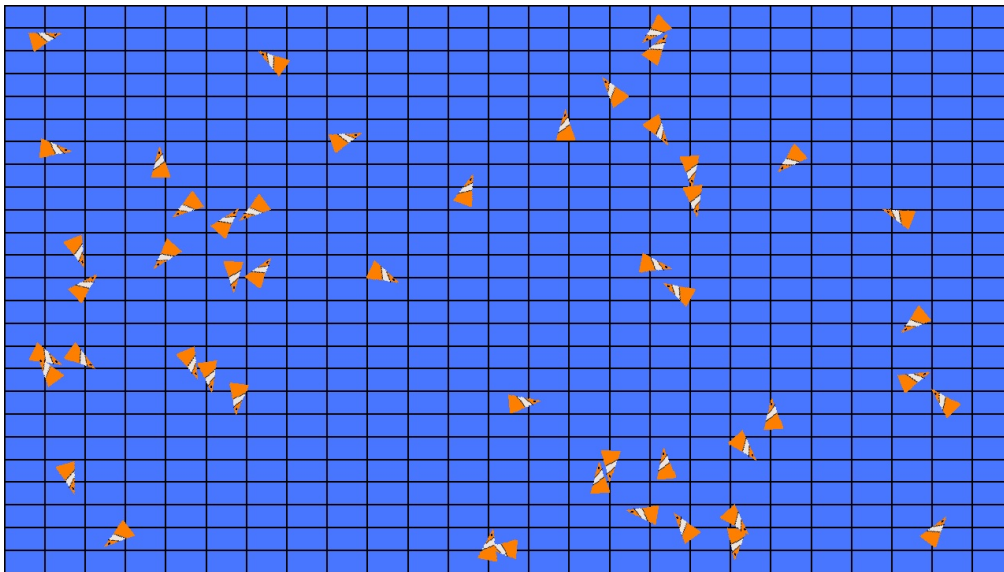
gdzie  $i$  to indeks akcji,  $N$  to ilość możliwych kierunków, natomiast  $a_i$  to wektor w postaci biegunowej:

$$a_i = [r_i, i \cdot 360/N] \quad (3)$$

gdzie  $r_i$  to wartość nagrody otrzymanej za  $i$ -tą akcję.

Użycie wartości nagrody skutkuje poprawną reakcją boida ponieważ w miejscach których ma unikać nagroda będzie ujemna, a w możliwych do przemieszczenia - dodatnia.

## 4 Utrzymanie agentów na planszy



Rysunek 1: Stan początkowy planszy z agentami. Siatka symbolizuje komórki qtable zależne od położenia

Na początku zajęliśmy się nauczaniem boidów, aby nie dotykały krawędzi. W tym celu przyjęliśmy rozdzielczość tablicy stanów  $25 \times 25$  oraz 12 kierunków w których możliwe jest obliczenie przyśpieszenia.

Dodatkowo:

1. ilość ryb = 50
2. długość epoki = 2000 klatek ( $\approx 1$  min)

### 4.1 Nagradzanie

Boid za dotknięcie granicy otrzymuje nagrodę o wysokości -1000.

## 4.2 Wynik

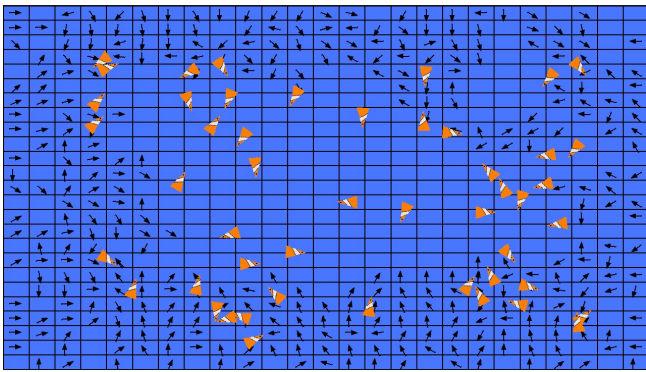
Boidy dość skutecznie utrzymywały się przy życiu, jednak ich ruch bardziej przypominał odbijanie się niż omijanie krawędzi. Wynika to z faktu, że nagroda wyznaczana jest tylko w tej komórce w której agent zginie, nie ma żadnej relacji pomiędzy sąsiednimi stanami, więc reakcja następowała tylko tuż przy granicy.

## 4.3 Modyfikacja polityki aktualizacji tablicy stanów

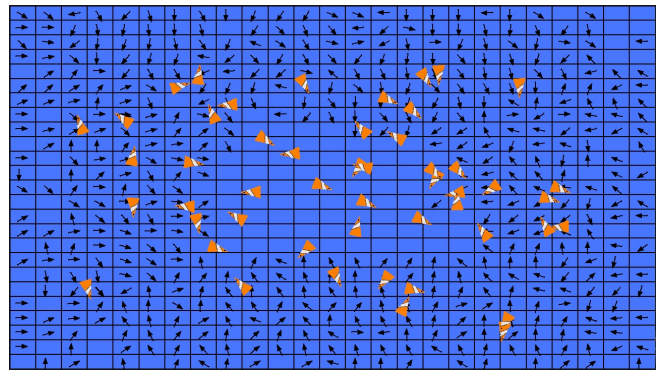
W tradycyjnym algorytmie qlearningu, równanie (1) Bellmana aktualizuje stan przez wybranie maksymalnej nagrody możliwej do uzyskania. W naszym przypadku nie jest to skuteczne, ponieważ wykonanie akcji nie skutkuje natychmiastowym uzyskaniem nagrody. Aby umożliwić agentowi ocenienie czy warto ruszyć się w danym kierunku zrezygnowaliśmy z wybierania wartości maksymalnej. Zamiast tego bierzemy wszystkie możliwe nagrody do uzyskania po wyjściu z obecnego stanu i liczymy średnią arytmetyczną z minimalnej i maksymalnej nagrody. Dzięki temu w tabeli stanów powstaje swego rodzaju dyskretnie pole siłowe, które nadaje boidom kierunek w którym powinny się udać.

## 4.4 Stan tabeli z nową polityką nagród

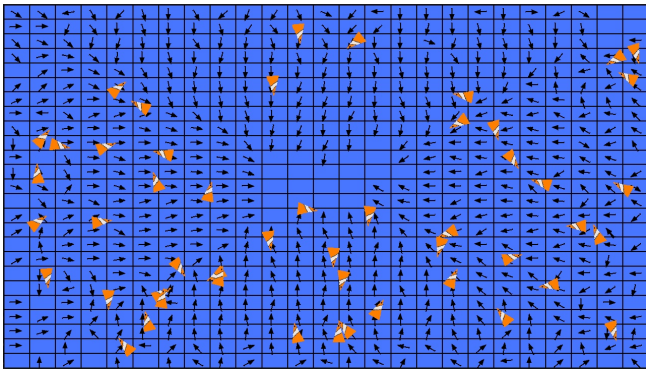
Po powyższej zmianie wyniki mają się następująco. Strzałki oznaczają kierunek wypadkowego przyspieszenia.



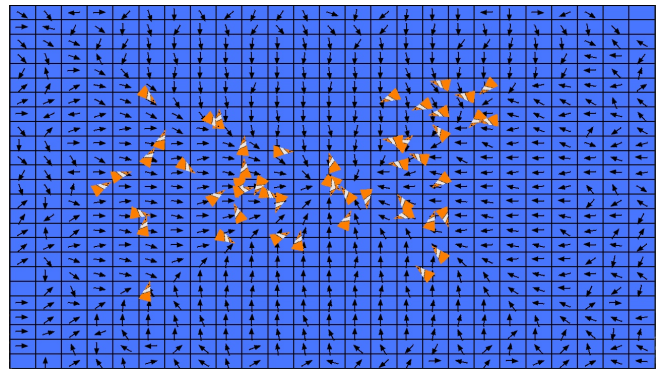
Rysunek 2: Stan tabeli po dwóch epokach



Rysunek 3: Stan tabeli po 3 epokach

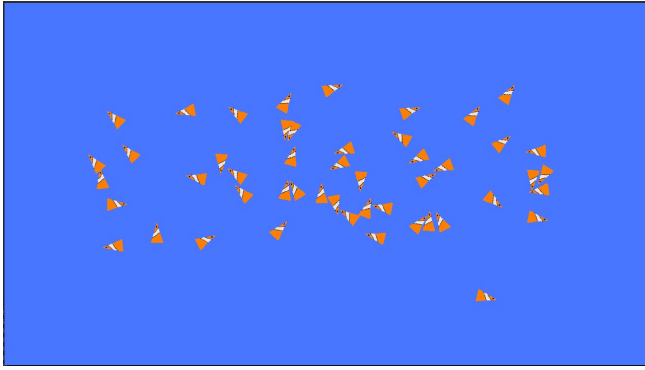


Rysunek 4: Stan tabeli po 5 epokach

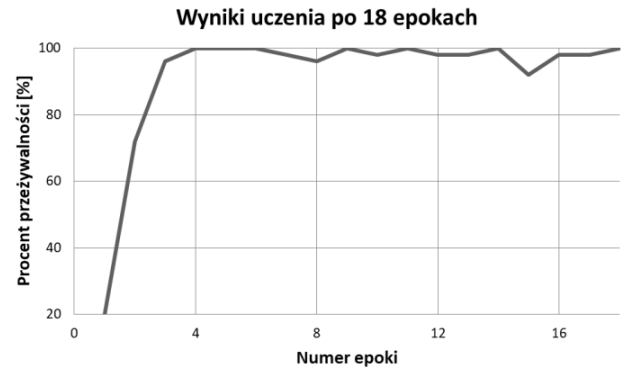


Rysunek 5: Stan tabeli po 10 epokach

Jak widać już po 10 epokach agenci nauczyli się skutecznie unikać krawędzi. Patrząc na kierunki poszczególnych strzałek widzimy, że w tabeli powstało pole, które zbiega się do środka tworząc optymalne ścieżki nawet w nietrywialnych miejscach takich jak rogi planszy. Jest to bardzo korzystne, ponieważ takie miejsca sprawiają zawsze problem w alogorytmicznym wykrywaniu kolizji.



Rysunek 6: Ryby utrzymujące się na środku planszy po nauczaniu



Rysunek 7: Wykres przeżywalności ryb w czasie uczenia

## 5 Polowanie i uciekanie

W kolejnym etapie postanowiliśmy dodać do środowiska boidy drugiego rodzaju, tzn. drapieżniki. Ich zadaniem jest manipulowanie swoim ruchem, aby zjadać ryby. W momencie kolizji drapieżnika z rybą następuje śmierć ryby. Drapieżniki tak samo jak ryby umierają na krawędziach planszy.

### 5.1 Qtable

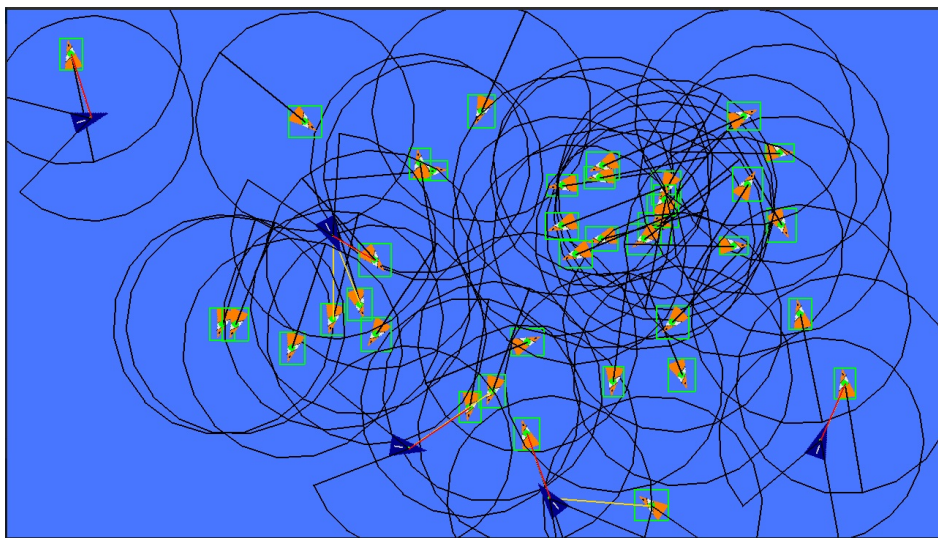
Aby umożliwić nauczanie się zarówno uciekania jak i gonienia rozszerzyliśmy tablicę stanów o 2 wymiary. Jeden który indeksuje rodzaj uczącego się boida, drugi natomiast zawiera stany jako dyskretny kąt pod którym agent widzi swój cel. Celem odpowiednio jest najbliższa ryba dla drapieżnika i najbliższy drapieżnik dla ryby.

### 5.2 Pole reakcji

Odnajdywanie najbliższego celu dla każdego boida na planszy spośród wszystkich boidów ma istotne wady.

1. Jest wysoce nieoptymalne, ponieważ wymaga przeszukania każdy z każdym więc ma czas  $O(n^2)$
2. Sugeruje, że boid posiada wiedzę *a priori* o położeniu dowolnego innego boida, co nie pokrywa się z rzeczywistością, gdzie każdy organizm ma ograniczone pole widzenia i reakcji.

W celu zasymulowania pola reakcji, każdy z boidów posiada poligon z regulowanym kątem widzenia, ograniczający oddziaływanie pozostałych boidów tylko do tych które znajdują się wewnątrz wielokąta.



Rysunek 8: Przykładowy widok pól reakcji każdego z boidów