Sztuczna inteligencja i inżynieria wiedzy – laboratorium  
  
Sprawozdanie: Algorytmy rozwiązywania gier  
  
  
Kajetan Pynka, 254495

Spis treści

[Wstęp 3](#_Toc104050150)

[Min-max 4](#_Toc104050151)

[Głębokość 2 4](#_Toc104050152)

[Głębokość 3 5](#_Toc104050153)

[Głębokość 4 6](#_Toc104050154)

[Głębokość 5 7](#_Toc104050155)

[Alpha-beta 8](#_Toc104050156)

[Głębokość 2 8](#_Toc104050157)

[Głębokość 3 9](#_Toc104050158)

[Głębokość 4 10](#_Toc104050159)

[Głębokość 5 11](#_Toc104050160)

[Min-max vs alpha-beta 12](#_Toc104050161)

[Wnioski 13](#_Toc104050162)

# Wstęp

Problemem rozważanym w ramach tego zadania jest „rozwiązywanie” czy też innymi słowy skuteczne wygrywanie partii gry w warcaby przez jeden z dwóch algorytmów: min-max oraz alpha-beta. Gra w warcaby została zaimplementowana zgodnie z obowiązującymi zasadami w ramach turniejów pod nadzorem Polskiego Związku Warcabowego. Zmodyfikowane zostały jednak reguły remisów. Remis jest osiągany gdy:

* sumarycznie przez 300 ruchów żadna ze stron nie doprowadzi do wygranej
* którakolwiek ze stron posiadająca jedynie damki nie wygra w ciągu 15 ruchów

Dokument podzielony jest na następujące sekcje:

* Względem algorytmu: „Min-max” lub „Alpha-beta” lub porównanie obu algorytmów
* Względem głębokości używanej do przeglądania drzewa stanów gry przez powyższe algorytmy

Wyniki przedstawiane w tabelach i wykresach są średnią 10 uruchomień dla każdego ustawienia: algorytmu, głębokości, heurystyki grającego białymi, heurystyki grającego czarnymi. Dokładniej średnia liczba tur (Avg Turns) oraz średni czas (Avg Time) to średnia arytmetyczna 10 wyników, natomiast wynik (Score) to rezultaty osiągnięte w ramach tych rozgrywek (w formie W/B/T gdzie W – wygrana białych, B – wygrana czarnych, T – remis). Dla porównania alpha-beta i min-maxa „średnia liczb tur” oraz „średni czas” to średnia 16 tur i czasów w ramach każdej kombinacji heurystyk dla danej głębokości. Czas mierzony w sekundach. Na wykresach górne HX oznacza heurystykę grającego czarnymi a dolne HX heurystykę grającego białymi. Białe zawsze zaczynały losowym ruchem.

Mówiąc o heurystyce grającego białymi (White Heur) czy czarnymi (Black Heur) mam na myśli heurystykę oceny stanu planszy, którą przyjął odpowiednio grający białymi czy czarnymi. Oznacza to de facto w jaki sposób dany gracz postrzega aktualny stan planszy (w sensie liczbowym, im większy wynik tym lepiej). Do przeprowadzenia badań zaimplementowałem 4 heurystyki:

* H1 – Wartością jest różnica między liczbą pionków gracza a liczbą pionków przeciwnika (niezależnie od tego czy pionki są damkami czy nie)
* H2 – Wartością jest różnica wyników gracza oraz przeciwnika, gdzie na wynik składa się: po 1 pkt za każdego pionka na polach krawędziowych planszy, po 2 pkt za każdego pionka na polach o jeden rząd lub kolumnę bliżej środka, po 3 pkt za każdego pionka na środkowych polach planszy (bez rozróżniania damek)
* H3 – odwrotnie do poprzedniej heurystyki: 3pkt za krawędź, 2pkt za bliżej środka, 1pkt za środek planszy (bez rozróżniania damek)
* H4 – Wartością jest różnica wyników gracza oraz przeciwnika, gdzie na wynik składa się: po 1 pkt za każdego pionka oraz po 5 pkt za każdą damkę

# Min-max

## Głębokość 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| White Heur | Black Heur | Avg Turns | Avg Time [s] | Score |
| H1 | H1 | 70.3 | 0.65 | "7/3/0" |
| H1 | H2 | 86 | 0.66 | "6/0/4" |
| H1 | H3 | 87.1 | 1.06 | "2/2/6" |
| H1 | H4 | 51.5 | 0.51 | "9/1/0" |
| H2 | H1 | 52 | 0.46 | "0/10/0" |
| H2 | H2 | 58.8 | 0.51 | "6/3/1" |
| H2 | H3 | 93.1 | 1.04 | "1/1/8" |
| H2 | H4 | 56.8 | 0.54 | "0/10/0" |
| H3 | H1 | 69.2 | 0.72 | "0/8/2" |
| H3 | H2 | 78.9 | 0.73 | "5/0/5" |
| H3 | H3 | 84.9 | 0.62 | "0/3/7" |
| H3 | H4 | 54.8 | 0.63 | "0/10/0" |
| H4 | H1 | 57.9 | 0.59 | "7/3/0" |
| H4 | H2 | 60.4 | 0.6 | "10/0/0" |
| H4 | H3 | 74.7 | 0.8 | "2/3/5" |
| H4 | H4 | 51.1 | 0.51 | "9/1/0" |
|  |  |  |  |  |

## Głębokość 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| White Heur | Black Heur | Avg Turns | Avg Time [s] | Score |
| H1 | H1 | 62.5 | 2.3 | "1/1/8" |
| H1 | H2 | 61.7 | 2.52 | "2/1/7" |
| H1 | H3 | 66.4 | 2.18 | "5/0/5" |
| H1 | H4 | 64.5 | 2.58 | "0/0/10" |
| H2 | H1 | 50.1 | 1.82 | "3/3/4" |
| H2 | H2 | 52.6 | 1.65 | "6/0/4" |
| H2 | H3 | 56 | 2.09 | "0/3/7" |
| H2 | H4 | 52.8 | 1.86 | "2/5/3" |
| H3 | H1 | 47.3 | 1.71 | "0/1/9" |
| H3 | H2 | 77.9 | 1.9 | "0/0/10" |
| H3 | H3 | 83.5 | 2.24 | "2/1/7" |
| H3 | H4 | 54.7 | 1.78 | "0/0/10" |
| H4 | H1 | 56.2 | 2.02 | "0/5/5" |
| H4 | H2 | 62.7 | 2.45 | "0/1/9" |
| H4 | H3 | 71.3 | 2.23 | "0/0/10" |
| H4 | H4 | 51.7 | 2.1 | "0/5/5" |

## Głębokość 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| White Heur | Black Heur | Avg Turns | Avg Time [s] | Score |
| H1 | H1 | 84.8 | 15.19 | "0/5/5" | |
| H1 | H2 | 82.2 | 9.37 | "6/0/4" | |
| H1 | H3 | 90 | 24.55 | "6/0/4" | |
| H1 | H4 | 78.5 | 14.63 | "3/4/3" | |
| H2 | H1 | 60.4 | 10.31 | "0/0/10" | |
| H2 | H2 | 57.4 | 9.75 | "0/10/0" | |
| H2 | H3 | 66.9 | 14.19 | "0/8/2" | |
| H2 | H4 | 64 | 11.27 | "0/0/10" | |
| H3 | H1 | 106.4 | 11.8 | "0/3/7" | |
| H3 | H2 | 80.1 | 12.65 | "0/0/10" | |
| H3 | H3 | 87 | 24.37 | "2/1/7" | |
| H3 | H4 | 99 | 12.08 | "0/4/6" | |
| H4 | H1 | 85.5 | 17.25 | "0/0/10" | |
| H4 | H2 | 48.6 | 9.72 | "10/0/0" | |
| H4 | H3 | 76.2 | 17.84 | "4/2/4" | |
| H4 | H4 | 84.3 | 15.48 | "1/0/9" | |

## Głębokość 5

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| White Heur | Black Heur | Avg Turns | Avg Time [s] | Score |
| H1 | H1 | 58.4 | 98.45 | "0/0/10" |
| H1 | H2 | 65.4 | 86.16 | "2/0/8" |
| H1 | H3 | 58.2 | 118.89 | "1/0/9" |
| H1 | H4 | 57 | 77.99 | "3/0/7" |
| H2 | H1 | 69.5 | 70.5 | "3/0/7" |
| H2 | H2 | 65.9 | 105.02 | "0/0/10" |
| H2 | H3 | 61 | 89.9 | "2/0/8" |
| H2 | H4 | 63.5 | 95.21 | "0/2/8" |
| H3 | H1 | 61 | 77.06 | "0/0/10" |
| H3 | H2 | 71.8 | 123.2 | "3/0/7" |
| H3 | H3 | 60 | 86.01 | "0/0/10" |
| H3 | H4 | 70.1 | 84.07 | "1/5/4" |
| H4 | H1 | 54.1 | 91.5 | "1/2/7" |
| H4 | H2 | 57.8 | 101.16 | "2/0/8" |
| H4 | H3 | 58.3 | 100.62 | "3/0/7" |
| H4 | H4 | 49.9 | 83.65 | "0/0/10" |

# Alpha-beta

## Głębokość 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| White Heur | Black Heur | Avg Turns | Avg Time [s] | Score |
| H1 | H1 | 83.8 | 0.76 | "7/0/3" |
| H1 | H2 | 73 | 0.63 | "8/0/2" |
| H1 | H3 | 87.2 | 0.93 | "1/3/6" |
| H1 | H4 | 51.2 | 0.55 | "10/0/0" |
| H2 | H1 | 55.2 | 0.47 | "0/10/0" |
| H2 | H2 | 57 | 0.55 | "6/3/1" |
| H2 | H3 | 87.6 | 0.99 | "0/4/6" |
| H2 | H4 | 51.6 | 0.46 | "0/10/0" |
| H3 | H1 | 75 | 0.9 | "0/6/4" |
| H3 | H2 | 78.9 | 0.79 | "5/0/5" |
| H3 | H3 | 82.1 | 0.71 | "0/2/8" |
| H3 | H4 | 54.2 | 0.65 | "0/10/0" |
| H4 | H1 | 66.9 | 0.68 | "7/1/2" |
| H4 | H2 | 63.6 | 0.72 | "10/0/0" |
| H4 | H3 | 70.2 | 0.75 | "6/1/3" |
| H4 | H4 | 51.9 | 0.51 | "9/1/0" |

## Głębokość 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| White Heur | Black Heur | Avg Turns | Avg Time [s] | Score |
| H1 | H1 | 59.9 | 1.21 | "1/1/8" |
| H1 | H2 | 50.9 | 1.39 | "3/4/3" |
| H1 | H3 | 57.7 | 1.16 | "2/2/6" |
| H1 | H4 | 60.9 | 1.29 | "0/0/10" |
| H2 | H1 | 47.1 | 1.08 | "4/1/5" |
| H2 | H2 | 63.1 | 1.44 | "0/0/10" |
| H2 | H3 | 56.6 | 1.4 | "0/3/7" |
| H2 | H4 | 55.6 | 1.25 | "1/3/6" |
| H3 | H1 | 54.5 | 1.05 | "0/2/8" |
| H3 | H2 | 58.5 | 1.21 | "0/0/10" |
| H3 | H3 | 58.1 | 1.2 | "1/5/4" |
| H3 | H4 | 48.3 | 0.92 | "0/0/10" |
| H4 | H1 | 61 | 1.36 | "0/6/4" |
| H4 | H2 | 50.2 | 1.32 | "0/5/5" |
| H4 | H3 | 91.3 | 1.27 | "0/0/10" |
| H4 | H4 | 53.1 | 1.18 | "0/6/4" |

## Głębokość 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| White Heur | Black Heur | Avg Turns | Avg Time [s] | Score |
| H1 | H1 | 85.8 | 6.23 | "0/1/9" |
| H1 | H2 | 69.8 | 4.14 | "8/0/2" |
| H1 | H3 | 87.5 | 9.32 | "5/1/4" |
| H1 | H4 | 80.8 | 5.4 | "2/4/4" |
| H2 | H1 | 61 | 5.08 | "0/0/10" |
| H2 | H2 | 59.2 | 5.19 | "0/10/0" |
| H2 | H3 | 83.7 | 6.19 | "0/2/8" |
| H2 | H4 | 64.4 | 5.44 | "0/2/8" |
| H3 | H1 | 116.7 | 5.26 | "0/1/9" |
| H3 | H2 | 79.4 | 5.79 | "0/0/10" |
| H3 | H3 | 79.8 | 8.89 | "5/1/4" |
| H3 | H4 | 92.8 | 5.23 | "0/5/5" |
| H4 | H1 | 91.2 | 6.78 | "0/0/10" |
| H4 | H2 | 52.4 | 4.44 | "6/0/4" |
| H4 | H3 | 77.1 | 7.57 | "3/3/4" |
| H4 | H4 | 78.7 | 5.42 | "3/0/7" |

## Głębokość 5

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| White Heur | Black Heur | Avg Turns | Avg Time [s] | Score |
| H1 | H1 | 55.7 | 12 | "0/0/10" |
| H1 | H2 | 64.8 | 14.87 | "2/0/8" |
| H1 | H3 | 54.8 | 12.46 | "4/0/6" |
| H1 | H4 | 58.4 | 12.68 | "1/0/9" |
| H2 | H1 | 79.9 | 13.1 | "1/0/9" |
| H2 | H2 | 73.2 | 16.92 | "2/0/8" |
| H2 | H3 | 62 | 15.76 | "0/0/10" |
| H2 | H4 | 69.1 | 17.38 | "2/2/6" |
| H3 | H1 | 67.5 | 9.48 | "0/0/10" |
| H3 | H2 | 65.4 | 17.02 | "1/0/9" |
| H3 | H3 | 62 | 14.25 | "0/0/10" |
| H3 | H4 | 70.7 | 12.57 | "2/2/6" |
| H4 | H1 | 49.2 | 10.77 | "0/0/10" |
| H4 | H2 | 63.5 | 14.72 | "2/0/8" |
| H4 | H3 | 58.6 | 14.04 | "3/0/7" |
| H4 | H4 | 49.4 | 10.19 | "1/0/9" |

# Min-max vs alpha-beta

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Depth | Min-max | | Alpha-beta | |
| Avg turns [n] | Avg time [s] | Avg turns [n] | Avg time [s] |
| 2 | 67.96875 | 0.664375 | 68.0875 | 0.690625 |
| 3 | 60.74375 | 2.089375 | 57.925 | 1.233125 |
| 4 | 78.20625 | 14.403125 | 78.76875 | 6.023125 |
| 5 | 61.36875 | 93.086875 | 62.7625 | 13.638125 |

# Wnioski

Patrząc na same algorytmy min-max i alpha-beta można dojść do wniosku, że w zasadzie kompletnie nieopłacalne jest zastosowanie algorytmu min-max, gdyż alpha-beta bez żadnej straty wyników (czy też jakości wyników) dokonuje tych samych operacji co min-max natomiast jest zdecydowanie wydajniejszy. Wynika to naturalnie z faktu, że zasadniczo bazujemy na tym samym drzewie stanów gry i dzięki technie alpha-beta „odcinamy” (czyli nie przeglądamy niepotrzebnie) gałęzie tego drzewa TYLKO WTEDY gdy wiadomo, że nie zmieni to szukanego minimum/maksimum. Ogólnie algorytmy te są w stanie grać na dość dobrym, w porównaniu z człowiekiem, poziomie, natomiast skuteczność gry zależy w pełni od przyjętej heurystyki oceny planszy. Bezpośrednio dyktują one bowiem do jakiego stanu planszy nasze AI powinno „dążyć” by mieć jak najlepszą pozycję.

Co do heurystyk zaproponowanych przeze mnie (z perspektywy białych):

* H1 – Ogólnie sprawdzała się dla białych, jedynie przy głębokości = 3 dość równa walka
* H2 – Bardzo słaba dla białych, albo dająca przewagę czarnemu albo na remis
* H3 – Słabe dla białych, dużo wygranych czarnych i remisów
* H4 – Ogólnie działa dla białych, przy głębokości = 3 tragedia i czarne z przodu

Ogólnie wyniki różnią się diametralnie w zależności od kombinacji heurystyki grającego białymi, heurystyki grającego czarnymi oraz głębokości przeszukiwania. Biorąc pod uwagę tylko kilka losowych otwarć to zasadniczo przebieg rozgrywki dla danych heurystyk i głębokości będzie zawsze taki sam, ponieważ algorytm nie posiada żadnej zdolności nauki. Same wyniki zasadniczo nic nie mówią, ponieważ algorytm przyjmując daną heurystykę skupia się tylko na jednym celu (przynajmniej patrząc na tak proste heurystyki) tzn. będzie albo starał się utrzymywać piony w środku planszy, albo na krawędziach, albo po prostu nie dać się zbijać i mieć przewagę jednego piona, albo jak najszybciej dążyć do zdobycia damki. Ze względu na brak stopniowego wynagradzania czy karania za przedłużanie rozgrywki / zdobywanie kolejnych pionów często prowadzi to do sytuacji gdzie obie strony są dość usatysfakcjonowane z perspektywy własnej heurystyki i „kręcą się w kółko”. W związku z tym można przyjąć, że sam algorytm jest dobrym narzędziem do rozwiązywania gier i może stanowić trudność dla człowieka, zależy to jednak od odpowiedniego doboru heurystyki (a prawdopodobnie nie istnieje idealna). Jako lepsze podejście proponowałbym już skorzystanie z sieci neuronowych i zbudowanie gracza na zasadzie RL (reinforcement learning). Prowadziłoby to do „wymuszenia” dążenia do wygranej przy odpowiednim systemie nagród i kar oraz prawdopodobnie pozwoliłoby agentowi tworzyć bardziej skomplikowane rozwiązanie sytuacji, opierające się na wielu czynnikach a nie tylko na liczbowym stanie planszy w ramach jednej metryki.