algorytmy rozwiązywania gier o sumie zerowej

Sztuczna inteligencja i inżynieria wiedzy

Rafał Behrendt 246643

10.05.2020

# Implementacja

Zadaniem było implementacja gry Mankala wraz z algorytmami Minimax i alfa-beta cięć. Zasady gry: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Mankala>. Gra wykonana w silniku Unity – narzędzie do prostego tworzenia gier. Nad rozgrywką i obsługą interfejsu panuje obiekt GameController. Istnieje instancja gracza, który może wykonywać ruchy tylko jak jest jego kolejka oraz rozgrywka trwa. Obiekt AI dziedziczy po obiekcie Player i ma dodatkowo zaimplementowane metody rozwiązywania gry – maksymalizacji minimalnego zysku. Obsługę aktualnego stanu planszy sprawuje GameServer, który zmienia stan planszy według ustalonych zasad i nasłuchuje na ruchy graczy.

Zaimplementowane zostały dwie metody rozwiązywania gier – algorytm Minimax oraz algorytm alf-beta cięć. W pierwszym kroku obiekt AI buduje drzewo o zadanej głębokości, na podstawie dozwolonych ruchów. Następnie w zależności od przyjętej metody wykonuje algorytm Minimax, lub alfa-beta cięć. Algorytm Minimax przechodzi w dół drzewa i wybiera w danej gałęzi dziecko:

* O najniższym możliwym wyniku – jeżeli na danym poziomie jest ruch gracza
* O najwyższym możliwym wyniku – jeżeli na danym poziomie jest ruch przeciwnika

Jak że przeciwnik zawsze wybierze najlepszy rezultat dla siebie (a tym samym najgorszy dla aktualnego gracza) powyższą metodą maksymalizowany jest minimalny wynik.

Algorytm alfa-beta cięć z kolei pomija gałęzie których nie musi rozpatrywać. Jeżeli w kolejnej gałęzi jeden z wyników jest niższy niż poprzedni, a jest ruch przeciwnika, to nie musimy rozpatrywać reszty ruchów w tej gałęzi. Podobnie robimy w przypadku naszego ruchu – jeżeli w naszym ruchu wynik jest niższy, nie ma sensu wybierać tej gałęzi.

Ocena ruchu polega na wybraniu najbardziej opłacalnego. W programie zostały zaimplementowane następujące heurystyki:

* Różnica między wynikami graczy – H0
* Premiowanie przejmowania kamieni – H1
* Premiowanie ruchów które kończą się zwycięstwem gracza – H2
* Premiowanie ruchów które kończą się zwycięstwem gracza, wraz z premiowaniem przejmowania kamieni – H3

Różnica między wynikami gracza jest podstawową heurystyką. Obowiązuje ona zawsze, a do niej przypisane mogą zostać premie za przejmowanie kamieni (przejęcie kamieni jest warte więcej punktów niż w rzeczywistości) i/lub kończenie gry, gdy zwycięstwo jest widoczne w drzewie.

# Badania

Badania wydajnościowe polegały na przeprowadzeniu 14 testów. 7 poziomów głębokości zostało przetestowane 20 razy dla algorytmu Minimax oraz alfa-beta.

## Testy wydajnościowe

### Głębokość 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Minmax** | |  |  |  | **Alfa-beta** | |
| **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |  |  | **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |
| **1** | **0** | **22** |  |  | **1** | **0** | **22** |
| **2** | **0** | **12** |  |  | **2** | **0** | **22** |
| **3** | **0** | **12** |  |  | **3** | **0** | **13** |
| **4** | **0** | **14** |  |  | **4** | **0** | **25** |
| **5** | **0** | **17** |  |  | **5** | **0** | **8** |
| **6** | **0** | **15** |  |  | **6** | **0** | **12** |
| **7** | **0** | **15** |  |  | **7** | **0** | **5** |
| **8** | **0** | **10** |  |  | **8** | **0** | **17** |
| **9** | **0** | **19** |  |  | **9** | **0** | **13** |
| **10** | **0** | **7** |  |  | **10** | **0** | **6** |
| **11** | **0** | **14** |  |  | **11** | **0** | **15** |
| **12** | **0** | **24** |  |  | **12** | **0** | **16** |
| **13** | **0** | **12** |  |  | **13** | **0** | **19** |
| **14** | **0** | **7** |  |  | **14** | **0** | **12** |
| **15** | **0** | **13** |  |  | **15** | **0** | **10** |
| **16** | **0** | **15** |  |  | **16** | **0** | **12** |
| **17** | **0** | **12** |  |  | **17** | **0** | **12** |
| **18** | **0** | **9** |  |  | **18** | **0** | **8** |
| **19** | **0** | **10** |  |  | **19** | **0** | **7** |
| **20** | **0** | **8** |  |  | **20** | **0** | **12** |
| **Średnia** | **0** | **13,35** |  |  | **Średnia** | **0** | **13,3** |

### Głębokość 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Minmax** | |  |  |  | **Alfa-beta** | |
| **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |  |  | **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |
| **1** | **0** | **28** |  |  | **1** | **0** | **28** |
| **2** | **0** | **28** |  |  | **2** | **0** | **28** |
| **3** | **0** | **25** |  |  | **3** | **0** | **25** |
| **4** | **0** | **31** |  |  | **4** | **0** | **22** |
| **5** | **0** | **29** |  |  | **5** | **0** | **26** |
| **6** | **0** | **27** |  |  | **6** | **0** | **19** |
| **7** | **0** | **25** |  |  | **7** | **0** | **19** |
| **8** | **0** | **27** |  |  | **8** | **0** | **20** |
| **9** | **0** | **21** |  |  | **9** | **0** | **30** |
| **10** | **0** | **21** |  |  | **10** | **0** | **12** |
| **11** | **0** | **19** |  |  | **11** | **0** | **24** |
| **12** | **0** | **17** |  |  | **12** | **0** | **24** |
| **13** | **0** | **12** |  |  | **13** | **0** | **26** |
| **14** | **0** | **6** |  |  | **14** | **0** | **21** |
| **15** | **0** | **6** |  |  | **15** | **0** | **18** |
| **16** | **0** | **27** |  |  | **16** | **0** | **11** |
| **17** | **0** | **20** |  |  | **17** | **0** | **21** |
| **18** | **0** | **23** |  |  | **18** | **0** | **21** |
| **19** | **0** | **11** |  |  | **19** | **0** | **21** |
| **20** | **0** | **22** |  |  | **20** | **0** | **21** |
| **Średnia** | **0** | **21,25** |  |  | **Średnia** | **0** | **21,85** |

### Głębokość 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Minmax** | |  |  |  | **Alfa-beta** | |
| **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |  |  | **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |
| **1** | **0** | **30** |  |  | **1** | **0** | **30** |
| **2** | **0** | **30** |  |  | **2** | **0** | **22** |
| **3** | **0** | **11** |  |  | **3** | **0** | **11** |
| **4** | **0** | **33** |  |  | **4** | **0** | **36** |
| **5** | **0** | **27** |  |  | **5** | **0** | **11** |
| **6** | **0** | **17** |  |  | **6** | **0** | **24** |
| **7** | **0** | **22** |  |  | **7** | **0** | **10** |
| **8** | **0** | **15** |  |  | **8** | **0** | **17** |
| **9** | **0** | **23** |  |  | **9** | **0** | **22** |
| **10** | **0** | **20** |  |  | **10** | **0** | **22** |
| **11** | **0** | **20** |  |  | **11** | **0** | **13** |
| **12** | **0** | **25** |  |  | **12** | **0** | **19** |
| **13** | **0** | **18** |  |  | **13** | **0** | **20** |
| **14** | **0** | **15** |  |  | **14** | **0** | **20** |
| **15** | **0** | **17** |  |  | **15** | **0** | **11** |
| **16** | **0** | **16** |  |  | **16** | **0** | **25** |
| **17** | **0** | **8** |  |  | **17** | **0** | **15** |
| **18** | **0** | **15** |  |  | **18** | **0** | **14** |
| **19** | **0** | **11** |  |  | **19** | **0** | **19** |
| **20** | **0** | **12** |  |  | **20** | **0** | **19** |
| **Średnia** | **0** | **19,25** |  |  | **Średnia** | **0** | **19** |

### Głębokość 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Minmax** | |  |  |  | **Alfa-beta** | |
| **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |  |  | **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |
| **1** | **4** | **27** |  |  | **1** | **0** | **30** |
| **2** | **3** | **21** |  |  | **2** | **0** | **32** |
| **3** | **3** | **21** |  |  | **3** | **0** | **17** |
| **4** | **2** | **18** |  |  | **4** | **0** | **20** |
| **5** | **3** | **21** |  |  | **5** | **0** | **15** |
| **6** | **2** | **18** |  |  | **6** | **0** | **13** |
| **7** | **0** | **29** |  |  | **7** | **0** | **17** |
| **8** | **0** | **15** |  |  | **8** | **0** | **15** |
| **9** | **0** | **18** |  |  | **9** | **0** | **17** |
| **10** | **7** | **19** |  |  | **10** | **0** | **18** |
| **11** | **0** | **10** |  |  | **11** | **0** | **12** |
| **12** | **1** | **19** |  |  | **12** | **0** | **12** |
| **13** | **1** | **16** |  |  | **13** | **0** | **20** |
| **14** | **1** | **20** |  |  | **14** | **0** | **21** |
| **15** | **0** | **18** |  |  | **15** | **0** | **14** |
| **16** | **1** | **11** |  |  | **16** | **0** | **12** |
| **17** | **4** | **22** |  |  | **17** | **0** | **19** |
| **18** | **0** | **20** |  |  | **18** | **0** | **18** |
| **19** | **2** | **16** |  |  | **19** | **0** | **7** |
| **20** | **0** | **12** |  |  | **20** | **0** | **16** |
| **Średnia** | **1,7** | **18,55** |  |  | **Średnia** | **0** | **17,25** |

### Głębokość 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Minmax** | |  |  |  | **Alfabeta** | |
| **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |  |  | **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |
| **1** | **54** | **19** |  |  | **1** | **10** | **19** |
| **2** | **38** | **21** |  |  | **2** | **11** | **18** |
| **3** | **37** | **21** |  |  | **3** | **10** | **22** |
| **4** | **78** | **17** |  |  | **4** | **12** | **15** |
| **5** | **84** | **32** |  |  | **5** | **9** | **19** |
| **6** | **30** | **16** |  |  | **6** | **22** | **37** |
| **7** | **29** | **16** |  |  | **7** | **2** | **11** |
| **8** | **62** | **25** |  |  | **8** | **14** | **14** |
| **9** | **106** | **20** |  |  | **9** | **11** | **20** |
| **10** | **73** | **24** |  |  | **10** | **2** | **12** |
| **11** | **30** | **20** |  |  | **11** | **18** | **24** |
| **12** | **144** | **22** |  |  | **12** | **20** | **39** |
| **13** | **28** | **22** |  |  | **13** | **16** | **25** |
| **14** | **45** | **20** |  |  | **14** | **16** | **21** |
| **15** | **24** | **22** |  |  | **15** | **3** | **17** |
| **16** | **40** | **21** |  |  | **16** | **13** | **21** |
| **17** | **41** | **15** |  |  | **17** | **7** | **11** |
| **18** | **65** | **20** |  |  | **18** | **11** | **27** |
| **19** | **54** | **34** |  |  | **19** | **15** | **32** |
| **20** | **51** | **30** |  |  | **20** | **9** | **30** |
| **Średnia** | **55,65** | **21,85** |  |  | **Średnia** | **11,55** | **21,7** |

### Głębokość 6

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Minmax** | |  |  |  | **Alfabeta** | |
| **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |  |  | **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |
| **1** | **344** | **11** |  |  | **1** | **18** | **11** |
| **2** | **404** | **11** |  |  | **2** | **20** | **15** |
| **3** | **534** | **22** |  |  | **3** | **20** | **11** |
| **4** | **586** | **22** |  |  | **4** | **14** | **24** |
| **5** | **168** | **21** |  |  | **5** | **26** | **19** |
| **6** | **352** | **18** |  |  | **6** | **12** | **7** |
| **7** | **184** | **20** |  |  | **7** | **13** | **24** |
| **8** | **245** | **19** |  |  | **8** | **24** | **21** |
| **9** | **155** | **17** |  |  | **9** | **46** | **17** |
| **10** | **52** | **15** |  |  | **10** | **8** | **25** |
| **11** | **236** | **24** |  |  | **11** | **9** | **13** |
| **12** | **53** | **20** |  |  | **12** | **6** | **15** |
| **13** | **217** | **19** |  |  | **13** | **13** | **20** |
| **14** | **233** | **15** |  |  | **14** | **10** | **16** |
| **15** | **165** | **15** |  |  | **15** | **24** | **28** |
| **16** | **18** | **4** |  |  | **16** | **5** | **19** |
| **17** | **15** | **8** |  |  | **17** | **9** | **17** |
| **18** | **79** | **18** |  |  | **18** | **0** | **15** |
| **19** | **10** | **29** |  |  | **19** | **16** | **6** |
| **20** | **180** | **23** |  |  | **20** | **4** | **10** |
| **Średnia** | **211,5** | **17,55** |  |  | **Średnia** | **14,85** | **16,65** |

### Głębokość 7

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Minmax** | |  |  |  | **Alfabeta** | |
| **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |  |  | **Lp.** | **Czas [ms]** | **Liczba ruchów** |
| **1** | **7701** | **19** |  |  | **1** | **81** | **28** |
| **2** | **3863** | **18** |  |  | **2** | **73** | **21** |
| **3** | **9823** | **25** |  |  | **3** | **118** | **22** |
| **4** | **4068** | **21** |  |  | **4** | **142** | **20** |
| **5** | **4982** | **20** |  |  | **5** | **177** | **22** |
| **6** | **26792** | **23** |  |  | **6** | **202** | **18** |
| **7** | **4337** | **29** |  |  | **7** | **157** | **19** |
| **8** | **7393** | **22** |  |  | **8** | **199** | **13** |
| **9** | **4795** | **21** |  |  | **9** | **87** | **20** |
| **10** | **5788** | **20** |  |  | **10** | **342** | **17** |
| **11** | **10274** | **24** |  |  | **11** | **187** | **13** |
| **12** | **2358** | **20** |  |  | **12** | **297** | **19** |
| **13** | **9912** | **19** |  |  | **13** | **910** | **20** |
| **14** | **8001** | **15** |  |  | **14** | **182** | **16** |
| **15** | **5385** | **15** |  |  | **15** | **844** | **22** |
| **16** | **3058** | **4** |  |  | **16** | **110** | **27** |
| **17** | **7494** | **8** |  |  | **17** | **396** | **17** |
| **18** | **2033** | **18** |  |  | **18** | **700** | **19** |
| **19** | **15022** | **29** |  |  | **19** | **97** | **27** |
| **20** | **5559** | **23** |  |  | **20** | **101** | **18** |
| **Średnia** | **7431,9** | **19,8** |  |  | **Średnia** | **270,1** | **19,9** |

Wykres średniego czasu przetwarzania przedstawia poniższa tabela:

Można zauważyć, że do głębokości 3 prędkość przetwarzania jest natychmiastowa. Od głębokości 4 wzwyż zaczyna to zajmować coraz więcej czasu.

Średnia liczba ruchów koniecznych do wykonania jest niska dla głębokości 1. Dla pozostałych głębokości wartości te są zbliżone i wynoszą około 20. Średnia liczba ruchów Minmax oraz alfa-beta są bardzo podobne na każdym poziomie – algorytmy te dają te same wyniki, różni się jedynie prędkość przetwarzania.

## Testy skuteczności

Następnie przeprowadzono testy skuteczności. W pierwszym kroku sprawdzono, jaka głębokość najlepiej sobie radzi (wykorzystana została heurystyka H0). Rozpoczęto od głębokości 1 i przeprowadzano 20 rozgrywek AI vs AI dla różnych głębokości. Każda rozgrywka rozpoczynała się na planszy, na której wykonano od 1 do 3 losowych ruchów początkowych. Wyniki w tabeli prezentują ilość wygranych (może wynosić więcej niż 20, wynika to z możliwych remisów).

|  |  |
| --- | --- |
| Rozgrywka | Wyniki |
| Głębokość 1 vs Głębokość 2 | 4 – 16 |
| Głębokość 2 vs Głębokość 3 | 6 – 14 |
| Głębokość 3 vs Głębokość 4 | 9 – 12 |
| Głębokość 4 vs Głębokość 5 | 9 – 12 |
| Głębokość 5 vs Głębokość 6 | 12 – 8 |
| Głębokość 5 vs Głębokość 7 | 12 – 10 |

Z testów wynika, że, najbardziej skuteczna jest głębokość drzewa 5. Głębokość tę zastosowano przy testowaniu heurystyk. Przeprowadzono rozgrywki między wszystkimi heurystykami.

|  |  |
| --- | --- |
| Rozgrywka | Wyniki |
| H0 vs H1 | 14 – 9 |
| H0 vs H2 | 7 – 13 |
| H2 vs H3 | 12 – 10 |

Najbardziej skuteczna okazuje się być heurystyka H2 – premiowanie ruchów które kończą się wygraną gracza. Heurystyka H3 jest bardzo do niej zbliżona (trzeba było powtórzyć test 3 razy zanim wyłoniono zwycięzcę). Najmniej skuteczna okazała się heurystyka H1 – premiowanie bicia.

Na podstawie powyższych danych można sformułować poziomy trudności:

* Łatwy – głębokość drzewa 1, heurystyka H1 (premiowanie bicia)
* Średni – głębokość drzewa 3, heurystyka H0 (podstawowa, wynik gracza – wynik przeciwnika)
* Trudny – głębokość drzewa 5, heurystyka H2 premiowanie ruchów które kończą się wygraną gracza

Wykorzystanie algorytmu minimax czy też alfa-beta nie ma znaczenia dla skuteczności gracza. Jedyna różnica jest w prędkości przetwarzania.