

# Sztuczne inteligencja i inżynieria wiedzy

## Laboratorium

### Ćwiczenie 3. Algorytmy rozwiązywania gier o sumie zerowej

Opracowanie: J. Gruber, W. Szostak

#### Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z głównymi pojęciami gier – gra i rozgrywka, stan i przestrzeń stanów gry, strategia oraz drzewo i węzły drzewa gry, wypłata, przeszukiwanie drzewa gry, racjonalne działanie graczy jako podmiotów decyzyjnych za pomocą własnej implementacji dwóch dwuosobowych planszowych gier logiczno-strategicznych i zbadanie właściwości wykonanych implementacji silników tych gier.

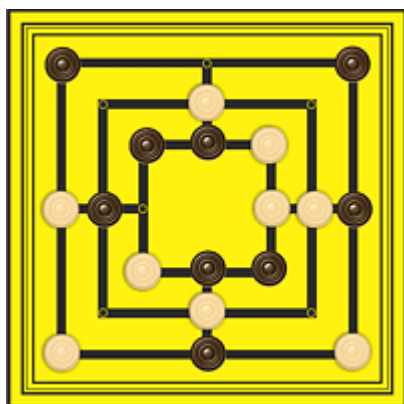
#### Realizacja ćwiczenia

- Zapoznanie się z głównymi pojęciami gier – gra i partia gry, stan i przestrzeń stanów gry, strategia oraz drzewo i węzły drzewa gry, wypłata, przeszukiwanie drzewa gry, racjonalne działanie graczy jako podmiotów decyzyjnych, na przykładzie dwuosobowej planszowej gry logiczno-strategicznej *Młynek*.
- Sformułowanie liczbowej funkcją oceniającą stanu gry dla której – im większa wartość tej funkcji, tym lepiej dla jednego gracza a gorzej dla przeciwnika.
- Wskazanie na właściwy dobór strategii optymalnej gracza – gracz powinien dobrać swoją strategię tak, by w danym momencie gry zmaksymalizować swój zysk, czyli zminimalizować stratę, mając zarazem świadomość tego, jak może postąpić przeciwnik. Wybór strategii przeciwnika wpływa na wybór strategii optymalnej gracza.
- Zapoznanie się z algorytmami znajdowania rozwiązań gier o sumie zerowej – sprawiedliwych (ang. *Zero-sum game solving algorithms*), czyli optymalnych strategii gier, w szczególności z algorytmami *min-max* oraz *alfa-beta*.
- Samodzielna implementacja algorytmów *min-max* oraz *alfa-beta* z funkcją oceniającą i wartościowaniem wypłaty.
- Sformułowanie dla gry *Młynek* 3 do 5 heurystyk wartościowania funkcji oceniającej ruchów gracza i przeciwnika.
- Samodzielna implementacja kontrolerów gry AI przeciw człowiekowi, oraz AI przeciw AI.
- Implementacja heurystyk sformułowanych dla gry z algorytmami *min-max* oraz *alfa-beta*.
- Zbadanie czasów przetwarzania i ilości ruchów graczy w rozgrywkach w grze dla implementacji z algorytmem *min-max* oraz *alfa-beta*, z kontrolerami: AI przeciw człowiekowi, oraz AI przeciw AI.
- Zbadanie wpływu zastosowanych heurystyk na czas przetwarzania.
- Prezentacja najciekawszych (zdaniem studenta) wyników.
- Dyskusja otrzymanych wyników.
- Przygotowanie sprawozdania (najlepiej przyrostowo) zawierającego powyższe punkty.

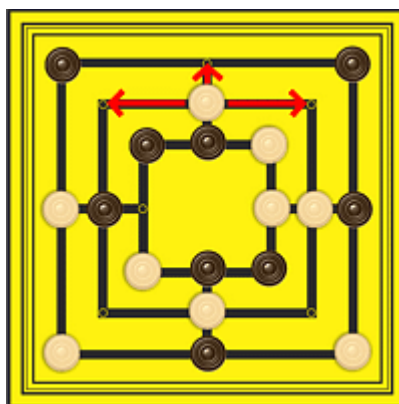
#### Gra Młynek

Status gry: rozwiązana. Młynek to jedna z najstarszych i najbardziej popularnych dwuosobowych planszowych gier turowych rozgrywana na planszy z 24 zwykle okrągłymi polami, które są rozmieszczone na bokach 3 kwadratów o różnych długościach boków – małym, średnim i dużym. Kwadraty są rozmieszczone koncentrycznie jeden w drugim. Widok planszy z przykładową rozgrywką pokazano poniżej. Gra polega budowaniu strategii ruchów gracza i przewidywaniu ruchów przeciwnika. Celem jest zablokowanie lub zabicie pionków przeciwnika. Każdy z graczy dysponuje dziewięcioma pionkami w swoim kolorze i próbuje nimi

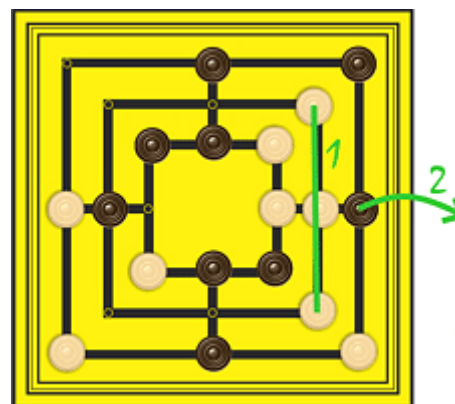
zablokować pionki przeciwnika tak, by nie mógł wykonać żadnego ruchu, lub zbić 7 z nich. Dość klarowne opisy można znaleźć w kilku publikacjach internetowych. My posłużymy się publikacją <http://www.matematyka.wroc.pl/grystrategiczneillogiczne/mlynek>.



Rysunek 1



Rysunek 2



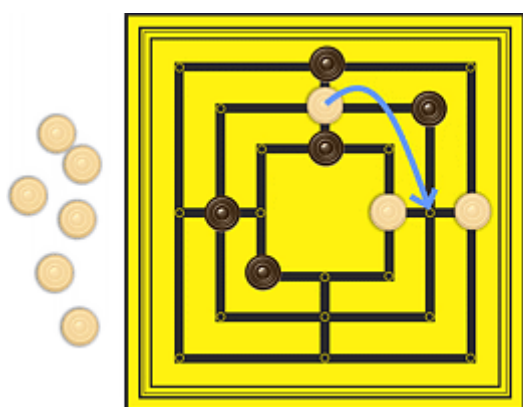
Rysunek 3

Źródło: <http://www.matematyka.wroc.pl/grystrategiczneillogiczne/mlynek>

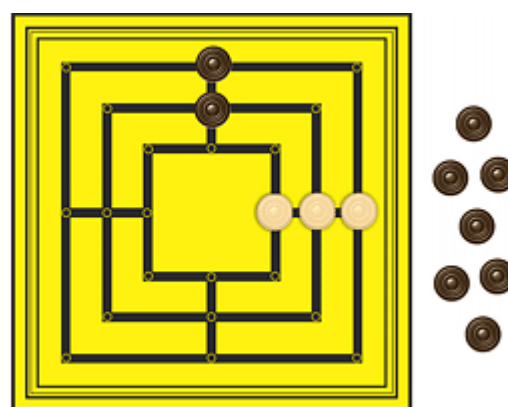
Najpierw gracze losują rozpoczynającego. Partia gry składa się z 3 etapów: rozstawiania pionków, rozgrywki właściwej oraz rozgrywki 3-ma pionkami. W pierwszym etapie gry gracze na zmianę ustawiają swoje pionki na polach planszy. Przykładowe rozstawienie przedstawia Rysunek 1. Rozstawienie powinno zablokować uzyskanie „młynka”, tzn. trzech pionków na jednej z narysowanych linii.

W drugim etapie gry, w swojej turze gracz przesuwa jeden z pionków wzdłuż zaznaczonej linii na sąsiednie pole, o ile jest wolne (Rysunek 2). Pionki przeciwnika w określonych sytuacjach mogą być zbijane. Gdy jednemu z graczy uda się ustawić "młynek", może zabrać z planszy (zbić) jeden z pionków przeciwnika (Rysunek 3). Jeśli w swoim ruchu gracz ustawi "podwójny młynek" - może zbić dwa pionki przeciwnika. W klasycznej wersji gry "podwójny młynek" jest możliwy tylko na etapie ustawiania pionków na planszy.

Trzeci etap gry rozpoczyna się gdy jednemu z graczy zostaną tylko trzy pionki. Od tej chwili w swojej turze może on przestawić dowolnie wybrany ze swoich pionków na dowolnie wybrane wolne pole, jeśli jest wolne – nie ma obowiązku poruszania się wzdłuż linii (Rysunek 4).



Rysunek 4



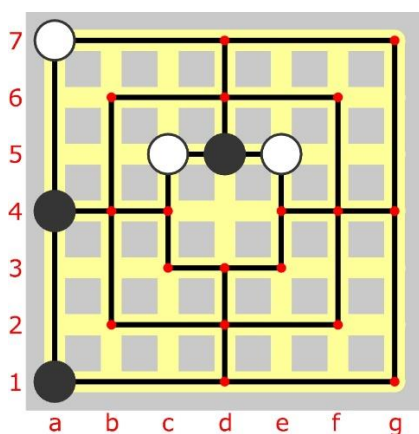
Rysunek 5

Źródło: <http://www.matematyka.wroc.pl/grystrategiczneillogiczne/mlynek>

Gra kończy się, gdy jeden z zawodników nie może już wykonać żadnego ruchu lub gdy pozostaną mu tylko dwa pionki i nie będzie już mógł utworzyć młynka. Wygrywa gracz, który zdobył więcej pionków przeciwnika.

W grze należy stosować zasadę, że nie wolno wracać pionkiem na pole, z którego ten pionek przyszedł w poprzednim ruchu. Gracze zmuszeni są budować nowe „młynki”, zamiast korzystać dwukrotnie z tych samych.

Pola na planszy gry oznaczają się z pomocą odpowiedniej notacji. Umożliwia to zapisywanie przebiegu rozgrywki. W tym celu liniom siatki na planszy przypisujemy oznaczenia cyfrowe (dla linii poziomych) i literowe dla linii pionowych. Ilustruje to Rysunek 6 zapożyczony z publikacji internetowej 3 (<https://penszko.blog.polityka.pl/2012/05/08/mlynkujac/>).



Rysunek 6

Źródło: <https://penszko.blog.polityka.pl/2012/05/08/mlynkujac/>

Rysunek ten pokazuje 3 etap rozgrywki, w którym zaczynają białe i wygrywają, czyli tworzą młynek, w czterech ruchach, na przykład w następujący sposób (pokazany w tej publikacji przez użytkownika OlaGM):

białe: c5 – e4

czarne: e3

białe: e5 – g4

czarne: f4

białe: e4 – g7

czarne: d7 / g1

białe: d7 / g1

i wyjaśniony w tej publikacji przez użytkownika Piotr w następujący sposób:

„.....Jedyny prowadzący do młynka w czwartym ruchu to ruch białego C5→E4.

Jeżeli czarny odpowie D5→E3 wtedy białe E4→D5 i niezależnie od tego jak czarny zablokuje zagrożenie, następnym ruchem E5→D7 białe zagraża dwoma młynkami jednocześnie więc w czwartym ruchu białe tworzy młynek. Jeżeli czarny odpowie A4/A1→E3, białe E5→G4 i jak wyżej, następnym ruchem E4→G7 podwójny „szach”, w czwartym ruchu białego prowadzący do młynka.”

W kilku miejscach w sieci są dostępne różne implementacje gry Młynki. Pozwala to wytrenować się w tej grze, ocenić jakość implementacji w rozgrywkach treningowych i kompletność funkcjonalności, oraz ocenić implementację interfejsu użytkownika. Wersja online gry jest osiągalna pod adresem [https://www.mathplayground.com/logic\\_nine\\_mens\\_morris.htm](https://www.mathplayground.com/logic_nine_mens_morris.htm). Z miejsca <https://www.microsoft.com/pl-pl/p/nine-men-morris/9wzdnrcdr9zp?activetab=pivot:overviewtab> można pobrać i zainstalować bezpłatną wersję gry. Ze sklepu App Store <https://boardgamegeek.com/boardgame/3886/nine-mens-morris> można

pobrać wersję darmową gry w postaci apki (od sprzedawcy Games GmbH ) lub w cenie symbolicznej (od sprzedawcy OutOfTheBit Ltd) na platformę iOS urządzeń iPhone i iPad.

### **Źródła naukowe formalnego opisu i analizy gry Młynek. Potwierdzona statystycznie skuteczność heurystyk gry**

Pozycja literaturowa 6 z 1996 roku jest rzetelnym i precyzyjnym omówieniem formalnych aspektów gry Młynek. W części 3 tej pracy zarysowano strategię rozwiązywania gry. W części 4 przedstawiono charakterystykę przestrzeni stanów gry, oraz sposób prowadzenia i algorytm obliczeń prowadzących do rozwiązań, a także weryfikacji tej procedury, co należy traktować jako wskazanie użytecznych heurystyk dla rozgrywek. W części 5 wskazano na szereg aspektów optymalizacji strategii rozgrywek dla implementowanych graczy typu AI. W części 6 będącej omówieniem wyników badań, wskazano na szereg subtelnych, ale skutecznych heurystyk możliwych do zaimplementowania w silniku gry.

Podobny charakter, ale znacznie silniejsze opisy i wyniki - w szczególności odnośnie heurystyk i tzw. rozgrywek perfekcyjnych, ma znacznie nowsza, bo z 2003 roku, publikacja 7. Jej przestudiowanie jest szczególnie polecane.

### **Podział realizacji zadania**

*Zajęcia 1* – Algorytmy min-max i alfa-beta w pseudokodzie. Analiza gry Młynek – cel, zasady, logika, stan i przestrzeń stanów gry, rozgrywka i notacja przebiegu rozgrywki, funkcja oceniająca. Specyfikacje i diagramy projektowe.

*Zajęcia 2* – implementacja silników gry z algorytmami min-max oraz alfa-beta. Sformułowanie i implementacja heurystyk oceny stanu gry w silnikach. Specyfikacja i kod.

*Zajęcia 3* – przeprowadzenie badań porównawczych czasów przetwarzania i ilości ruchów gracza wygrywającego. Specyfikacje i dokumentacja.

### **Ocena ćwiczenia**

1 pkt	Projekt i implementacja interfejsu użytkownika UI gry Młynek. Interfejs musi zawierać kontrolki wyboru typu algorytmu, typu rozgrywki, wyboru heurystyk, wynik pomiaru czasu i ilości ruchów w rozgrywce, gracza lub AI wygrywających, opcję logowania historii ruchów (tur) gracza i/lub AI w rozgrywce.
1 pkt	Sformułowanie algorytmów min-max i alfa-beta w pseudokodzie. Specyfikacja celu, zasad i logiki gry. Omówienie oceny stanu gry i zdefiniowanie funkcji oceniającej do przybliżania optymalnego wyniku rozgrywki.
1 pkt	Implementacja podstawowej wersji algorytmu min-max dla gry.
2 pkt	Implementacja algorytmu alfa-beta oraz zbadanie jego wpływu na rozgrywkę.
2 pkt	Sformułowanie i implementacja heurystyk oceny stanu gry w silnikach gry.
2 pkt	Badanie porównawcze czasów przetwarzania i ilości ruchów gracza wygrywającego rozgrywkę z kontrolerem AI przeciw AI, dla implementacji z algorytmem min-max i alfa-beta.
1 pkt	Badanie wpływu zastosowania heurystyk wyboru kolejności węzłów na czas przetwarzania i ilość ruchów gracza wygrywającego w rozgrywce z kontrolerem AI przeciw AI .

**Uwaga 1:** Dla wykonanych implementacji algorytmów w kontrolerach należy mierzyć zarówno czasy wykonywania jak i liczbę instrukcji, które wykonują algorytmy. Zalecane jest też użycie profilera w celu ułatwienia optymalizacji kodu.

**Uwaga 2:** Z ćwiczenia 3 można uzyskać ocenę celującą. Warunkiem jest wybór jednego z kilku mechanizmów lub metod zwiększających skuteczność algorytmu alfa-beta, oraz jej implementacja w kontrolerze gry.

## Materiały pomocnicze i literatura

1. Notatki z wykładu "Sztuczna inteligencja i inżynieria wiedzy", edycja 2019.
2. Strona z opisem gry *Młynek* <http://www.matematyka.wroc.pl/grystrategiczneillogiczne/mlynek>
3. <https://penszko.blog.polityka.pl/2012/05/08/mlynkujac/>
4. <https://www.mimuw.edu.pl/~pan/gry.pdf>
5. [http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPG8-0090-0011/c/31\\_2012\\_art21\\_Zastosowanie.pdf](http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPG8-0090-0011/c/31_2012_art21_Zastosowanie.pdf)
6. <http://library.msri.org/books/Book29/files/gasser.pdf>
7. <https://althofer.de/stahlhacke-lasker-morris-2003.pdf>
8. Stuart J. Russell, Peter Norvig, Ernest Davis, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd ed., Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, Boston, USA. Podręcznik akademicki.
9. <http://gamescrafters.berkeley.edu/games.php?game=ninemensmorris> – alternatywne nazwy gry Młynek.