# Sztuczna inteligencja i inżynieria wiedzy
## laboratorium

### Ćwiczenie 2. Problem spełniania ograniczeń

opracowanie: M. Antkiewicz, M. Piasecki, J. Jakubik

**Cel ćwiczenia**
Zapoznanie się z podstawowymi algorytmami stosowanymi do rozwiązywania problemów spełniania ograniczeń (ang. *Constraint Satisfaction Problem*, CSP) poprzez własną implementację rozwiązywania CSP i zbadanie jej właściwości.

**Realizacja ćwiczenia**
Na realizację ćwiczenia przewidziane zostały 3 zajęcia, podczas których, należy samodzielnie wykonać następujące zadania:

- Zapoznać się z działaniem algorytmem przeszukiwania z nawrotami (ang. *backtracking*).
- Zapoznać się z metodą rozwiązywania CSP łączącą naprzemiennie przeszukiwanie i propagację ograniczeń, oraz z algorytmami propagacji ograniczeń – zarówno z uproszczonym sprawdzaniem w przód (ang. *forward checking*)
- Zapoznać się z heurystykami stosowanymi w algorytmie przeszukiwania, tj. do wyboru kolejnej zmiennej i wartości.
- Przeanalizować problemy opisane poniżej i sformułować je jako problemy CSP: zdefiniować zmienne, ich dziedziny oraz nałożone ograniczenia.
- Zaimplementować metodę rozwiązywania CSP według schematu łączącego przeszukiwanie z propagacją ograniczeń w sposób umożliwiający zastosowanie do kilku problemów, tzn. należy pomyśleć o jawnej reprezentacji zmiennych, ich dziedzin (odpowiednia reprezentacja na potrzeby eliminacji wartości z dziedzin) i ograniczeń (które determinują połączenia pomiędzy zmiennymi)
- Zaproponować i zaimplementować heurystyki: wyboru kolejnej zmiennej, kolejnej wartości.
- Przetestować skuteczność i efektywność implementacji dla podanych problemów:
    - wykonać testy dla pełnego schematu rozwiązywania CSP: heurystyczne przeszukiwania naprzemiennie z propagacją ograniczeń
    - następnie należy porównać efektywność pełnej wersji z wersjami w których zostaną pominięte: propagacja (lub sprawdzanie w przód, w zależności od wybranej wersji) i poszczególne heurystyki; efektywność mierzyć należy w liczbie kroków przeszukiwania i czasie przetwarzania.
- Przygotować sprawozdanie podsumowujące realizację powyższych punktów.

**Łamigłówka Binary**

Binary to łamigłówka logiczna rozwiązywana na planszy n na n o następujących zasadach:

- Każde pole powinno zawierać wartość 0 lub 1
- W żadnej kolumnie i żadnym wierszu nie może pojawić się sekwencja trzech zer pod rząd lub trzech jedynek pod rząd
- Każdy wiersz jest unikalny i kolumna jest unikalna
- Każdy wiersz i każda kolumna powinny zawierać tyle samo zer, co jedynek

Na przykład:

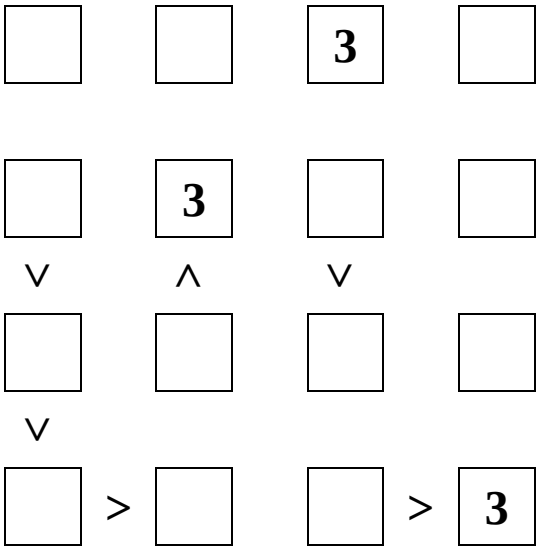
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | | | **0** | | |
| | | **0** | **0** | | **1** |
| | **0** | **0** | | | **1** |
| | | | | | |
| **0** | **0** | | **1** | | |
| | **1** | | | **0** | **0** |

Rozwiązanie:

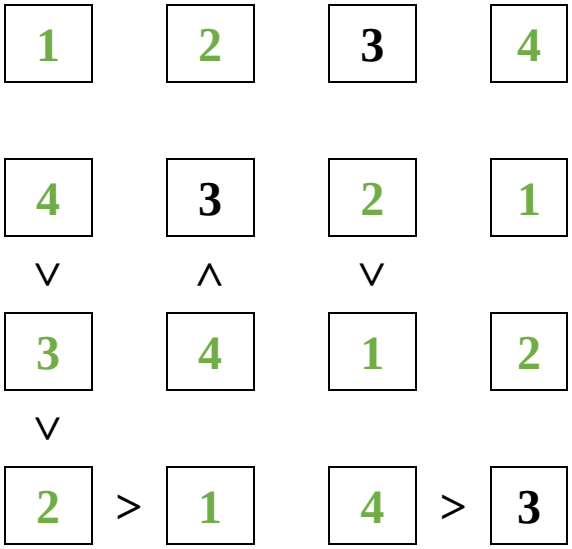
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | **0** | **1** | **0** | **1** | **0** |
| **0** | **1** | **0** | **0** | **1** | **1** |
| **1** | **0** | **0** | **1** | **0** | **1** |
| **0** | **1** | **1** | **0** | **1** | **0** |
| **0** | **0** | **1** | **1** | **0** | **1** |
| **1** | **1** | **0** | **1** | **0** | **0** |

**Łamigłówka Futoshiki**

Futoshiki jest łamigłówką podobną do sudoku: mamy wypełnić planszę n na n liczbami tak, aby w każdej kolumnie i każdym wierszu znalazły się wszystkie liczby od 1 do n. Dodatkowe ograniczenia postawione są jako znaki nierówności pomiędzy liczbami.
Na przykład:




Rozwiązanie:



**Ocena kolejnych etapów realizacji zadania**
Odpieranie kolejnych części zadania zostało podzielone na 3 etapy.

**Zajęcia 1 (max 3 pkt)**

- Poprawne zdefiniowanie zbioru zmiennych, dziedziny oraz ograniczeń (2 pkt)
- Implementacja algorytmu przeszukiwania z nawrotami (1 pkt)

W implementacji powinno być możliwe wyróżnienie zbioru zmiennych (etykiet), gdzie dla każdej zmiennej przypisany jest zbiór wartości możliwych do przyjęcia (dziedzina).
W dowolnym momencie powinno być możliwe wskazanie, czy nadanie zmiennej określonej wartości złamie którekolwiek z ograniczeń.
Na początku działania algorytmu z powrotami rozwiązanie składa się ze zbioru zmiennych bez przypisanej wartości. Z każdym krokiem, wybierana jest kolejna zmienna (zgodnie z przyjętymi heurystykami), a następnie podejmowana jest próba przypisana kolejnych wartości z dziedziny. Jeżeli spowoduje to złamanie któregokolwiek z ograniczeń, takie rozwiązanie jest odrzucane.
W ramach działania algorytmu powinny zostać znalezione wszystkie możliwe rozwiązania problemu.

**Zajęcia 2 (max 4 pkt)**

- Implementacja pełnej metody rozwiązywania CSP, w tym algorytmów sprawdzania w przód (2 pkt)
- Implementacja heurystyk wyboru zmiennej oraz wartości (2 pkt)

Reprezentację ograniczeń i kolejkę aktywowanych ograniczeń należy tak zaprojektować, aby można było łatwo dostosować program do przynajmniej kilku innych problemów.
Jako bazowe metody wyboru kolejnej zmiennej oraz wartości do rozpatrzenia należy przyjąć wybieranie zgodnie kolejnością definicji.
Implementacja powinna pozwolić na uruchomienie algorytmu przy zastąpieniu tych metod poprzez zaproponowane heurystyki.
Heurystyki mogą dotyczyć zarówno wyboru kolejnej zmiennej jak i wartości dla rozpatrywanej zmiennej. Mogą działać statycznie (kolejność ustalana na początku działania programu) lub dynamicznie (kolejność ewaluowana za każdym razem).

**Zajęcia 3 (max 3 pkt)**

- Zbadanie wpływu zastosowania heurystyk na liczbę przeszukanych stanów (1 pkt)
- Porównanie metod sprawdzania w przód oraz przeszukiwania z powrotami (2 pkt)

Badania powinny zostać przeprowadzone dla różnych rozmiarów problemu.
Do porównania metod / heurystyk należy przyjąć następujące miary:

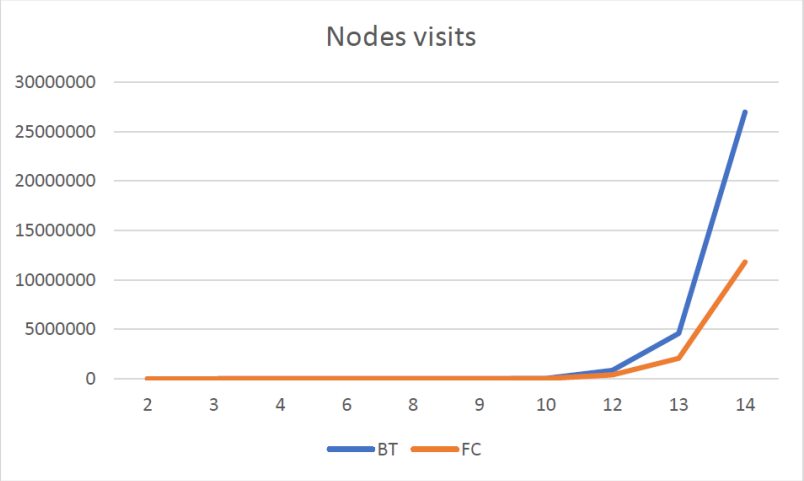
- Całkowity czas wykonania
- Liczba odwiedzonych stanów (węzłów)

Przykład podsumowania wyników dla jednego przypadku:

Liczba odwiedzonych węzłów podczas wyszukiwania wszystkich rozwiązań:

| N | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BT | 3 | 6 | 15 | 149 | 1965 | 8042 | 34815 | 841989 | 4601178 | 26992957 |
| FC | 1 | 3 | 11 | 83 | 1073 | 4368 | 16765 | 383107 | 2066270 | 11812473 |

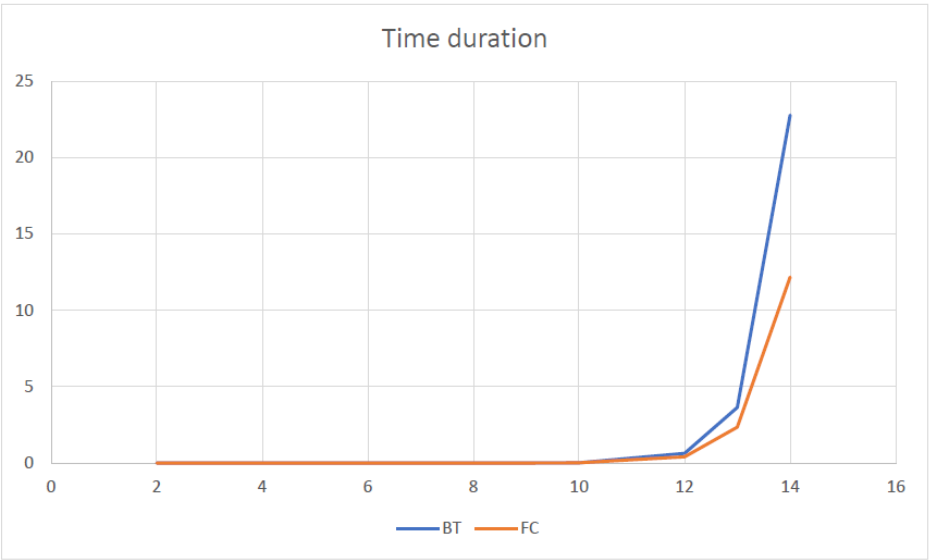
Wykres liczby odwiedzonych węzłów od N




Czas spędzony na znalezieniu wszystkich rozwiązań:

| N | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BT | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,001 | 0,005 | 0,023 | 0,633 | 3,645 | 22,775 |
| FC | 0 | 0 | 0 | 0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,018 | 0,412 | 2,348 | 12,172 |

Wykres czasu [s] wyszukiwania rozwiązań od N




## Literatura

1. Wykład i wskazana w nim literatura.