

Przedmiot	Sztuczna inteligencja i inżynieria wiedzy
Lista nr 2	Sudoku- backtracking and forward checking algorithm
Autor	Góral Dominik, 242345

1. W ramach listy nr 2 mieliśmy zapoznać się z problemami spełniania ograniczeń (Constraint Solving Problem). Zatem musieliśmy zwrócić uwagę na 3 podstawowe problemy:
 - zmiennych
 - dziedzin
 - ograniczeń

Celem w problemach CSP było znalezienie takie przypisania wartości z dziedzin do zmiennych, aby wszystkie ograniczenia były spełnione.
2. Nasz problem głównie opierał się o sudoku. Zatem mieliśmy 81 zmiennych, którym przypisywaliśmy wartości z dziedziny liczb całkowitych od 1 do 9. Ograniczenia, które musiały zostać spełnione:
 - a. W każdym z wierszy musi znajdować się tylko raz każda z cyfr od 1 do 9,
 - b. W każdej z kolumn musi znajdować się tylko raz każda z cyfr od 1 do 9,
 - c. W każdym małym kwadracie 3x3 musi znajdować się tylko raz każda z cyfr od 1 do 9
3. Aby znaleźć rozwiązanie można by oczywiście losować wartości poszczególnych zmiennych i sprawdzać czy zostały spełnione wszystkie ograniczenia. Nie jest to jednak dobra metoda. Zdecydowanie lepiej spisuje się algorytm przeszukiwania z nawrotami. Polega on na przypisywaniu wartości zmiennym z ich dziedzin. W przypadku gdy zostanie złamane, któreś z ograniczeń cofamy się i przypisujemy inne wartości z dziedzin.

Kolejnym rozwiązaniem jest metoda sprawdzania w przód, które jest bardzo podobne do algorytmu przeszukiwania z nawrotami, ale po przypisaniu wartości do zmiennej korygujemy nasze dziedziny. Tym samym ograniczamy ilość wartości które musimy sprawdzić dla wybranych zmiennych.

4. Oprócz algorytmów możemy także dobierać heurystyki dotyczące wyboru zmiennych i wyboru wartości.

W przypadku wyboru zmiennych zdefiniowałem 3 heurystyki:

- a. W kolejności definicji
- b. Zmienna najbardziej ograniczona
- c. Pierwsza z dostępnych w najbardziej wypełnionym kwadracie

W przypadku wyboru wartości zdefiniowałem 4 heurystyki:

- a. W kolejności definicji
- b. W losowej kolejności
- c. Wartość najmniej ograniczająca
- d. W kolejności odwrotnej do definicji

5. W badaniach należało podać czas do znalezienia pierwszego rozwiązania, liczbę odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania, liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania, całkowity czas działania metody, całkowitą liczbę odwiedzonych węzłów drzewa, całkowitą liczbę nawrotów, liczbę rozwiązań.
6. Badania- badanie dla wszystkich sudoku zostało przeprowadzone z wykorzystaniem heurystyki wyboru zmiennej z najbardziej ograniczoną dziedziną i wyboru wartości w kolejności zdefiniowania.

Backtracking algorithm

Nr sudoku	7	22	33	43	46
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania					
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	455017	851067	7743612	103804	-
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	454958	851008	7743554	103747	-
Całkowity czas działania metody	0,332 s	0,224 s	1,835 s	0,988 s	0,109 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	1586517	991429	9230861	4685160	420581
Całkowita liczba nawrotów	1586517	991429	9230861	4685160	420581
Liczba rozwiązań	1	1	1	87	0

Forward checking

Nr sudoku	7	22	33	43	46
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania					
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	4876	80919	20034	5303	-
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	4817	80860	19976	5246	-
Całkowity czas działania metody	0,1389 s	0,3265 s	0,152 s	0,1581 s	0,1206 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	26763	87857	27461	27052	27995
Całkowita liczba nawrotów	26763	87857	27461	27052	27995
Liczba rozwiązań	1	1	1	87	0

Badanie heurystyk zostanie przeprowadzone na trzech różnych sudoku: 7, 33, 43

Backtracking

Zmienna: Pierwsza w kolejności definicji

Wartość: w kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,011 s	0,056 s	0,024 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do	14972	219117	24339

znalezienia pierwszego rozwiązania			
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	14913	219059	24282
Całkowity czas działania metody	0,0394 s	0,1562 s	0,0661 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	149408	804738	214055
Całkowita liczba nawrotów	149408	804738	214055
Liczba rozwiązań	1	1	87

Backtracking

Zmienna: Pierwsza w kolejności definicji

Wartość: najmniej ograniczająca

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,028 s	0,191 s	0,037 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	14972	219117	24339
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	14913	219059	24282
Całkowity czas działania metody	0,1369 s	0,5865 s	0,2003 s
Całkowita liczba odwiedzonych	149408	804738	214055

węzłów drzewa			
Całkowita liczba nawrotów	149408	804738	214055
Liczba rozwiązań	1	1	87

Backtracking

Zmienna: Pierwsza w kolejności definicji

Wartość: przeciwna do kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,013 s	0,078 s	0,019 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	14972	219117	24339
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	14913	219059	24282
Całkowity czas działania metody	0,0529 s	0,2081 s	0,1228 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	149408	804738	214055
Całkowita liczba nawrotów	149408	804738	214055
Liczba rozwiązań	1	1	87

Backtracking

Zmienna: Z najbardziej ograniczającej dziedziny

Wartość: najmniej ograniczająca

Nr sudoku	7	33	43
-----------	---	----	----

Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,404 s	6,301 s	0,125 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	455017	7743612	103804
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	454958	7743554	103747
Całkowity czas działania metody	1,222 s	6,99 s	3,296 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	1586517	9238061	4685160
Całkowita liczba nawrotów	1586517	9238061	4685160
Liczba rozwiązań	1	1	87

Backtracking

Zmienna: Z najbardziej ograniczającej dziedziny

Wartość: przeciwna do kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,149 s	1,9 s	0,058 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	454958	7743554	103804
Liczbę nawrotów wykonanych	455017	7743612	103747

do znalezienia pierwszego rozwiązania			
Całkowity czas działania metody	0,3911 s	2,224 s	1,564 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	1586517	9238061	4685160
Całkowita liczba nawrotów	1586517	9238061	4685160
Liczba rozwiązań	1	1	87

Backtracking

Zmienna: Z najbardziej ograniczającej dziedziny

Wartość: w kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,122 s	1,319 s	0,039 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	455017	7743612	103804
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	454958	7743554	103747
Całkowity czas działania metody	0,332 s	1,835 s	0,988 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	1586517	9230861	4685160
Całkowita liczba nawrotów	1586517	9230861	4685160

Liczba rozwiązań	1	1	87
------------------	---	---	----

Backtracking

Zmienna: pierwsza z najbardziej wypełnionego kwadratu

Wartość: w kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,043 s	0,176 s	0,005 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	99647	651969	1979
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	99588	651911	1922
Całkowity czas działania metody	0,1616 s	0,6233 s	0,151 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	653549	3092801	477962
Całkowita liczba nawrotów	653549	3092801	477962
Liczba rozwiązań	1	1	87

Backtracking

Zmienna: pierwsza z najbardziej wypełnionego kwadratu

Wartość: przeciwna do kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,048 s	0,215 s	0,004 s
Liczba odwiedzonych	99647	651969	1979

węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania			
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	99588	651911	1922
Całkowity czas działania metody	0,189 s	0,811 s	0,1641 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	653549	3092801	477962
Całkowita liczba nawrotów	653549	3092801	477962
Liczba rozwiązań	1	1	87

Backtracking

Zmienna: pierwsza z najbardziej wypełnionego kwadratu

Wartość: najmniej ograniczająca

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,1 s	0,531 s	0,013 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	99647	651969	1979
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	99588	651911	1922
Całkowity czas działania metody	0,470 s	2,194 s	0,370 s

Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	653549	3092801	477962
Całkowita liczba nawrotów	653549	3092801	477962
Liczba rozwiązań	1	1	87

Forward checking

Zmienna: Pierwsza w kolejności definicji

Wartość: w kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,129 s	1,266 s	0,182 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	14972	219117	24339
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	14972	219059	24282
Całkowity czas działania metody	1,0585 s	4,8514 s	1,430 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	149408	804738	214055
Całkowita liczba nawrotów	149408	804738	214055
Liczba rozwiązań	1	1	87

Forward checking

Zmienna: Pierwsza w kolejności definicji

Wartość: najmniej ograniczająca

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,162 s	1,390 s	0,209 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	14972	219117	24339
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	14913	219059	24282
Całkowity czas działania metody	1,181 s	5,227 s	1,614 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	149408	804738	214055
Całkowita liczba nawrotów	149408	804738	214055
Liczba rozwiązań	1	1	87

Forward checking

Zmienna: Pierwsza w kolejności definicji

Wartość: odwrotnie do kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,128 s	1,428 s	0,199 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	14972	219117	24339
Liczbę nawrotów	14913	219059	24282

wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania			
Całkowity czas działania metody	1,074 s	4,9 s	1,374 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	149408	804738	214055
Całkowita liczba nawrotów	149408	804738	214055
Liczba rozwiązań	1	1	87

Forward checking

Zmienna: Najbardziej ograniczona dziedzina

Wartość: W kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,03 s	0,117 s	0,036 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	4876	20034	5303
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	4817	19976	5246
Całkowity czas działania metody	0,1389 s	0,152 s	0,1581 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	26763	27461	27052
Całkowita liczba nawrotów	26763	27461	27052

Liczba rozwiązań	1	1	87
------------------	---	---	----

Forward checking

Zmienna: Najbardziej ograniczona dziedzina

Wartość: najmniej ograniczająca

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,038 s	0,13 s	0,043 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	4876	20034	5303
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	4876	19976	5246
Całkowity czas działania metody	0,1544 s	0,1868 s	0,1723 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	26763	27461	27052
Całkowita liczba nawrotów	26763	27461	27052
Liczba rozwiązań	1	1	87

Forward checking

Zmienna: Najbardziej ograniczona dziedzina

Wartość: Odwrotna do kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,035 s	0,143 s	0,034 s
Liczba odwiedzonych	4876	20034	5303

węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania			
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	4817	19976	5246
Całkowity czas działania metody	0,1409 s	0,1535 s	0,1656 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	26763	27461	27052
Całkowita liczba nawrotów	26763	27461	27052
Liczba rozwiązań	1	1	87

Forward checking

Zmienna: Pierwsza z najbardziej wypełnionego kwadratu

Wartość: W kolejności odwrotnej do definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,654 s	4,010 s	0,029 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	99647	651969	1979
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	99588	651911	1922
Całkowity czas działania metody	3,748 s	17,093 s	2,907 s

Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	653549	3092801	477962
Całkowita liczba nawrotów	653549	3092801	477962
Liczba rozwiązań	1	1	87

Forward checking

Zmienna: Pierwsza z najbardziej wypełnionego kwadratu

Wartość: Najmniej ograniczająca

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,688 s	4,196 s	0,034s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	99647	651969	1979
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	99588	651911	1922
Całkowity czas działania metody	4,071 s	18,246 s	3,347 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	653549	3092801	477962
Całkowita liczba nawrotów	653549	3092801	477962
Liczba rozwiązań	1	1	87

Forward checking

Zmienna: Pierwsza z najbardziej wypełnionego kwadratu

Wartość: W kolejności definicji

Nr sudoku	7	33	43
Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania	0,642 s	3,714 s	0,026 s
Liczba odwiedzonych węzłów drzewa do znalezienia pierwszego rozwiązania	99647	651969	1979
Liczbę nawrotów wykonanych do znalezienia pierwszego rozwiązania	99588	651911	1922
Całkowity czas działania metody	3,736 s	16,284 s	2,894 s
Całkowita liczba odwiedzonych węzłów drzewa	653549	3092801	477962
Całkowita liczba nawrotów	653549	3092801	477962
Liczba rozwiązań	1	1	87

Wnioski:

W większości przykładów nie zmieniała się ilość węzłów i nawrotów. Ilość nawrotów i odwiedzonych węzłów zależała tylko od heurystyk wyboru zmiennej. Zmieniał się natomiast czas. Dla forward checkingu- można powiedzieć, że najszybszą heurystyką wyboru zmiennej okazała się heurystyka polegająca na wyborze najbardziej ograniczonej zmiennej. Najgorsza okazała się moja heurystyka, polegająca na wyborze najbardziej wypełnionego kwadratu. W przypadku backtracking algorithm najgorsza okazała się metoda wyboru zmiennej z najbardziej ograniczoną dziedziną i najmniej ograniczoną wartością. Dla reszty przypadków czas wychodzi o wiele lepszy.

Jeśli spojrzymy na ilości węzłów i nawrotów, wówczas lepszy jest algorytm forward checking. Aczkolwiek ilość odwiedzonych węzłów do czasu znalezienia poprawnego rozwiązania zależy też od tego ile dane sudoku ma rozwiązań.

Więc podsumowując:

- Backtracking- najlepszy wybór zmiennej zgodnie z kolejnością definiowania
- Forward- najlepszy wybór zmiennej z najbardziej ograniczoną dziedziną

