

Sztuczna Inteligencja i Inżynieria Wiedzy

CSP

Sprawozdanie

Jakub Gładysz

242341

Wrocław, 14.04.2020

Plan badań

1. Badanie porównawcze algorytmu przeszukiwania z nawrotami i algorytmu przeszukiwania z nawrotami ze sprawdzaniem wprzód.
2. Badanie wpływu doboru heurystyk wyboru zmiennej oraz wartości na działanie metod.

1. Badanie porównawcze algorytmu przeszukiwania z nawrotami i algorytmu przeszukiwania z nawrotami ze sprawdzaniem wprzód.

W ramach tego badania przeprowadzono szereg testów działania obu wymienionych metod przeszukiwania dla pięciu wybranych instancji łamigłówki Sudoku. W celu zredukowania wpływu nierozpatrywanych w tym badaniu parametrów na efekty działania metod stosowano jedynie po jednej heurystyce wyboru zmiennej oraz wartości – w obu przypadkach zgodnie z kolejnością definicji. W poniższej tabeli przedstawiono identyfikatory instancji oraz liczbę powtórzeń uruchomienia każdej metody dla danego problemu.

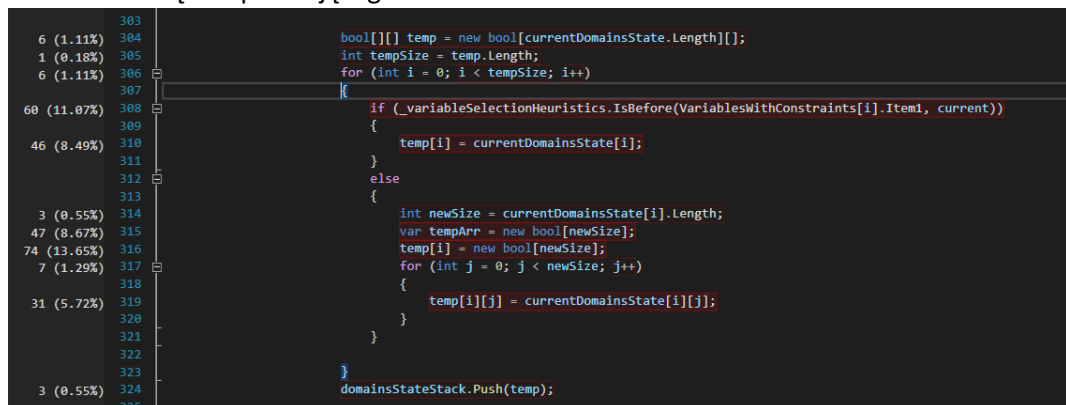
Identyfikator łamigłówki	Liczba uruchomień
9	10
22	10
36	10
43	10
45	10

Przeprowadzone testy pozwoliły na zebranie danych umieszczonych w poniższej tabeli. Tam gdzie pojawiają się wartości liczbowe podano wartości średnie z uruchomień. Dla podstawowej metody Backtracking przyjęto skrót BT, natomiast dla metody z przeszukiwaniem wprzód Forward Checking – FC. Jeśli dany parametr wykonania nie dotyczy danego testu w tabeli umieszczono znak myślnika „-”.

Id. instancji	Metoda	Liczba węzłów do pierwszego rozwiązania	Liczba nawrotów do pierwszego rozwiązania	Liczba węzłów	Liczba nawrotów	Czy znaleziono rozwiązanie	Liczba rozwiązań	Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania [ms]	Całkowity czas działania metody [ms]
9	BT	425691	425610	1572319	1572319	TAK	1	102.7	359.8
9	FC	94474	79668	353668	296229	TAK	1	347	1272.6
22	BT	43251	43170	386548	386548	TAK	1	10.1	89.5
22	FC	8939	7852	82197	72428	TAK	1	32.7	285.7
36	BT	137752	137671	166190	166190	TAK	1	41.6	49.9
36	FC	28736	25476	34681	30923	TAK	1	111	134.3
43	BT	226693	226612	2000549	2000463	TAK	87	53.9	462.9
43	FC	57752	49773	512567	447504	TAK	87	203	1779.7
45	BT	-	-	2	2	NIE	0	-	<1
45	FC	-	-	2	3	NIE	0	-	<1

Zgromadzone dane wskazują na poprawne działanie testowanych metod. Po ich analizie można wyciągnąć kilka interesujących wniosków.

- Metoda sprawdzania wprzód pozwala znacznie zredukować liczbę odwiedzonych węzłów drzewa możliwych wartościowań.
Jest to pożądane działanie tej metody, które występuje ponieważ sprawdzanie wprzód pozwala algorytmowi na wcześniejsze wykrycie poddrzew, w których nie ma rozwiązań spełniających ograniczenia. Ta cecha sprawdzania wprzód może znacznie skrócić czas poszukiwania rozwiązania dla problemów CSP. Kluczowa jest jednak implementacja algorytmu sprawdzania wprzód. W przypadku, gdy problemy są dość małe, a implementacja nie działa wystarczająco wydajnie, pomimo mniejszej liczby odwiedzonych węzłów czas wykonania może być dłuższy niż dla podstawowego przeszukiwania z nawrotami. W badanym przypadku wystąpił taki problem.
- Metoda sprawdzania wprzód pozwala zredukować stosunek nawrotów do wszystkich odwiedzonych węzłów.
Jest to kolejna cecha związana z informacjami jakie posiada algorytm podczas wykonania. Dzięki globalnemu wykorzystaniu ograniczeń metoda może wcześniej pominąć poddrzewa niezawierające poprawnych rozwiązań, a co za tym idzie uniknąć również części nawrotów.
- Zbyt mała wydajność sprawdzania wprzód może sprawić, że korzyść uzyskana redukcją liczby odwiedzonych węzłów oraz nawrotów zostanie przysłonięta narzutem związanym z implementacją metody. W badanym przypadku wystąpiła właśnie taka sytuacja. Testy przeprowadzone z pomocą narzędzi profilujących wykazały, że kopiowanie informacji o stanie dziedzin przed filtrowaniem zajmowało bardzo dużą część czasu jakiego metoda potrzebowała do zakończenia działania. Poniżej zamieszczono fragmenty wyników działania narzędzia profilującego.



```
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325

bool[][] temp = new bool[currentDomainsState.Length][];
int tempSize = temp.Length;
for (int i = 0; i < tempSize; i++)
{
    if (_variableSelectionHeuristics.IsBefore(VariablesWithConstraints[i].Item1, current))
    {
        temp[i] = currentDomainsState[i];
    }
    else
    {
        int newSize = currentDomainsState[i].Length;
        var tempArr = new bool[newSize];
        temp[i] = new bool[newSize];
        for (int j = 0; j < newSize; j++)
        {
            temp[i][j] = currentDomainsState[i][j];
        }
    }
}
domainsStateStack.Push(temp);
```

Można tutaj zaobserwować, że bardzo dużo czasu z całkowitego czasu działania programu zajmuje utrwalanie stanu dziedzin przed każdą próbą odfiltrowania. Niestety w przygotowanej implementacji nie udało się wyeliminować tego problemu.

2. Badanie wpływu doboru heurystyk wyboru zmiennej oraz wartości na działanie metod.

W ramach tego porównania wykonano szereg testów z różnym doбором heurystyk wyboru zmiennej oraz wartości. Poniżej podano heurystyki poddane badaniom:

Heurystyki wyboru zmiennej:

- a. Zgodnie z kolejnością definicji
Za kolejną zmienną uważa się tę, która została utworzona jako następna w kolejności przez program podczas wczytywania instancji problemu Sudoku.
- b. W kolejności losowej – statycznie.
Kolejność zmiennych jest mieszana jednokrotnie przed zasadniczym działaniem metod przeszukiwania.
- c. Zmienna najbardziej ograniczona.
Kolejność zmiennych jest determinowana przez wielkość ich dziedzin. Pierwsze w kolejności są zmienne o mniejszych dziedzinach.

Heurystyki wyboru wartości:

- a. Zgodnie z kolejnością definicji.
- b. W kolejności losowej – statycznie.
Kolejność wartości z dziedziny jest mieszana kiedy po raz pierwszy dana dziedzina jest przekazywana do heurystyki. Przy kolejnych przekazaniu używane jest ta sama kolejność wartości.

W tabeli poniżej przedstawiono instancje problemów dla jakich przeprowadzono testy oraz liczbę powtórzeń uruchomienia metod.

Identyfikator instancji	Liczba powtórzeń
22	10*
36	10*
43	10*

** W przypadku losowej kolejności wyboru zmiennej czas działania był całkowicie nieprzewidywalny, ale zwykle bardzo długi więc wystąpiły następstwa od tej liczby oznaczone w tabeli wyników*

W tabeli wyników zastosowano następujące skróty do opisu testowanych heurystyk

Heurystyki wyboru zmiennej:

- Zgodnie z kolejnością definicji – DO
- W kolejności losowej – RO
- Zmienna najbardziej ograniczona – MCV

Heurystyki wyboru wartości:

- Zgodnie z kolejnością definicji – DO
- W kolejności losowej - RO

Id. instancji	Metoda	Heurystyka wyboru zmiennej	Heurystyka wyboru wartości	Liczba węzłów do pierwszego rozwiązania	Liczba nawrotów do pierwszego rozwiązania	Liczba węzłów	Liczba nawrotów	Czy znaleziono rozwiązanie	Liczba rozwiązań	Czas do znalezienia pierwszego rozwiązania [ms]	Całkowity czas działania metody [ms]
22	BT	DO	DO	43251	43170	386548	386548	TAK	1	10.1	89.5
22	BT	DO	RO	202007.9	201926.9	386548	386548	TAK	1	58.2	98.3
22	BT	MCV	DO	41530	41449	370813	370813	TAK	1	11	96.9
22	BT	MCV	RO	168438.7	168357.7	370813	370813	TAK	1	47.1	94.9
22	BT	RO	DO	-	-	-	-	-	-	-	-
22	BT	RO	RO	-	-	-	-	-	-	-	-
22	FC	DO	DO	8939	7852	82197	72428	TAK	1	32.7	285.7
22	FC	DO	RO	36374.7	30745.2	82197	70780.2	TAK	1	126.7	280.9
22	FC	MCV	DO	4661	4580	41221	41221	TAK	1	40.8	345.7
22	FC	MCV	RO	27716.3	27635.3	41221	41221	TAK	1	233	345.3
22	FC	RO	DO	-	-	-	-	-	-	-	-
22	FC	RO	RO	-	-	-	-	-	-	-	-
36	BT	DO	DO	137752	137671	166190	166190	TAK	1	41.6	49.9
36	BT	DO	RO	79342.7	79261.7	166190	166190	TAK	1	25.5	49.4
36	BT	MCV	DO	131405	131324	158497	158497	TAK	1	41.9	51.3
36	BT	MCV	RO	64387.4	64306.4	158497	158497	TAK	1	20.6	50.4
36	BT	RO	DO	-	-	-	-	-	-	-	-
36	BT	RO	RO	-	-	-	-	-	-	-	-
36	FC	DO	DO	28736	25476	34681	30923	TAK	1	111	134.3
36	FC	DO	RO	16954.8	14793.8	34681	30323.2	TAK	1	66.8	132.6
36	FC	MCV	DO	14647	14566	17633	17633	TAK	1	123.8	149.1
36	FC	MCV	RO	9976.4	9895.4	17633	17633	TAK	1	85.6	152.6

36*	FC	RO	DO	4173948	3551186	8716613	7413710	TAK	1	28830	60731
36	FC	RO	RO	-	-	-	-	-	-	-	-
43	BT	DO	DO	226693	226612	2000549	2000463	TAK	87	53.9	462.9
43	BT	DO	RO	114994.1	114913.1	2000549	2000463	TAK	87	29.5	438.8
43	BT	MCV	DO	218851	218770	1925745	1925659	TAK	87	51	437.3
43	BT	MCV	RO	72648.6	72567.6	1925745	1925659	TAK	87	19.3	403.6
43	BT	RO	DO	-	-	-	-	-	-	-	-
43	BT	RO	RO	-	-	-	-	-	-	-	-
43	FC	DO	DO	57752	49773	512567	447504	TAK	87	203	1779.7
43	FC	DO	RO	37978.7	30393.2	512567	419655.7	TAK	87	142.7	1873.7
43	FC	MCV	DO	24363	24282	214079	213993	TAK	87	196.6	1729.9
43	FC	MCV	RO	21831.8	21750.8	214079	213993	TAK	87	181.4	1760.9
43	FC	RO	DO	-	-	-	-	-	-	-	-
43	FC	RO	RO	-	-	-	-	-	-	-	-

** Heurystyka losowego wyboru zmiennej okazała się zupełnie nieskuteczna. Wpisy oznaczone znakiem (*) reprezentują próby przeprowadzenia testów wykonania z tą heurystyką. W większości przypadków są to pojedyncze wykonania i nie ma sensu porównywanie ich z pozostałymi testami.*

Zgromadzone dane pozwoliły na wyciągnięcie pewnych wniosków na temat działania heurystyk. Zostały one przedstawione poniżej:

- Heurystyka losowego wyboru zmiennej okazała się całkowicie nieskuteczna w badanych problemach. Jedynie nieliczne uruchomienia metod zakończyły działanie w rozsądnym czasie. Większość uruchomień była przerywana ze względu na ograniczony czas badań oraz niewielką wartość tak powolnej metody. W kolejnych wnioskach losowy wybór zmiennej zostanie całkowicie pominięty.
- W przeprowadzonych testach żadna z kombinacji heurystyk nie okazała się najlepsza dla wszystkich badanych instancji łamigłówek
- W przypadku podstawowego przeszukiwania z nawrotami w dwóch z trzech badanych instancji (36, 43) dobre rezultaty dało zastosowanie wyboru zmiennej najbardziej ograniczonej oraz losowego wyboru wartości. W tych przypadkach następowała kilkukrotna redukcja liczby odwiedzonych węzłów, nawrotów oraz czasu wykonania do znalezienia pierwszego rozwiązania.
 - W przypadku instancji 22 obie rozważane heurystyki wyboru kolejnej zmiennej przynosiły zbliżone rezultaty. Duży wpływ miał natomiast wybór kolejnej wartości. W przypadku zastosowania wyboru losowego zarówno liczba odwiedzonych węzłów, nawrotów jak i czas wykonania do znalezienia pierwszego rozwiązania rosły kilkukrotnie.
- W przypadku przeszukiwania ze sprawdzaniem wprzód najkrótszy czas do znalezienia pierwszego rozwiązania dawał wybór zmiennej w kolejności definicji. Podobnie jak przy standardowym przeszukiwaniu w dwóch badanych instancjach (36, 43) losowy wybór wartości dawał dobre wyniki.
- Przy użyciu tej metody mniejsza liczba odwiedzonych węzłów nie zawsze wiązała się z krótszym czasem wykonania

Podsumowanie

Rozważane w tych badaniach metody pozwalają w relatywnie prosty sposób rozwiązywać problemy z ograniczeniami. Zarówno podstawowe przeszukiwanie z nawrotami jak i przeszukiwanie ze sprawdzaniem wprzód mają swoje wady oraz zalety. W badanych przypadkach podstawowe przeszukiwanie z nawrotami okazało się skuteczniejsze jeśli brać pod uwagę czas wykonania. Fakt ten wynikać może z niewielkiej złożoności problemu w związku z czym narzut bardziej złożonej metody sprawdzania wprzód jest zbyt duży. Nie ulega też możliwości, że bardziej wydajna implementacja sprawdzania wprzód mogłaby poprawić czasy wykonania.

Ponieważ same metody przeszukiwania nie narzucają sposobu wyboru kolejnych rozpatrywanych zmiennych oraz wartości istotnym elementem ich użycia jest dobór heurystyk, które to zdefiniują. Skuteczną heurystyką doboru kolejnej zmiennej okazał się wybór zmiennej najbardziej ograniczonej. Można podejrzewać że taka heurystyka jest jeszcze skuteczniejsza kiedy występuje większe zróżnicowanie licznosci dziedzin. W przypadku doboru wartości okazało się że zastosowanie losowej kolejności może w niektórych przypadkach skrócić czas działania, ale w innych go wydłużyć.

Podsumowując można stwierdzić, że rozważane metody są dobrym wyborem jeśli chodzi o rozwiązywanie problemów z ograniczeniami. Można je zaimplementować w dość uniwersalny sposób w krótkim czasie i jeżeli rezultaty działania nie są zadowalające to wprowadzać kolejne usprawnienie takie jak nowe heurystyki czy poprawę wydajności samego kodu.