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

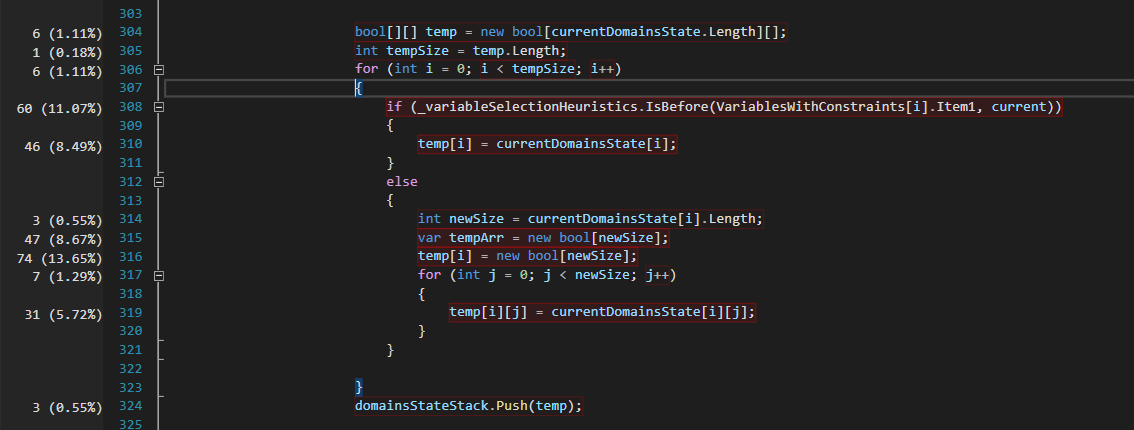
W ramach tego badania przeprowadzono szereg testów działania obu wymienionych metod przeszukiwania dla pięciu wybranych instancji łamigłówki Sudoku. W celu zredukowania wpływu nierozpatrywanych w tym badaniu parametrów na efekty działania metod stosowano jedynie po jednej heurystyce wyboru zmiennej oraz 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 w przód może znacznie skrócić czas poszukiwania rozwiązania dla problemów CSP. Kluczowa jest jednak implementacja algorytmu sprawdzania w przód. 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.  
    
  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.

1. Badanie wpływu doboru heurystyk wyboru zmiennej oraz wartości na działanie metod.  
   W ramach tego porównania wykonano szereg testów z różnym doborem heurystyk wyboru zmiennej oraz wartości. Poniżej podano heurystyki poddane badaniom:  
   Heurystyki wyboru zmiennej:
   1. Zgodnie z kolejnością definicji  
      Za kolejną zmienną uważa się tę, która została utworzona jako następna w kolejności przez program podczas wczytywania instancji problemu Sudoku.
   2. W kolejności losowej – statycznie.  
      Kolejność zmiennych jest mieszana jednokrotnie przed zasadniczym działaniem metod przeszukiwania.
   3. Zmienna najbardziej ograniczona.  
      Kolejność zmiennych jest determinowana przez wielkość ich dziedzin. Pierwsze w kolejności są zmienne o mniejszych dziedzinach.

Heurystyki wyboru wartości:

1. Zgodnie z kolejnością definicji.
2. 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 sprawdzanie 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 jaki i przeszukiwanie ze sprawdzanie 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 liczności 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.