AGH University of Science and Technology
Faculty of Electrical Engineering, Automatics,
Computer Science and Electronics
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, POLAND; tel. (+4812)6174742, fax (+4812)6339406

Robert Schaefer, Professor, PhD, DSc

Kraków 2007-06-01

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Anny Paszyńskiej pt. „Projektowanie wspomagane komputerowo a problemy zbieżności algorytmów genetycznych"

1. Ogólna charakterystyka pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr Anny Paszyńskiej pt. *„Projektowanie wspomagane komputerowo a problemy zbieżności algorytmów genetycznych"* została zrealizowana pod kierunkiem dr hab. Ewy Grabskiej w Zakładzie Projektowania i Grafiki Komputerowej na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej. Praca stanowi obszerny manuskrypt o objętości 124 strony zawierający 54 rysunki i 8 tablic. Tekst pracy podzielono na 9 rozdziałów. Praca zawiera ponadto złożony ze 113 pozycji spis literatury.

Dysertacja dostarcza definicji dwóch nowych, genetycznych algorytmów optymalnego projektowania opartych na grafowym kodowaniu projektów. Autorka przeprowadziła również wnikliwą analizę formalną oraz testową swoich propozycji algorytmicznych.

Zadania naukowe, jakie zrealizowała Autorka w rozprawie scharakteryzować można następująco:

1. Opracowała część monograficzną zawierającą: charakterystyki reprezentacji obiektów trójwymiarowych ze szczególnym uwzględnieniem reprezentacji za pomocą prostopadłościanów z płaszczyzną tnącą oraz grafów hierarchicznych (rozdział 2); przegląd podstawowych technik optymalizacji genetycznej skupiony na algorytmach bazujących na kodach binarnych oraz programowaniu ewolucyjnym operującym na genotypch będących drzewami (rozdziały 3.1 – 3.5); przegląd wyników teoretycznych związanych z analizą algorytmów ewolucyjnych, eksponujący wyniki asymptotyczne dotyczące algorytmów z kodowaniem binarnym uzyskanych przy użyciu modelu Markowa oraz twierdzenia o schematach dla specjalnych przypadków programowania ewolucyjnego (rozdział 4).

2. Zdefiniowała dwa nowe genetyczne algorytmy optymalnego projektowania topologicznego, to znaczy takie, w których nie tylko kształty, ale również topologia projektu może ulegać zmianie w trakcie procesu optymalizacji (rozdziały 3.6.1, 3.6.2). W algorytmach tych projekt jest reprezentowany w postaci odpowiednio zdefiniowanego grafu reprezentacji. Populacje grafów ewoluują z wykorzystaniem specjalnie zdefiniowanych operatorów mutacji i krzyżowania, zachowujących przyjęte założenia strukturalne, co pozwala traktować rozwiązywany problem jako problem optymalizacji bez ograniczeń.
3. Skonstruowała markowowski model dynamiki zdefiniowanych algorytmów genetycznych oraz bazując na jego własnościach ergodycznych wykazała własność asymptotycznej gwarancji sukcesu tych algorytmów. Jednym z elementów niezbędnych dla wykazania dyskutowanej własności była konstrukcja i weryfikacja ergodyczności łańcuchów Markowa będących modelami dynamiki algorytmów genetycznych z kodowaniem binarnym i operatorami przesunięcia i permutacji. Całość wymienionych rozważań zawarto w rozdziałach 5 i 6 dysertacji. Drugim ważnym rezultatem teoretycznym dopełniającym analizy formalnej ,tych algorytmów jest twierdzenie charakteryzujące wydajność eksploatacji algorytmów optymalnego projektowania osiąganą w pojedynczym kroku ewolucji. Wynik ten bazuje na teorii schematów Poliego (rozdział 7).
4. Przy pomocy zdefiniowanych algorytmów i opracowanej komputerowej aplikacji przeprowadziła obliczenia testowe polegające na optymalizacji kształtu platformy polegający na minimalizacji masy (objętości) tej konstrukcji przy zachowaniu górnych ograniczeń na naprężenia, przy zadanym obciążeniu. Rozkład grubości oraz ilość składowych platformy oraz jej podpór mogła ulegać zmianie.

2. Ocena wyników naukowych pracy

Wyniki naukowe ocenianej dysertacji ulokowane są w dziedzinie algorytmiki rozwiązywania problemów globalnej optymalizacji topologicznej. Problemy rozwiązywane w tej dziedzinie należą do najtrudniejszych w optymalizacji globalnej. Trudności tutaj występujące polegają nie tylko na typowej dla problemów globalnych wielomodalności i niskiej regularności funkcji celu, ale również na wielkiej wymiarowości, lub/i dużej komplikacji i braku silnych właściwości (topologicznych, wektorowych) przestrzeni, w której zanurzony jest zbiór rozwiązań dopuszczalnych.

Proponowane przez Autorkę algorytmy stanowią udany kompromis pomiędzy złożonością obliczeniową i pamięciową a stopniem komplikacji formalnej. Zaproponowana przez autorkę grafowa reprezentacja rozwiązania nie pozwala wprawdzie stworzyć przestrzeni rozwiązań o silnych własnościach liniowych i topologicznych (przestrzeni wektorowo-topologicznej), jednak skutkiem dobrze przemyślanej konstrukcji grafów topologii projektów uzyskano znaczne (jak się wydaje o kilka rzędów) zmniejszenie złożoności pamięciowej i w konsekwencji obliczeniowej w stosunku do standartowych reprezentacji parametrycznych odwzorowujących projekt na w przestrzeni wektorów o współrzędnych rzeczywistych. Jednocześnie przyjęte reprezentacje tworzą przestrzeń zamkniętą ze względu na stosowane operatory genetyczne mutacji i krzyżowania przy mało restryktywnych założeniach nieograniczających praktycznych zastosowań. Druga z opisanych własności przestrzeni rozwiązań pozwala traktować rozwiązywane problemy optymalizacji globalnej jako problemy bez ograniczeń, co znakomicie ułatwia całość strategii obliczeniowej.

Przyjęta reprezentacja rozwiązania daje kolejną, wykorzystaną przez Autorkę korzyść polegającą na możliwości bijektywnego odwzorowania przestrzeni rozwiązań w przestrzeń stringów binarnych ustalonej długości oraz przedstawienia działania garfowych operatorów genetycznych jako kompozycji binarnych operatorów mutacji, krzyżowania, permutacji oraz przesunięcia. Skonstruowany został zatem izomorfizm utożsamiający pewną klasę grafowych algorytmów genetycznych optymalnego projektowania w klasę binarnych algorytmów genetycznych z operatorami mutacji, krzyżowania, permutacji oraz przesunięcia. Dla tej klasy algorytmów binarnych Autorka buduje model dynamiki w postaci łańcucha Markowa, bazujący na wynikach grupy Vose'a. Istotnym wkładem Autorki w tej części jest rozszerzenie modelu Vose'a na przypadek operatorów genetycznych przesunięcia i permutacji. Najważniejszym wynikiem tej części pracy jest twierdzenie o ergodyczności skonstruowanego łańcucha, co w konsekwencji oznacza zdolność osiągnięcia dowolnego stanu (populacji). Wynik ten przeniesiony na algorytm grafowy daje dla niego asymptotyczną, probabilistyczną gwarancję sukcesu, czyli potencjalną możliwość odnalezienia rozwiązania w skończonej ilości epok genetycznych.

Druga grupa wyników teoretycznych dotyczy oceny wydajności eksploatacyjnej, poprzez ocenę ilości osobników należących do dowolnie zdefiniowanego schematu w kolejnej epoce w stosunku do liczności schematu w epoce bieżącej. Stosowne oszacowanie otrzymano w oparciu o teorię schematów Poli'ego dla programowania ewolucyjnego po odpowiedniej standaryzacji reprezentacji grafowej projektu (tzw. drzewa uniwersalne).

Prezentowany w końcowej części pracy przykład obliczeniowy ukazuje możliwości zastosowania zdefiniowanych w pracy algorytmów w praktyce projektowej. Rozwiązano problem optymalizacji kształtu obciążonej konstrukcji ze względu na minimum wagi. Istotną trudnością była konieczność spełniania ograniczeń na maksymalne naprężenia występujące w konstrukcji. Ograniczenie to zrealizowano przy pomocy funkcji kary. Zadanie proste wyznaczania naprężeń w konstrukcji o zadanym kształcie rozwiązywano adaptacyjną metodą elementów skończonych.

Podsumowując, wyniki naukowe zawarte w dysertacji oceniam bardzo wysoko. Opracowane algorytmy pozwalają na wydajne rozwiązywanie trudnych zadań optymalizacji topologicznej. Dysertacja należy do nielicznych, w której podjęto skuteczną próbę analizy formalnej nowych instancji algorytmów genetycznych. Jej wyniki gwarantują możliwość odnalezienia wszystkich rozwiązań, oraz możliwość oceny chwilowej wydajności poszukiwania.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Dysertacja nie zawiera błędów merytorycznych, które podważałyby jej zasadnicze rezultaty. Niektóre elementy i sformułowania zawarte w pracy wymagają dodatkowego uzasadnienia lub komentarza.

Definicje 5.4, 5.7, 5.10, 5.13, 5.15 i 6.11 określają procesy stochastyczne modelujące pewne algorytmy przeszukiwania prowadzone przy pomocy operacji genetycznych opisanych bezpośrednio przed każdą z nich. Należy wykazać, że w każdym przypadku definiowany model stochastyczny jest poprawny, tj. prawdopodobieństwo warunkowe uzyskania dowolnej populacji w następnej epoce może być obliczone jako iloczyn macierzy przejścia i wektora rozkładu prawdopodobieństwa stanów reprezentujących wystąpienie dowolnej, ustalonej populacji w epoce bieżącej. Dowód tego faktu jest zapewne analogiczny do prezentowanego przez Vose'a i Nixa dla SGA, opartego o formalizm wielowartościowych prób Bernouliego.

Definicja 7.5 określa rozkład prawdopodobieństwa losowania rodziców do krzyżowania przy pomocy wzoru 7.3. Należy wyjaśnić, w jaki sposób będzie implementowane losowanie zgodne z tym rozkładem. Jeżeli natomiast rozkład 7.3 wynika z pewnego schematu losowania, to powinien być on wcześniej zdefiniowany, a zgodność z rozkładem 7.3 uzasadniona.

Wzory 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 i 4.12 będące wynikiem teorii schematów dla różnych klas algorytmów nie posiadają dostatecznego opisu występujących w nich wielkości. Brak również podania dokładnych założeń, przy jakich są prawdziwe.

Twierdzenie 7.2. zawierające rezultaty teorii schematów dla grafowych algorytmów optymalnego projektowania skonstruowanych przez Autorkę wymaga komentarza określającego praktyczne korzyści płynące z jego tezy.

Niektóre konstrukcje formalne wprowadzone przez Autorkę wydają się niezręczne. Na przykład operacje przesunięcia w lewo i prawo opisane na stronie 59 wydają się zwykłymi operacjami przesunięcia na binarnych stringach skończonych, w których bity skrajne są tracone lub uzupełniane zerami. Zastosowany formalizm nieskończonych stringów wydaje się nadmiarowy. Podobnie niezręcznym wydaje się nazwanie operatora heurystyki selekcyjnej - selekcją. W jaki sposób nazwiemy wtedy operację genetyczną selekcji polegającą na wyborze pewnego osobnika z populacji?

Dysertacja zawiera również niedoskonałości redakcyjne. Autorka nie zamieszcza szczegółowych referencji do cytowanych wyników innych autorów. Dotyczy to zarówno wyników podawanych otwartym tekstem (np. str. 8, linia 1 od góry „Istnieje twierdzenie ...") jak i w postaci wydzielonych fragmentów tekstu, definicji, twierdzeń, uwag itp. (np. definicje 5.4 i 5.6, twierdzenie 4.2).

Skład wzorów matematycznych nie jest konsekwentny. Stosuje się zarówno font matematyczny jak i tekstowy, zwykły i pogrubiony dla oznaczania tej samej wielkości w różnych wzorach (np. E i F na stronie 6, linie 2 i 3 od dołu, symbole CM i $\boldsymbol{CM}$ w definicji 7.4). Prowadzić to może do niewłaściwej ich interpretacji. Napotkać można również kolizje oznaczeń, np. na str. 59 $\boldsymbol{m}$ koliduje z indeksem zbioru U_m, na str. 66 przy pomocy litery R oznacza się zarówno zbiór liczb rzeczywistych jak i przestrzeń artefaktów.

Dodatkowo, spis usterek zauważonych w pracy umieszczono w załączniku do niniejszej recenzji.

4. Wnioski

Podsumowując stwierdzam, że zamierzone cele rozprawy zostały zrealizowane. Zawiera ona nowe pomysły algorytmiczne, ich obszerną analizę formalną i symulacyjną. Autorka wykazała się tak inwencją w dziedzinie ewolucyjnej algorytmiki, jak i głęboką wiedzą dającą możliwość budowy modeli matematycznych służących wykazaniu ich kluczowych własności (asymptotycznej poprawności w sensie probabilistycznym i wydajności).

Praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w zakresie nauk technicznych w dyscyplinie informatyka i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Załącznik – spis usterek zauważonych w pracy:

1. Str. 3, linia 14 od dołu. Co oznacza termin „struktury nieliniowe”?
2. Str. 27, linia 8 od dołu. Strategia HGS została wprowadzona przez Kołodziej i Schaefera.
3. Str. 41, linie 5 i 6 od dołu. Powinno być chyba $X(\cdot,s)$ zamiast $X(\omega,s)$ oraz $X_t \equiv X(\cdot,t)$ zamiast X_t.
4. Str. 52, linia 10 od góry. Co Autorka rozumie przez „liniowe algorytmy genetyczne”?
5. Str. 55, linia 8 od góry. Co oznacza indeks m w symbolu U_m?
6. Str. 55, wzór 5.5. W jaki sposób przypisywane są indeksy j populacjom z Ω_r? Bez tej informacji definicja odwzorowania φ nie jest jednoznaczna.
7. Str. 57, wzory 5.13 i 5.14. Operatory $\oplus$ i $\otimes$ nie są zdefiniowane.
8. Str. 60, linia 8 od góry. Powinno być $\mathbf{0} = \underbrace{(0,...,0)}_{l \text{ razy}}$.
9. Str. 60, linia 4 od dołu. Co oznacza operator $\circ$?
10. Str. 62, linia 5 od góry. Co oznacza operator $\bullet$?
11. Str. 63, lemat 1. Powinno być chyba $j \in \Omega_r$.
12. Str. 77, linia 7 od góry. We wzorze 6.6 brakuje znaku równości przed lewym nawiasem otwierającym wyliczenie.
13. Str. 78, lemat 1. Na stronie 63 był już lemat 1. Wzór 6.12 jest niekompletny.
14. Str. 85, linia 3 od dołu. Powinno być „że” zamiast „ze”.
15. Str. 86, linia 8 od góry. W jaki sposób można uzasadnić tę równość?