

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Grzegorza Tadeusza Machnika nt.  
**„Algorytmy ewolucyjne w projektowaniu fraktalnych wzorów użytkowych”**

### 1. Problematyka naukowa oraz przedmiot rozprawy

Przedmiot rozprawy jest nietypowy dla informatyki, gdyż dotyczy zagadnień estetyki – pojęcia związanego z innymi pojęciami, takimi jak piękno, harmonia, itp., pojęciami mającymi, jak się dzisiaj ciągle wydaje, w dużym stopniu charakter subiektywny, pojęciami których formalizacja jest problemem otwartym. Ważność zagadnień estetyki i piękna zostały zauważone już w starożytności. W szczególności ponad dwa tysiące lat temu rzymski architekt Vitruwius sformułował w stosunku do konstrukcji architektonicznych trzy podstawowe wymagania: a) odporność na wpływ otaczających je warunków i trwałość w długim okresie czasu, b) użyteczność i funkcjonalność dla ludzi korzystających z nich oraz c) posiadanie cech piękna i sprawianie przyjemności ludziom gdy te konstrukcje oglądają. Zagadnienia estetyki, harmonii i piękna są ważne, podobnie jak to było dwa tysiące lat temu, również współcześnie. Ludzie chcą się ładnie ubierać, otaczać estetycznymi przedmiotami, żyć w funkcjonalnym i ładnym środowisku architektonicznym.

O ile jeszcze do niedawna tworzenie estetycznych, harmonijnych i pięknych przedmiotów było kwestią talentu i sztuki, dzisiaj, dzięki osiągnięciom matematyki i informatyki ten proces można automatyzować. Zauważa to autor rozprawy, który proponuje użyć w tym celu dwóch narzędzi: fraktali oraz algorytmów genetycznych. Fraktale to obiekty matematyczne, które podobnie jak automaty komórkowe, w zależności od wartości określonych parametrów są źródłem bardzo ciekawych, często pięknych struktur geometrycznych. Algorytmy genetyczne to skuteczne narzędzie poszukiwania w dużej przestrzeni rozwiązań optymalnych lub suboptymalnych z jakiegoś punktu widzenia.

Autor rozprawy postawił sobie ambitny cel: sformalizowanie w postaci formuły matematycznej zagadnień estetyki, harmonii i piękna oraz użycie jej jako funkcji dopasowania w opracowanej przez siebie wersji algorytmu genetycznego do poszukiwania interesujących z punktu widzenia estetyki i piękna struktur fraktalnych tworzących struktury geometryczne spełniających wskazane wyżej oczekiwania estetyki i piękna. Cel ten został osiągnięty, a uzyskane wyniki są interesujące nie tylko dla dziedziny jaką jest projektowanie techniczne, ale przede wszystkim w istotny i oryginalny sposób wpisują się w obszar informatyki, dla której problemy projektowania stanowią wyzwanie i są inspiracją do poszukiwania nowych metod i narzędzi. Tak więc, reasumując tę część mojej oceny rozprawy, stwierdzam, że teza rozprawy została jasno postawiona, a cel ściśle określony i osiągnięty. Rozprawa może zatem być przedstawiona jako monografia doktorska w dziedzinie informatyki.

## 2. Analiza treści rozprawy oraz uzyskanych wyników

Rozprawa składa się ze Wstępu, 5 rozdziałów, Wniosków końcowych oraz bibliografii składającej się z 75 pozycji literaturowych. Całość pracy obejmuje 143 strony i ma ona charakter teoretyczno-eksperymentalny. Najważniejsze rozdziały rozprawy to rozdziały 4 i 5, które zawierają oryginalne wyniki doktoranta.

Wstęp jest ogólnym wprowadzeniem do problematyki rozprawy. Autor formułuje w nim cel pracy oraz tezę rozprawy, a także w sposób skrótowy omawia treść kolejnych rozdziałów.

Rozdział 1 jest ciekawym przeglądem literaturowym zagadnień związanych z estetyką, w tym próbą opisu takich pojęć jak piękno, symetria, złoty podział i w szczególności ich wykorzystaniu we współczesnej reklamie.

W Rozdziale 2 doktorant przedstawia koncepcję fraktala – głównego narzędzia umożliwiającego automatyczne generowanie 2-wymiarowych figur geometrycznych o nietrywialnej strukturze, które można oceniać w kategoriach estetyki i piękna. Przedstawia rys historyczny związany z odkryciem fraktali, definiuje ich parametry jak też prezentuje sposób zapisu struktur fraktalnych w postaci systemu funkcji iterowanych. Przedstawia również koncepcję systemów dynamicznych, które podobnie jak fraktale mogą być źródłem interesujących wzorców. Rozdział kończy się przeglądem zastosowań struktur fraktalnych w różnych obszarach nauki, architektury oraz sztuki.

Kolejny rozdział, Rozdział 3 jest przeglądem technik ewolucyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem algorytmów genetycznych, które będą wykorzystane do poszukiwania interesujących struktur fraktalnych oraz systemów dynamicznych. Doktorant próbuje ustalić podobieństwa między strukturami i operacjami nad DNA i strukturą algorytmu genetycznego oraz jego operatorami. Dyskutuje takie kwestie związane z algorytmami genetycznymi jak tworzenie funkcji przystosowania, operatory selekcji, krzyżowania i mutacji.

Rozdział 4 jest pierwszym rozdziałem, który przedstawia oryginalne wyniki autora prezentowane w rozprawie. W rozdziale tym pokazuje on w jaki sposób algorytmy genetyczne (AG) zostały wykorzystane do poszukiwania struktur fraktalnych charakteryzujących się wysokimi walorami estetycznymi. Na wstępie rozdziału doktorant zwraca uwagę na problem dużej zależności struktur fraktalnych od obecnego w AG czynnika jakim jest losowość i konieczność kontroli tego czynnika. Pierwszą czynnością jaką wykonuje doktorant w ramach zastosowania AG do ewolucji struktur fraktalnych jest zaproponowanie odpowiedniego kodowania osobnika populacji AG. Następnie proponuje dwa operatory krzyżowania tych osobników oraz dwa operatory mutacji. Kolejnym zagadnieniem jakie doktorant podejmuje jest stworzenie odpowiedniej funkcji przystosowania. Zagadnienie to rozwiązuje proponując funkcję przystosowania, która uwzględnia wyniki badań statystycznych przeprowadzonych na grupie 100 osób, dotyczących oceny przez te osoby własności estetycznych struktur fraktalnych.

Rozdział 5 jest obszernym rozdziałem przedstawiającym wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w ramach rozprawy, składających się z 10 serii eksperymentów. Większość tych serii miała na celu ustalenie wpływu różnych parametrów AG na przebieg ewolucji struktur fraktalnych. Seria eksperymentów 1, 2 i 3 dotyczyła wpływu na przebieg ewolucji w systemach dynamicznych odpowiednio losowości populacji, a następnie prawdopodobieństwa krzyżowania, prawdopodobieństwa mutacji oraz operatora selekcji przy wyłączonych innych operatorach. W serii 4 kontynuowano te badania korzystając z ustalonych w poprzednich seriach najlepszych wartości prawdopodobieństw krzyżowania i mutacji. W serii 5 kontynuowano badania serii 4 dokonując jed-

nocześniej wizualizacji osobników w kolejnych generacjach, tzn. pokazując tworzone w kolejnych generacjach struktury fraktalne, a w serii 6 pokazano znalezione przez AG interesujące z punktu widzenia estetyki struktury fraktalne zarówno dla systemów dynamicznych jak też dla systemu funkcji iterowanych. W seriach eksperymentów 7, 8, 9 i 10 badano dla systemów dynamicznych wpływ odpowiednio: liczby iteracji wizualizacji osobnika, wpływ liczebności populacji AG na proces ewolucji oraz wpływ rodzajów operatora selekcji na proces ewolucyjny.

Rozprawę kończy nienumerowany rozdział, który zawiera krótkie podsumowanie zawartości rozprawy.

### **3. Najistotniejsze osiągnięcia przedstawione w rozprawie**

Do najważniejszych osiągnięć doktoranta przedstawionych w rozprawie należy zaliczyć:

- zaproponowanie funkcji dopasowania dla AG umożliwiającego ewolucję struktur fraktalnych z punktu widzenia estetyki tych struktur
- zaproponowanie struktury osobnika AG dla systemu funkcji iterowanych oraz specjalizowanych operatorów mutacji
- odnalezienie z użyciem AG interesujących z punktu widzenia estetyki struktur przede wszystkim systemów dynamicznych oraz w pewnym zakresie systemu funkcji iterowanych
- zbadanie wpływu różnych parametrów AG na rozwój struktur systemów dynamicznych.

### **4. Uwagi merytoryczne**

Rozprawa doktorska mgr Grzegorza T. Machnika jest dość trudna w czytaniu ze względu na często nieprecyzyjny język, usterki edytorskie i pewną chaotyczność. W trakcie jej czytania nasuwają się następujące uwagi:

- W Rozdziale 2 (str. 17-18) definiując System funkcji iterowanych, nie kończąc tej formalnej definicji doktorant odnosi się niespodziewanie do Tabeli 1 przedstawiającej zbiór funkcji dla konkretnego fraktala – Trójkąta Sierpińskiego; tabela zawiera szczegółowe nazwy typu „Trójkąt pierwszy”, itp. oraz pewne wartości liczbowe – ani nazwy, ani wartości z tej tabeli nie są wyjaśnione; na rys. 11 w tym rozdziale doktorant próbuje wyjaśnić iteracyjny proces tworzenia tego fraktala – objaśnienia w tekście słabo korespondują z elementami rysunku i w rezultacie proces tworzenia tego fraktala jest niezrozumiały; podobne uwagi odnoszą się do tabeli 2 opisującej inny fraktal – elementy tej tabeli nie są wyjaśnione

- Na początku Rozdziału 3 (str. 33) poświęconego AG doktorant omawia strukturę genetyczną żywych organizmów na poziomie DNA, widząc w niej w dalszej części rozdziału źródło

inspiracji AG, a w szczególności operatorów krzyżowania i mutacji. Zdaje się, że doktorant jest nieświadomy tego, że inspiracją dla AG jest przede wszystkim mechanizm naturalnej ewolucji darwinowskiej (o którym nie wspomina), a tylko w dalszej kolejności genetyka. Same operatory krzyżowania i mutacji nie były jednak inspirowane opisem genetycznym na poziomie DNA

- Na str. 44 oraz str. 46 doktorant stwierdza, że typowe prawdopodobieństwo krzyżowania to 0.25, a prawdopodobieństwo mutacji to 0.01; tak jednak nie jest, gdyż te prawdopodobieństwa zależą od sposobu kodowania osobnika oraz od samego problemu; dla binarnego kodowania standardowe wartości tych prawdopodobieństw są rzędu odpowiednio 0.8 oraz 0.003
- Na str. 46 doktorant pisze: „Istnieją strategie, w których pomijany jest algorytm krzyżowania i stosowana jest jedynie mutacja. ...jeden z typów takiej mutacji określa się terminem 1+1.” – doktorant prawdopodobnie nie jest świadomy, że AG to podklasa Algorytmów Ewolucyjnych (AE), a to o czym wspomina to jeden z kilku algorytmów innej podklasy AE określanej jako Strategie Ewolucyjne – w tym algorytmie istnieje tylko jeden osobnik, który poddawany jest operatorom mutacji oraz selekcji
- W Rozdziale 4, str. 55 doktorant próbuje opisać osobnika AG kodującego fraktal opisywany Systemem funkcji iterowanych; opis tego osobnika jest nieczytelny – zamiast przedstawić osobnika w postaci ogólnej 2-wymiarowej tablicy, a następnie zilustrować go konkretnym przykładem, doktorant przedstawia tabelę zawierającą zbiór przekształceń Systemu funkcji iterowanych jakiegoś fraktala, znowu bez wyjaśnień dotyczących elementów tej tabeli; tekstowy opis kodowania jest mało czytelny – doktorant posługuje się takimi pojęciami jak chromosom i gen w odezwaniu od przyjętego ich znaczenia i opisu w AG
- Na str. 60 doktorant wprowadza nazwy dwóch wariantów krzyżowania – krzyżowanie wymieniające i krzyżowanie uśredniające, ale nie wyjaśnia na czym te warianty krzyżowania polegają; wyjaśnienie działania tych wariantów krzyżowania powinno odbyć się z użyciem wprowadzonego wcześniej kodowania osobników AG; na rys. 44, 45 oraz 46 doktorant ilustruje te krzyżowania na poziomie fenotypowym, ale brak wyjaśnienia tych krzyżowań na poziomie genotypowym
- Str. 62: „Na rys. 47 został zaprezentowany przykład w jaki sposób może działać mutacja, dzięki której z jednego fraktala po kilku generacjach można uzyskać inny” – taka mutacja raczej nie istnieje, jeżeli jednak tak proszę o jej pokazanie
- W Rozdziale 5 doktorant opisuje swoje eksperymenty wykonane w ramach rozprawy. Z tej części pracy wynika, że 9 z 10 serii eksperymentów było przeprowadzonych z użyciem systemów dynamicznych, dla których stosowano AG – doktorant nie przedstawił jednak w poprzednim rozdziale szczegółów tego AG, a przede wszystkim sposobu kodowania osobników oraz operatora krzyżowania
- Część eksperymentalna nie jest przemyślana; jaka jest celowość serii 1 eksperymentów jeżeli nie zostały ustalone optymalne wartości parametrów krzyżowania i mutacji? jaka jest celowość serii 10 jeżeli jest to ostatnia seria eksperymentów i wnioski z niej nie będą wykorzystane? Główna seria eksperymentów, seria 6 powinna być ostatnią serią eksperymentów, gdzie będą wykorzystane spostrzeżenia z eksperymentów mających na celu ustalenie optymalnych wartości parametrów AG
- Najważniejsza z 10 serii przeprowadzonych eksperymentów to seria 6, która prezentuje odnalezione przez AG struktury fraktalne; otrzymane wyniki przedstawiono w formie wizualnej,

ale najważniejszym wynikiem działania AG jest odnalezienie współczynników funkcji, które generują te formy wizualne, dzięki którym można wzorce wizualne generować; doktorant powinien przedstawić obie formy wyników, również celowe byłoby pokazanie w obu formach najciekawszych osobników populacji początkowej.

## 5. Uwagi redakcyjne i edytorskie

W pracy odnajduję szereg usterek edytorsko-językowych:

- Numeracja rysunków i tabel powinna mieć charakter względny, uwzględniający numery rozdziałów
- Rozdział 5 jest zbyt długi i powinien być rozbity na 2 mniejsze rozdziały; w jednym z nich należało opisać eksperymenty mające na celu ustalenie optymalnych parametrów AG, a kolejny rozdział powinien pokazywać główne wyniki eksperymentalne
- Str. 47: „dla każdego genu ... obliczane jest prawdopodobieństwo mutacji w oparciu o generator liczb pseudolosowych” – prawdopodobieństwo mutacji nie ma nic wspólnego z generatorem liczb pseudolosowych
- Str. 49: „osobnik może zwiększyć lub zmniejszyć prawdopodobieństwo wylosowania” – taka możliwość nie istnieje
- Str. 53: „Rozdział 7 – Adaptacja algorytmu genetycznego oraz funkcji oceny” – AG oraz funkcja oceny nie podlegają adaptacji
- Str. 53: „Celem pracy było wybranie algorytmów posiadających element losowości” – z tego punktu widzenia najlepszym wyborem jest prawdopodobnie generator liczb pseudolosowych
- Str. 74: „Z badania wynika przyczyna wyboru do stworzenia populacji początkowej osobników nisko ocenionych, zamiast losowych” – niezrozumiałe sformułowanie
- Str. 74 „Doświadczenie 2. oraz 3. w celu porównania zostało wzbogacone o próbę kontrolną” - niezrozumiałe sformułowanie
- Str. 74: „Doświadczenie działania tych samych parametrów na 10 różnych typów systemów ...i fraktale IFS” - niezrozumiałe sformułowanie
- Str. 79: „Wykres pomijający wyżej wymienione populacje prezentowałby się analogicznie” - niezrozumiałe sformułowanie
- Str. 81: „Wynik prawdopodobieństwa ... został zaznaczony kolorem czarnym” - niezrozumiałe sformułowanie.

## 6. Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że mimo szeregu przedstawionych wyżej uwag krytycznych moja ocena rozprawy doktorskiej mgr Grzegorza T. Machnika jest pozytywna, gdyż zawiera oryginalne wyniki dotyczące automatyzacji procesu poszukiwania fraktalnych wzorów użytkowych. Do rozwiązania postawionego problemu zostały zastosowane algorytmy genetyczne. Wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych wskazują zarówno na zalety proponowanego podejścia jak też i konieczność poszukiwania innych bardziej subtelnych metod. Uzyskane w rozprawie wyniki były przedmiotem kilku publikacji konferencyjnych. W moim przekonaniu rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym. W konsekwencji wnoszę więc o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr Grzegorza T. Machnika do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

