



Politechnika Łódźka

Instytut Informatyki

Łódź, 24 sierpnia 2023 roku

dr hab. inż. Adam Wojciechowski, prof. uczelni
Instytut Informatyki
Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej
Politechnika Łódźka
Al. Politechniki 8, 93-590 Łódź

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: **Generation of Aesthetic Evaluation of Architectural Forms with the Use of Evolutionary Design**

Autor rozprawy: **mgr Agnieszka Mars**

Promotor rozprawy: **prof. dr hab. Ewa Grabska**

Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrywane w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autorkę? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Pani mgr Agnieszka Mars podjęła, w swojej rozprawie doktorskiej, bardzo ciekawe interdyscyplinarne zagadnienie automatycznego projektowania komputerowego, spełniającego zasady ludzkiej estetyki. Choć pracy nie towarzyszy wyraźna teza badawcza to przyświeca dość złożony i ambitny cel, polegający na stworzeniu modelu generacyjnego spełniającego wybrane reguły estetyki wizualnej. Obejmuje ona formalny opis struktury grafowej obiektów przestrzennych (np. architektonicznych) możliwy do adaptacji do zaproponowanych reguł estetycznych w kolejnych iteracjach działania algorytmu genetycznego. Literalna analiza tematu pracy sugeruje, że stworzenie miar estetycznych zadanych form architektonicznych jest najważniejszą częścią pracy.

Podjęte w pracy zagadnienie jest dość złożone, ale zostało dość precyzyjnie i logicznie opracowane. Obejmuje zarówno kwestię opisu relacji komponentów geometrycznych (tzw. *geon-ów* według zaadaptowanego modelu percepcji Biedermana) w postaci etykietowanych grafów kompozycyjnych (*CP-graphs: labeled attributed compositional graphs*), zbudowanie prostych gramatyk grafowych, opisanie obiektu referencyjnego za pomocą gramatyk i przeprowadzenie iteracyjnego procesu generowania kolejnych odsłon obiektu przy zachowaniu wybranych i zakodowanych reguł estetycznych (adaptacja współczynników modelu Birkhoffa).

Rozprawa ma charakter teoretyczno-eksperymentalny, gdyż przedstawione w pracy rozważania ciekawie formalizują strukturę geometryczną modeli trójwymiarowych, ale przeprowadzają również eksperymentalne iteracje zmian projektów geometrycznych zgodnie z funkcją przystosowania kodującą percepcyjne reguły estetyki. Praca stanowi spójny, logiczny i konsekwentny wywód, który kończy się przykładowymi generacjami geometrycznymi, uzupełnionymi o wskaźniki estetyczne stosowanych reguł.

Problemy badawcze, postawione w rozprawie doktorskiej, zostały sformułowane w sposób jasny i zrozumiały. Praca z racji podjętej problematyki, zakresu oraz metodologii badawczej jest pełnoprawnym osiągnięciem o charakterze naukowym w Dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych, w Dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej i stanu zagadnień w przemyśle) świadczący o dostatecznej wiedzy Autorki? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

W przedstawionej do oceny rozprawie doktorskiej, odniesienia do literatury pojawiają się stopniowo, poruszając kolejne aspekty, które definiują problem badawczy od strony formalnej i osadzają go w kontekście dotychczasowej wiedzy dziedzinowej.

Początkowo, Autorka odwołuje się do wizualnej reprezentacji obiektów architektonicznych i do teorii Biedermana rozpoznawania obiektów przez człowieka na podstawie komponentów (RBC - ang. *recognition-by-components*). Wprowadzone zostały pojęcia elementarnych kształtów geometrycznych, tzw. *geon-ów*, które powstają w proceduralny acz charakterystyczny sposób i to determinuje ich nieprzypadkowe własności (ang. *non-accidental properties*) pozwalające na ich rozpoznanie niezależnie od kierunku patrzenia. Dokładając do tego własności metryczne oraz wzajemne relacje możliwe jest zdekomponowanie uproszczonych obiektów architektonicznych na układ rzeczonych kształtów podstawowych. Cztery spośród nieprzypadkowych własności (oś oraz wielkość, typ krawędzi i symetria przecięcia) przyjęto za podstawowe, gdyż definiują one typ komponentów geometrycznych.

W kolejnym etapie Doktorantka przystępuje do zdefiniowania reprezentacji grafowych (ang. *attributed labeled directed compositional graph – CP-graph*) symbolicznych obiektów architektonicznych przyjmując za węzły podstawowe komponenty geometryczne, a w krawędziach zapisując relacje pomiędzy powierzchniami (interfejsami wiążącymi - ang. *bonds*) podstawowych komponentów. Relacje grafowe zostały rozbudowane o wzorce (ang. *patterns*), co wymagało zdefiniowania powiązań wewnętrznych i zewnętrznych oraz węzłów hierarchicznych. Atrybuty z kolei pozwoliły na definiowanie poszczególnych instancji grafów. Wprowadzenie prostych gramatyk grafowych (ang. *simple CP-grammar*) pozwoliło na zdefiniowanie języka opisu struktury obiektów geometrycznych.

Rozdział 3 stanowi skrótowy przegląd systemów generatywnych stosowanych w projektowaniu. Spośród automatów komórkowych, algorytmów genetycznych, L-systemów, inteligencji roju, gramatyk kształtu, gramatyk grafowych i sieci neuronowych Autorka skoncentrowała się na algorytmach genetycznych, które postanowiła użyć w procesie projektowania.

Ciekawe rozważania towarzyszą projektowaniu kreatywnemu, które zostało osadzone zarówno w koncepcji kreatywności Bodena jak i własności projektowania kreatywnego zdefiniowanych przez Gero. Te dwie teorie zdefiniowały właściwie podejście Doktorantki do projektowania kreatywnego, które osadziła w geometrycznych kompozycjach architektonicznych. Uzupełniając opis o zastosowanie algorytmów genetycznych w projektowaniu, przybliżyła niezbędną teorię do realizacji zadania podjętego w pracy.

Zwieńczeniem pojęć niezbędnych do zdefiniowania ram pracy badawczej jest komputerowa estetyka i stowarzyszone z nią miary. Pomimo przytoczenia licznych podejść literaturowych, w tym odnoszących się bezpośrednio do estetyki architektonicznej, Doktorantka skoncentrowała się na mierze estetycznej Birkoffa, która, choć zdefiniowana ogólnie, to z punktu widzenia geometrycznej natury obiektów architektonicznych, wydaje się dobrym wyborem, intuicyjnie pasującym do własności używanych komponentów geometrycznych.

Reasumując bibliografia liczy 125 pozycji, w tym 6 prac, opublikowanych w latach 2015-2020, których Doktorantka jest jedyną autorką lub współautorką - zawsze jednak jako pierwszy autor. Wyczerpuje ona merytorycznie analizę przedmiotowych zagadnień, zarówno pod kątem stosowanych teorii jak i referencyjnych rozwiązań spotykanych w literaturze przedmiotu. Wnioski z przeglądu literatury

sformułowano w sposób jasny i przekonujący. Całokształt wywodu daje wyraźne tło dla badań Autorki rozprawy.

Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?

Tematyka rozprawy jest aktualna i ważna. Co więcej w zaproponowanym, interdyscyplinarnym ujęciu jest również niezwykle wymagająca. Porusza bowiem styk kilku dziedzin nauki. Łączy ona geometryczny proceduralizm komputerowy, opisany strukturami i gramatykami grafowymi z zagadnieniami estetycznymi, które są niezwykle ulotne i trudne do formalnej oraz obiektywnej oceny. Doktorantka próbuje łączyć te dwa światy z dużym sukcesem. Chociaż przy pierwszej refleksji nasuwa się oczekiwanie, że przykłady zamieszczone w pracy będą obejmowały rzeczywiste obiekty architektoniczne, dla których uda się wygenerować kolejne odsłony estetycznych projektów, to jednak świadomość złożoności przedstawionego zagadnienia nie pozostawia złudzeń, że samo zaprojektowanie i zaimplementowanie zaproponowanych reguł oraz algorytmów jest dużym osiągnięciem, które oczywiście można w przyszłości rozwijać.

Czy Autorka rozwiązała postawione zagadnienie, czy użyła właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

W oparciu o zebraną lub autorsko wypracowaną teorię, Doktorantka podjęła dwa główne zagadnienia. W pierwszej kolejności zaproponowała formalizację reguł estetycznych odnoszących się do kompozycji geometrycznych, które poprzez funkcję dopasowania wprowadzają komputerową estetykę do grafów kompozycyjnych opisujących strukturę obiektów architektonicznych. W drugiej kolejności przedstawia autorski algorytm genetyczny generujący projekty obiektów architektonicznych, spełniających zadany (pochodzący od obiektu referencyjnego) architektoniczny charakter.

Parametry opisujące estetykę komputerową zostały zdefiniowane w oparciu o charakterystyki kształtu obiektów geometrycznych takich jak: wyrównanie (ang. *alignment*), lustrzaną symetrię (ang. *mirror symmetry*), rotacyjną symetrię (ang. *rotational symmetry*), stabilność (ang. *stability*) oraz złożoność obiektu (ang. *complexity*) opisaną przez liczbę komponentów i liczbę różnych komponentów. Każdy z parametrów został formalnie zdefiniowany i zobrazowany przykładem. Wielość symboli i oznaczeń powoduje jednak, że w niektórych fragmentach opisu powstają niedopowiedzenia w zakresie metodologii wyliczania poszczególnych współczynników, w szczególności dla przytoczonych przykładów. Przykładowo, wątpliwość budzi fakt agregacji współczynników dla różnych obiektów. Dlaczego mając dwa referencyjne obiekty obliczana jest średnia? Jaką interpretację mają operacje na wartościach minimalnych i maksymalnych we wzorach na stronie 78?

W zakresie algorytmu genetycznego, stosowanego do generatywnego projektowania obiektów architektonicznych o zadanym charakterze estetycznym, Doktorantka przedstawiła ogólne założenia. Rozdział 1.13.2 przedstawia tylko ogólny schemat, który trudno zinterpretować na podstawie bardzo ogólnych etapów. W sekcjach 1.21 -1.27 algorytm jest omówiony bardziej szczegółowo. W sekcji 1.21 poruszono kwestię wyjściowej populacji. Zobrazowano etap przykładami obiektów referencyjnych i zbudowanych na ich podstawie gramatyk grafowych, których zasady stanowią genotyp algorytmu. Warto jednak wyjaśnić dlaczego przy konstrukcji gramatyk grafowych konkretne trzy aksjomaty zostały zdefiniowane w kroku 3. Dlaczego aksjomaty tworzone są względem współrzędnych kartezjańskich tego samego komponentu o różnych własnościach metrycznych, a nie względem typu komponentu? Niewielki komentarz do gramatyk z rysunków 85-88 też zwiększyłby klarowność przekazu, gdyż celem sekcji jest demonstracja implementacji rozwiązania na przykładach. Sekcja 1.22 klarownie demonstruje tworzenie CP-grafów dla przykładowych prototypowych obiektów i w połączeniu z gramatykami przedstawionymi w sekcji 1.21 daje obraz fundamentów algorytmu, zaś pozostałe sekcje dopełniają jego szczegóły funkcjonowania. Rozdział 8 dopełnia demonstrację działania algorytmu na przykładzie

kolejnych referencyjnych obiektów. Przykłady są ciekawe i inspirujące. Warto by było uzupełnić rozważania o wykres wartości funkcji dopasowania F (sekcja 1.23), gdyż finalne wartości wskaźnika demonstrują wynik po 50-tej iteracji. Powstaje pytanie czy liczba iteracji ma istotne znaczenie? Czy kolejne iteracje dostarczają percepcyjnie nowych (interesujących) konstrukcji estetycznych o zadanym poziomie estetycznym i czy zaproponowana funkcja dopasowania zapewnia percepcyjnie konsekwencję w utrzymaniu charakteru estetycznego? Ciekawym rozszerzeniem przykładów byłoby odniesienie się do wybranego rzeczywistego obiektu architektonicznego, zdekomponowanie go na uproszczone komponenty (*geon-y*) i weryfikacja charakteru estetycznego kolejnych iteracji.

Podsumowując, przedstawione wyniki są obiecujące i nowatorskie. Szczególnie inspirujący jest mechanizm formalizacji struktury geometrycznej obiektów architektonicznych, który mógłby być transformowany nie tylko w zaproponowany przez Doktorantkę sposób, ale z użyciem innych reguł produkcji. Równie ciekawa byłaby próba wkomponowania opracowanych, automatycznych kryteriów estetycznych w inne procesy projektowania obiektów architektonicznych.

Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autorki, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność rozprawy doktorskiej leży w próbie formalnego opisu geometrycznych struktur architektonicznych oraz próbie ich ewolucyjnych modyfikacji w zgodzie z wybranymi kryteriami estetyki. W szczególności najważniejszymi, moim zdaniem, osiągnięciami są:

- opracowanie grafów kompozycyjnych (ang. *composition graphs – CP-graphs*) do reprezentowania struktury projektu architektonicznego, opisanego za pomocą komponentów geometrycznych tzw. *geon-ów* zaproponowanych przez Biedermana;
- opracowanie kryteriów estetycznych, w oparciu o teorię Birkhoffa, dla automatycznej oceny estetyki geometrycznych obiektów architektonicznych;
- opracowanie algorytmu genetycznego, którego zadaniem jest modyfikacja układów architektonicznych w zgodzie (funkcja dopasowania) z wybranymi kryteriami estetyki;

Wymienione osiągnięcia stanowią bezsprzecznie oryginalny wkład Doktorantki w rozwój Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

Czy Autorka wykazała umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Wszystkie przeprowadzone przez Doktorantkę koncepcje i algorytmy zostały opracowane w sposób poprawny, zgodnie z przyjętymi w dziedzinie badań normami. Praca jest zredagowana w spójny i logiczny sposób, chociaż ciągła numeracja sekcji, niezależnie od numeracji głównych rozdziałów nie jest standardowym podejściem.

Kolejne odsłony badanego zagadnienia, zarówno od strony wykorzystywanej teorii, jak i pod względem autorskich dokonań Doktorantki, są uzupełniane formalnymi opisami i obrazowane odpowiednimi przykładami. Choć Autorka posługiwała się formalnym opisem w sposób poprawny, to jednak wielość wątków i towarzysząca im symbolika może niekiedy wprowadzać czytelnika w konfuzję. Niektóre symbole nie były spójnie wykorzystywane w opisie. Przykładowo symbole L i M na stronie 23/24 służą jako symbole definiujące grafy, podczas gdy na stronie 71/72 opisują odpowiednio zbiór relacji lub współczynnik lustrzanej symetrii, a w opisie algorytmów M (str. 115) oznacza słownik. Ewidentnie w pracy przydałby się indeks symboli i oznaczeń, który uporządkowałby wątpliwości.

Praca została zredagowana starannie, zawiera odpowiednie spisy, odwołania i odsyłacze do literatury, chociaż nie udało się uniknąć nielicznych błędów edytorskich i reakcyjnych. Prawdopodobnie wersja edytowalna, zapisana w formacie MS Word, którą miałem okazję czytać, nie oszczędziła wielu błędnie przypisanych numeracji, np. definicja nr 3 znajduje się zarówno na str. 22 jak i na str. 23; po definicji nr 5 jest od razu definicja nr 8; sekcja 1.18.1 występuje dwukrotnie w pracy; podpis pod rysunkiem 106 odwołuje się do samego siebie.

W pracy znajduje się podrozdział podsumowujący, ale ma on charakter jakościowy i mało wyraźnie zamyka kompozycję rozprawy, podsumowując stopień realizacji celów badawczych. Ciekawym uzupełnieniem byłoby krytyczne zreferowanie ujęcia ilościowego prowadzonych badań oraz bliższe nawiązanie do realnych zastosowań.

Potwierdzeniem dobrej umiejętności poprawnego i przekonującego przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników jest lista publikacji z udziałem Doktorantki. Jest to aż 6 publikacji w renomowanych międzynarodowych czasopismach i konferencjach z wykazu MNiE, z czego jedna praca została opublikowana w czasopiśmie ze współczynnikiem wpływu IF. Za każdym razem Doktorantka jest pierwszą autorką prac. Tym samym Doktorantka bardzo dobrze wywiązała się z działalności publikacyjnej.

Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Rozprawa doktorska nie zawiera istotnych uchybień, a poniższe uwagi mają przede wszystkim charakter dyskusyjny. Przykładowe kwestie, które mogłyby zostać przedyskutowane, lecz nie ujmują pozytywnej oceny rozprawy, dotyczą:

- w niektórych miejscach pracy Autorka stwierdza, że algorytm genetyczny służy do optymalizacji kompozycji architektonicznej. Trudne w interpretacji jest moim zdaniem pojęcie optymalizacji, skoro w ocenie estetyki odnosimy się do obiektu referencyjnego i funkcja dopasowania odwołuje się do cech obiektu referencyjnego, dążąc do wartości estetyki referencyjnej.

- opis algorytmów jest odmiejscowiony względem ich formalnego opisu (załącznik A), co powoduje, że niektóre elementy formalnego opisu nie są jednoznaczne. Przykładowo jak wyglądają rekordy tablicy $M[]$ dla przykładowego obiektu/komponentu rozważanego w pracy? Ile słowników i o jakim przeznaczeniu jest stosowanych w formalnym opisie podejścia Doktorantki? Jaka jest złożoność obliczeniowa algorytmów poszukiwania symetrii (str. 116 i str. 117-119)? Czy kolejność wierzchołków wpływa na działanie algorytmu zliczającego częściowe symetrie obrotowe? Czy kolejne iteracje algorytmu genetycznego cechują się zbieżnością wartości funkcji dopasowania F do wartości referencyjnych?

- ciekawym uzupełnieniem praktycznego kontekstu pracy byłoby odniesienie się do przykładowego rzeczywistego obiektu architektonicznego, który po uproszczeniu do symbolicznych komponentów geometrycznych przeszedłby proces algorytmicznej modyfikacji z zachowaniem przyjętych kryteriów estetycznych;

Konkluzja

Uważam, że cele rozprawy doktorskiej zostały w pełni zrealizowane. Doktorantka przedstawiła w rozprawie nowe i oryginalne podejście do formalizacji struktur geometrycznych oraz automatycznej oceny ich estetyki. W pracy należy docenić ciekawe informatyczne ujęcie problemu interdyscyplinarnego, które formalizuje i porządkuje kwestie estetyki generatywnych obiektów architektonicznych. Uzyskane przez Doktorantkę wyniki uważam za oryginalne, wartościowe i ciekawe poznawczo. Tym samym rozprawa prezentuje wartościowe osiągnięcia naukowe w obszarze

Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Doktorantkę pracy naukowej.

Bez najmniejszej wątpliwości stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani Agnieszki Mars spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, przez obowiązującą ustawę. Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Adam Wójcicki