

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

Warszawa, 29 listopada 2018 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 17 grudnia 2018 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

mgr inż. Izabelli Antoniuk

temat: „Proceduralna generacja edytowalnego trójwymiarowego modelu terenu na podstawie cech oraz schematycznych map dwuwymiarowych” ,

promotor – prof. dr hab. inż. Przemysław Rokita z Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej

recenzenci:

dr hab. inż. Radosław Mantiuk, prof. Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Wydział Informatyki

dr hab. inż. Adam Wojciechowski z Wydziału Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej

Obrona odbędzie się w dniu 17 grudnia 2018 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 10³⁰.

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Autor: Mgr. Inż. Izabella Antoniuk

Promotor: prof. dr hab. inż. Przemysław Rokita

Streszczenie

Proceduralna generacja zawartości jest dziedziną rozległą i obejmuje wiele bardzo różnych zastosowań, od tworzenia pojedynczych elementów do budowy rozległych i skomplikowanych środowisk. Tworzonymi obiektami mogą tu być elementy dwu i trzywymiarowe, do wykorzystania w grach komputerowych, symulacjach lub w podobnych dziedzinach. Sama generacja zawartości z kolei może obejmować zarówno pojedyncze modele (jak np. tworzenie drzew, kamieni, czy innych elementów charakterystycznych w danym środowisku), jak również generację złożonych ekosystemów zawierających wiele wewnętrznych zależności (jak np. tworzenie różnych typów terenów, generowanie i rozmieszczanie ekosystemów roślinnych itd.). Na podstawie publikacji z tej dziedziny można stwierdzić, że rodzaj zastosowanego rozwiązania w dużej mierze zależy od jego przeznaczenia, jak również oczekiwanej jakości generowanego elementu. Powstające obiekty mogą znacznie różnić się tak stopniem szczegółowości, jak i realizmem.

Proceduralna generacja terenu łączy w sobie kilka zagadnień, takich jak generacja różnych przestrzeni, rozmieszczanie na scenie wybranych elementów, jak również kontrolowanie poprawności otrzymywanego modelu. W zależności od przyjętych założeń, generacja może wymagać od użytkownika zapewnienia różnych danych wejściowych. Tworzenie modeli do zastosowania np. w grach komputerowych, symulacjach, czy różnego rodzaju wizualizacjach, oprócz ich wyglądu musi uwzględniać także takie zagadnienia jak stopień kontroli nad ostatecznym kształtem terenu, oraz zapewnienie prostego sposobu wprowadzania zmian po procesie generacji. Ze względu na charakterystykę niektórych wyzwań np. w grach komputerowych, konieczne jest także uwzględnienie elementów takich jak nawisy skalne, jaskinie oraz związane z nimi elementy charakterystyczne. Tworzenie tego typu struktur wymaga m.in. zastosowania reprezentacji przestrzeni dostosowanej do ich specyficznego układu.

Niniejsza praca prezentuje oryginalne rozwiązania służące do proceduralnej generacji trójwymiarowego modelu terenu, z wykorzystaniem schematycznych map, z reprezentacją danych umożliwiającą generację elementów takich jak systemy podziemi. Algorytm oferuje

dużą kontrolę nad kształtem generowanych modeli. Dzięki zastosowanym zestawom danych wejściowych nawet osoba nieobeznana z algorytmami proceduralnej generacji terenu może w prosty sposób zdefiniować właściwości i układ końcowego terenu. Dane te pozwalają też na reprezentowanie skomplikowanych zależności (zwłaszcza w przypadku terenów podziemnych, takich jak jaskinie lub struktury stworzone przez człowieka). Ze względu na zastosowane parametry, użytkownik zawsze zna maksymalny stopień skomplikowania siatki obiektu, zaś sama generacja działa na tyle szybko, by znacznie usprawnić pracę grafika 3D. Dodatkowo, poszczególne fragmenty terenu mogą być przedstawione jako obiekty trójwymiarowe, np. w aplikacji Blender, a tym samym umożliwiają proste wprowadzanie zmian. Ułatwia to też dalszą edycję modeli. Wyniki działania opracowanego podejścia mogą znaleźć zastosowanie przy generowaniu terenu dla potrzeb gier komputerowych, symulacji, wizualizacji oraz dla podobnych dziedzin, zarówno przy tworzeniu terenu jako całości, jak również przy generacji wymiennych modułów do użycia np. podczas projektowania poziomów w grze, lub jako bazy do dalszej pracy.

Słowa kluczowe: proceduralna generacja, modelowanie terenu, gry komputerowe.

Szczecin, 31.08.2018

dr hab. inż. Radosław Mantiuk, prof. nadzw.
Wydział Informatyki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

KWESTIONARIUSZ - RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY WYDZIAŁU
ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Tytuł rozprawy:

**Proceduralna generacja edytowalnego trójwymiarowego modelu terenu na podstawie
wybranych cech oraz schematycznych map trójwymiarowych**

Autor rozprawy:

mgr inż. Izabella Antoniuk

***1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono
dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny,
doświadczalny, inny)?***

Tematem rozprawy jest zagadnienie proceduralnej generacji trójwymiarowych modeli terenów. Autorka koncentruje się na trzech rodzajach modeli: terenach otwartych powstałych w sposób naturalny, jaskiniach o wyglądzie obiektów naturalnych oraz podziemiach powstałych w wyniku ingerencji człowieka. We wszystkich przypadkach model tworzony jest poprzez manualne zdefiniowanie uproszczonej „mapy terenu” wraz z dodatkowymi parametrami, takimi jak np. mapa wysokości, mapa połączeń, rozmiar podobszaru nazywanego „kafelkiem”, itp. Następnie wspomniana uproszczona mapa terenu przekształcana jest w dwuwymiarową mapę docelową, w której poszczególne piksele wskazują na charakter terenu. Może to być wysokość terenu w przypadku terenów otwartych bądź przynależność do wnętrza jaskini lub korytarzy w dwóch pozostałych przypadkach. Do generowania map terenów otwartych wykorzystany został algorytm podziału rombowego (ang. diamond-square subdivision). Natomiast do jaskiń i podziemi, Autorka użyła algorytm oparty na L-systemach (ang. L-systems) wspomagany przez automat komórkowy. Dwuwymiarowe mapy przekształcane są w docelowe modele trójwymiarowe w środowisku Blender za pomocą zaimplementowanych przez Autorkę skryptów. We wspomnianych skryptach wyglądane są przejścia pomiędzy „kafelkami” uproszczonej mapy terenu. Podjęta została również próba dodania do wygenerowanych terenów dodatkowych elementów, takich jak stalagnaty czy losowo rozmieszczone kamienie. Opracowany przez Autorkę system umożliwia generowanie wielopoziomowych jaskiń i podziemi o złożonych i niepowtarzalnych kształtach. Możliwa jest ingerencja w proces powstawania modelu na poziomie pojedynczego kafelka.

Autorka rozprawy sformułowała tezę, że możliwe jest opracowanie metody proceduralnej generacji skomplikowanych terenów, która umożliwi: generowanie złożonych modeli terenów otwartych, jaskiń i podziemi; oparta zostanie na uproszczonych danych wejściowych; wygenerowane modele będą miały możliwie nieskomplikowaną siatkę; umożliwiającą ich zastosowanie np. w grach komputerowych; zapewniona zostanie prosta edycja generowanych modeli.

Teza sformułowana jest w sposób jasny i dotyczy aktualnego problemu proceduralnej generacji złożonych i niepowtarzalnych terenów na potrzeby systemów wirtualnej rzeczywistości. Rozwiązanie wspomnianego problemu wymaga rozwoju metod naukowych, a w szczególności dostosowania istniejących algorytmów do specyfiki zagadnienia opisywanego w rozprawie. Efektywne rozwiązanie problemu proceduralnej generacji terenów ma duże znaczenie praktyczne, ponieważ problem ten

dotyczy szerokiego zakresu aplikacji.

Rozprawa ma charakter analityczno-implémentacyjny, ponieważ zaproponowany w niej został nowy algorytm proceduralnej generacji terenów i wykonana implémentacja tego algorytmu. Autorka zaprezentowała rezultaty działania algorytmu porównując je z alternatywnymi rozwiązaniami. Przetestowała wydajność oraz jakość działania swojego oprogramowania.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle / świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Autorka przedstawiła imponujący liczebnie przegląd literatury związanej z proceduralnym modelowaniem terenów w tym struktur trójwymiarowych. Zaproponowała klasyfikację technik literaturowych dzieląc je pod względem zastosowanych metod algorytmicznych (np. wykorzystanie algorytmów sztucznej inteligencji, symulacja procesów naturalnych, odwzorowanie rzeczywistego terenu, itp.). Spis literatury obejmuje 120 pozycji w tym 5 własnych.

Moim zdaniem przegląd literaturowy mógłby być rozszerzony o zdefiniowanie podstawowych pojęć związanych z tematyką proceduralnej generacji terenów. Omówienie takich technik, jak np. automat komórkowy, algorytm erozji, wykorzystanie pól prędkości i wiele innych, ułatwiłoby czytelnikowi wdrożenie się w tematykę pracy. Za potrzebne natomiast uważam omówienie metod literaturowych wykorzystanych w proponowanym przez Autorkę algorytmie generacji terenów. W pracy brakuje szczegółowego opisu algorytmu podziału rombów, automatu komórkowego oraz L-systemów.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Autorka wykorzystuje do proceduralnej generacji terenu algorytmy o podłożu fraktalnym, co jest moim zdaniem dobrym rozwiązaniem. Iteracyjny podział struktury terenu zmierzający do zamodelowania coraz to mniejszych jego elementów będzie się sprawdzał w przypadku kształtów naturalnych. Konieczne było natomiast wprowadzenie ograniczeń w przypadku kształtów podziemnych symulujących ingerencję człowieka, co zostało uczynione w postaci modyfikacji pierwotnego algorytmu. Wprowadzenie początkowej uproszczonej mapy terenu jest rozwiązaniem racjonalnym, ponieważ daje możliwość twórcy terenu zaprojektowanie jego podstawowej struktury. Zdanie się w tym wypadku całkowicie na algorytm, było trudne do zastosowania w praktyce.

Autorka rozprawy zaimplementowała kompletny system generujący wyniki, które udowadniają zasadność użycia konkretnych technik algorytmicznych. Wspomniane techniki nie należą do szczególnie zaawansowanych, ale sprawdzają się w przypadku opisywanego problemu.

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

Oryginalnym elementem rozprawy jest algorytm, który łączy ze sobą element manualnego tworzenia map terenu z iteracyjnymi algorytmami poprawiającymi szczegółowość generowanych modeli. Przyjęte rozwiązanie jest proste, ale skuteczne w rozumieniu praktycznym. Generowany model można ściśle dostosować do potrzeb aplikacji. Można go edytować i w miarę dowolnie modyfikować. W literaturze brak jest podobnego rozwiązania.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników / zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy?'

Autorka poprawnie opisała proponowaną przez siebie metodę proceduralnej generacji terenów. W czytelny i zwięzły sposób przedstawiła przegląd literatury (Rozdz. 2), opis metody (Rozdz. 3-5),

rezultaty testów (Rozdz. 6). Układ pracy jest czytelny, zwięzły i przekonujący sposób prezentuje problemy rozwiązywane w rozprawie. Myślę, że praca zyskałaby, gdyby Rodz. 3 połączony został z Rozdz. 2, natomiast Rozdz. 4 z Rozdz. 5.

Zwracam uwagę na wymienione poniżej usterki redakcyjne:

- Rodz. 8 powinien mieć numer 7.
- W pracy występują bardzo liczne błędy interpunkcyjne (w szczególności Autorka natrętnie stawia przecinki przed spójnikami, przed którymi się ich nie stawia).
- Używane jest słowo „ilość” z rzeczownikami policzalnymi, dla których powinno się stosować określenie „liczba”.
- W kilku przypadkach podawane są wyniki czasowe eksperymentów bez podania jednostki (np. Rys. 6.1, 6.2, Tab. 3, 4).
- W treści pracy powinna być przyjęta jedna forma zamieszczania cytowań. Autorka odwołuje się do literatury na różne sposoby podając jedno lub wiele nazwisk autorów, lub tylko sam numer cytowania.
- W kilku tytułach znalazłem niepotrzebne kropki na końcu zdań.
- „trzywymiarowe” → powinno być „trójwymiarowe”

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Moim zdaniem najłabszą stroną rozprawy jest sposób weryfikacji jakości i wydajności zaproponowanej metody proceduralnego generowania terenów. Autorka testuje wydajność podając czasy działania algorytmów dla różnego rozmiaru „kafelka”. Wyniki wskazują na potęgowy wzrost czasu obliczeń co jest oczywiste w przypadku liczebności zwiększającej się w sposób potęgowy. W testach brakuje natomiast nawiązania do pozostałych parametrów algorytmu. Jaki wpływ na czas generacji ma np. zróżnicowanie rodzajów kafelków i liczba połączeń między kafelkami? Czy liczba połączeń pomiędzy poziomami jaskiń ma wpływ na wydłużenie działania algorytmu? Jak zachowa się algorytm w przypadku bardzo dużych struktur danych?

Przedstawiona w rozprawie weryfikacja jakościowa proponowanej metody sprowadza się do podania wyników ankiety, w której grupa 12 osób poproszona była o odpowiedź na szereg pytań dotyczących wyglądu wygenerowanych modeli oraz przydatności zaimplementowanej aplikacji. Wyniki ankiety zaprezentowane zostały w postaci średnich arytmetycznych. Należałoby natomiast przeprowadzić szczegółową analizę statystyczną uzyskanych wyników. Wspomniana analiza powinna uwzględnić odchylenia standardowe, jak również sprawdzić czy wyniki są istotne w rozumieniu statystycznym.

Mam również wątpliwości co do poprawności sposobu kalibracji zaproponowanego algorytmu generacji terenów, tzn. poszukiwania najlepszych jego parametrów z punktu widzenia uzyskiwanych rezultatów jakościowych i wydajnościowych. Autorka uzależniła długość słowa stosowanego w L-systemie od rozmiaru kafelka. W jaki sposób znalezione zostały wartości graniczne dla poszczególnych rozmiarów kafelków? Czy długość słowa zależna była od treści modelu (np. inna dla jaskini, a inna dla terenu otwartego o określonej charakterystyce)? W jaki sposób dobrane zostały progi w automacie komórkowym? Czy ustalone progi były zależne od treści modelu? Podobne pytania dotyczą liczby iteracji w L-systemie. W przyjętej w badaniach naukowych metodzie przyjmuje się pewien mierzalny próg referencyjny (np. jakość wygenerowanego systemu wyrażona obiektywną metryką), a następnie dopasowuje wartości parametrów w celu uzyskania efektu zbliżonego do referencyjnego. Czy Autorka stosowała inny mechanizm kalibracji parametrów poza rozwiązaniem opartym na własnej (subiektywnej) ocenie rezultatów?

W pracy brakuje wyjaśnienia poniższych kwestii:

1. W których rozwiązaniach literaturowych dotyczących generacji terenów trójwymiarowych zastosowano takie same algorytmy jak w proponowanej metodzie (np. L-system, automat komórkowych, algorytm podziału rombego)?

2. W rozdz. 2.2 wymienione są braki rozwiązań literaturowych. Należałoby wskazać konkretne algorytmy (artykuły), w których te braki występują.
3. W jaki sposób w proponowanej metodzie zapewnione jest spójne przejście pomiędzy kafelkami oraz pomiędzy poziomami w algorytmie tworzenia jaskiń?
4. Czy w jaskiniach syntezowany jest również sufit? W jaki sposób?
5. Jaka jest definicja „najlepszego wyniku, ... jeżeli chodzi o wygląd obiektów ...”?

7. Jaka jest przydatność rozprawy do nauk technicznych?

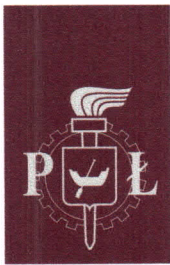
Zaproponowana metoda proceduralnej generacji terenów może być zastosowana w praktyce, np. do tworzenia terenów w grach komputerowych. Z praktycznego punktu widzenia kluczową cechą tej metody jest możliwość tworzenia schematycznego zarysu terenu poprzez nadanie mu odpowiedniego kształtu i wskazanie pożądaných charakterystyk. Uproszczona mapa jest automatycznie przekształcana w docelowy model zachowując duże możliwości ingerencji w jego strukturę.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ *nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy*
- b/ *wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania*
- c/ *spełniająca wymagania*
- d/ *spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem*
- e/ *wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie*

Stwierdzam, że Autorka rozprawy wniosła odpowiedni wkład do dyscypliny naukowej informatyka w zakresie grafiki komputerowej. Uważam, że przedłożona do recenzji rozprawa spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z 14 marca 2003 roku, Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595 (z późniejszymi zmianami).

Radosław Pająk



Politechnika Łódzka

Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej

dr hab. inż. Adam Wojciechowski

Łódź, 25.07.2018

Instytut Informatyki

Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej

Politechniki Łódzkiej

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Proceduralna generacja edytowalnego trójwymiarowego modelu terenu na podstawie wybranych cech oraz schematycznych map dwuwymiarowych

Autor rozprawy: mgr inż. Izabella Antoniuk

Promotor: prof. dr hab. inż. Przemysław Rokita

Dziedzina: Nauki techniczne

Dyscyplina: Informatyka

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

Problem proceduralnego generowania graficznych komponentów środowisk interaktywnych jest zagadnieniem aktualnym i ważnym. Szczególnie dynamicznie rozwija się w dobie rosnącej popularności gier komputerowych i interaktywnych wizualizacji trójwymiarowych. Obecnie możemy zaobserwować sytuację, w której rozwój technologii jest szybszy niż przyrost aplikacji adresujących możliwości współcześnie produkowanego sprzętu komputerowego, co dowodzi potrzeby automatyzacji i usprawnienia niektórych procesów produkcyjnych oprogramowania, w tym przede wszystkim automatyzacji w tworzeniu zawartości prezentowanych środowisk. W obszarze trójwymiarowych komponentów środowisk (modele, teren, pomieszczenia) spowodowane jest to głównie czasochłonnością i pracochłonnością jaka towarzyszy ich tworzeniu.

Głównymi metodami stosowanymi w obszarze generowania elementów środowiska 3D jest modelowanie ręczne lub coraz częściej spotykane skanowanie rzeczywistych prototypów obiektów, czy terenów (np. LIDAR). Stąd ponad połowa budżetu produkcji większości interaktywnych aplikacji trójwymiarowych poświęcana jest na tworzenie środowiska graficznego. Z pomocą może przyjść bardzo obiecujące podejście, wykorzystujące algorytmy losowo-proceduralne, lecz pozostaje ono wciąż niedostatecznie rozpoznane, głównie za sprawą trudności, jakie towarzyszą automatycznie generowanej zawartości, w tym przede wszystkim: powtarzalności, nieprzewidywalności, złożoności, artefaktom, czy innym własnościami obiektów generowanych proceduralnie.

Tym samym problem naukowy, postawiony w pracy, jest ważny i istotny z punktu widzenia szeregu możliwych zastosowań proceduralnie generowanej treści 3D, pod warunkiem pokonania szeregu przeszkód stojących na drodze automatycznie generowanej zawartości. Znajduje to odzwierciedlenie w celu pracy, którym jest:

opracowanie metody proceduralnej generacji terenu opartej na uproszczonych danych wejściowych, która umożliwi tworzenie struktur takich jak podziemia i jaskinie;

oraz tezie pracy, której sensem jest weryfikacja możliwości stworzenia uniwersalnej metody o zadanych funkcjonalnościach: generowanie skomplikowanego terenu na podstawie

uproszczonych danych wejściowych, generowanie jaskiń i podziemi, uzyskiwanie nieskomplikowanej siatki oraz możliwość prostej edycji tworzonych obiektów.

Cel oraz teza pracy zostały tym samym jasno sformułowane przez Autorkę pracy i mają charakter projektowo-doświadczalny.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł /w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczący o dostatecznej wiedzy Autorki? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Autorka zamieściła w pracy przegląd wybranych metod związanych z proceduralnym generowaniem obiektów geometrycznych wprowadzając częściowo autorską, a częściowo zapożyczoną taksonomię metod proceduralnego generowania trójwymiarowych modeli terenu. Przegląd literatury dokonany jest na podstawie obszernej literatury dziedzinowej, z czego około 10% publikacji pochodzi z 3 ostatnich lat. W pracy znajdują się również odwołania do rozwiązań stosowanych w przemyśle gier komputerowych, które najczęściej publikowane są w postaci nierecenzowanych, internetowych tekstów eksperckich.

Analiza literatury podzielona została logicznie na proceduralne generowanie przestrzeni naziemnej i proceduralne generowanie podziemi. Druga część przeglądu dotycząca generowania podziemi została syntetycznie podsumowana w rozdziale 2.5, czego trochę zabrakło w zakresie generowania powierzchni naziemnych. Ciekawe jest też ujęcie zagadnień generowania terenu w kontekście przemysłu gier komputerowych (rozdział 2.6). Zwieńczeniem przeglądu literatury jest rozdział 2.7 podsumowujący deficyty i niedoskonałości, głównie funkcjonalne, istniejących rozwiązań, na podstawie których Autorka rozprawy określiła zestaw wymagań względem swojego rozwiązania. Wartościowe jest również schematyczne i syntetyczne zestawienie przeanalizowanych rozwiązań zamieszczone w tabeli 1.

W kontekście opracowanych metod Autorka właściwie dobierała i cytowała rozwiązania referencyjne, do których odnosiła się w swojej pracy. Zaproponowane przez Autorkę metody i rozwiązania, w kontekście przeglądu literatury, są oryginalne i zostały dobrze wkomponowane w nisze istniejących na rynku rozwiązań. Bibliografia zawiera 120 pozycji o uznanej renomie, właściwie dobranych, z czego 5 prac jest współtworzonych przez Autorkę rozprawy, co świadczy o wielokrotnym uznaniu osiągnięć Autorki poprzez kolegia redakcyjne - publikacje w czasopismach i prezentacje na międzynarodowych konferencjach.

Pewną sugestią związaną z dokonaniem przeglądem literatury byłoby wprowadzenie aspektów krytycznych oceniających skuteczność konkurencyjnych rozwiązań oraz pojęć metrycznych, które wprowadziłyby bezwzględne lub względne miary oceny jakości przywoływanych rozwiązań, np.: złożoność obliczeniowa, złożoność czasowa, złożoność geometryczna lub inne. W przeciwnym razie sformułowania typu „najlepsze wyniki albo z punktu widzenia użytkownika, albo realizmu samego układu” (str. 29), lub też „oddające intencje użytkownika” (str. 28) brzmią mało precyzyjnie.

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

Osiągnięcie głównego celu pracy Autorka poprzedziła krytyczną analizą istniejących rozwiązań i przyjęła następujące cele szczegółowe, w zakresie opracowywanej metody, która powinna:

- umożliwiać generowanie terenu zawierającego złożone zależności pomiędzy jego poszczególnymi fragmentami;
- wykorzystywać schematyczne dane wejściowe;
- umożliwiać generowanie zarówno struktur podziemnych jak i standardowych krajobrazów;

- generować obiekty o możliwie nieskomplikowanej siatce, umożliwiającej zastosowanie np. w grach komputerowych;
- zapewniać możliwość prostej edycji otrzymanych obiektów;
- umożliwiać ewaluację działania algorytmu podczas kolejnych kroków generowania terenu;

Spośród postawionych celów szczegółowych, stanowiących jednocześnie wyzwania w pracy Autorki, najistotniejszymi moim zdaniem są: uniwersalność metody, pozwalająca ją wykorzystać w różnych kontekstach (generowanie podziemi i powierzchni), zastosowanie wejściowych danych schematycznych, niwelujące próg wejścia dla zastosowania metody w środowiskach projektantów i grafików, jak również zapewnienie edycji modeli na różnych etapach tworzenia - różnych poziomach szczegółowości. Pozostałe cele odwołujące się do „złożonych zależności” i „nieskomplikowanej siatki” pozbawione chociaż domyślnych miar jakości, są obiecujące, lecz trudne do weryfikacji.

Koncepcja metody, choć opisana schematycznie w rozdziale 4, jest w pełni zrozumiała dopiero po przeczytaniu rozdziałów 4 i 5. Doktorantka zaproponowała autorską metodę proceduralnego generowania modelu terenu złożoną z trzech etapów:

- generowania dwuwymiarowych map kafelków,
- przenoszenia map kafelków na trójwymiarowy model terenu,
- dodawania szczegółów i elementów charakterystycznych do modelu terenu (etap opcjonalny).

Etapy stworzonego algorytmu pozwalają na stopniowe i kontrolowane określanie charakterystyk poszczególnych modułów (kafelków) terenu, które dzięki zaproponowanym algorytmom można komponować w mapy terenu i następnie przekształcać w trójwymiarowe modele. Autorka nie poprzestała na podstawowych rozwiązaniach, które uzupełniła o możliwość dodawania charakterystycznych, inspirowanych naturą, artefaktów. Metoda jest ciekawa i oryginalna oraz spełnia postawione cele naukowe. Pomimo wysokiej oceny zaproponowanego rozwiązania Autorka rozprawy nie ustrzegła się pewnych nieścisłości i niedopowiedzeń w opisie metody.

W zakresie generowania dwuwymiarowych map kafelków (modułów terenu) Autorka wykorzystuje algorytm *dimanod-square*, który został zaprezentowany schematycznie i trochę niespójnie – różny poziom szczegółowości opisu w rozdziałach 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3. O ile w przypadku generowania map terenu zewnętrznego łatwo można wydedukować szczegóły algorytmu, o tyle generowanie podziemi byłoby bardziej czytelne gdyby opisy zostały uzupełnione schematycznymi rysunkami. Przykładowo kwestia „przestrzeni, które jednak nie zawsze są ze sobą połączone” (str. 54) mogłaby zostać zobrazowana.

Nie wszystkie opisy są spójne pod względem nomenklatury. Przykładowo nie zdefiniowano pojęcia „regionu” (str. 52) i „komórki” (str. 53) w kontekście używanych powszechnie pojęć „mapa” i „kafelki”, jak również tajemnicze pozostają określenia „dużych przestrzeni” i „małych przestrzeni” (str. 53) warunkujących liczbę rozszerzeń L-systemu, chociaż samo zastosowanie L-systemów do generowania układu jaskiń daje interesujące rezultaty i jawnie przyczynia się do spełnienia wymagań postawionych w celu pracy.

Na etapie opisu metody nie zdefiniowano „procedury łączącej wszystkie przestrzenie w kafelku” (str. 54). Uważam, że przynajmniej jeden akapit powinien zostać poświęcony wprowadzeniu pojęcia „automatu komórkowego”, który jedynie przewija się w treści pracy (np. podpis pod rysunkiem 5.1), ale nigdzie nie został jawnie zdefiniowany. Podobnie pracy nie zaszkodziłoby jawne wprowadzenie (nie tylko w podpisach pod rysunkami) pełnego opisu stosowanych L-systemów, włącznie z regułami produkcji. Szczególnie mało czytelny pozostaje pierwszy akapit tekstu ze strony 56, a wzór 5.1.2 prawdopodobnie powinien stosować symbol części całkowitej z wyrażenia umieszczonego po prawej stronie równania. W zakresie generowania map podziemi (roz. 5.1.3) nie sprecyzowano jawnie reguł tworzenia „map odpowiadających wielkością ustalonomu rozmiarowi kafelka” (str. 55).

Dyskusyjne pozostają również niektóre próby oceny generowanych światów. Sformułowanie jakoby „uzyskujemy układ korytarzy ... których układ jest interesujący z punktu widzenia potencjalnego gracza” (str. 60) mogłoby zostać poparte dodatkową analizą, gdyż jak wiadomo perspektywa gracza w środowisku 3D różni się znacznie od perspektywy globalnego układu mapy poziomej (rys. 5.7).

Etap metody dedykowany generowaniu trójwymiarowego modelu terenu jest opisany systematycznie i poparty został odpowiednimi algorytmami. Doprecyzowania formalnego może wymagać jedynie kwestia „łączenia i wygładzania kafelków” (str. 61), które zgodnie z deklaracją mogą znajdować się na różnych wysokościach, a sam proces przemieszczania wierzchołków, w zależności od układu wierzchołków sąsiednich kafelków nie jest jednoznaczny, szczególnie, że jak pisze Autorka na stronie 65 „L-systemy podczas generowania kształtu jaskini, potrafią wyprodukować dosyć ostre skoki wysokości”.

Generowanie podziemi zaproponowaną przez Autorkę metodą zostało przedstawione czytelnie i systematycznie. Podejście to różni się wprawdzie (inne etapy algorytmu) od sposobu generowania jaskiń i powierzchni terenu, ale zachowuje w dużej mierze spójność logiczną z poprzednimi podejściami.

Weryfikacja zaproponowanej metody proceduralnego generowania terenów naziemnych i podziemnych została przeprowadzona w rozdziale 6 dysertacji. Autorka skoncentrowała się na kwestiach wydajnościowych, mianowicie pomiarze czasu jaki jest potrzebny na wygenerowanie trójwymiarowego modelu terenu o różnej liczbie kafelków i przy różnych jego rozmiarach. W wypadku jaskiń dokonana została parametryzacja długości reguł L-systemu względem wizualnej jakości generowanych map. Szkoda, że w opisie metody nie została doprecyzowana jako parametr metody „wartość progów, przy którym stan pojedynczej komórki zostaje przełączony”, co zapewne miałoby miejsce, gdyby w pracy znalazł się szczegółowy opis automatu komórkowego, z którego korzystała Autorka. Deklarowane przez Autorkę „przedziały parametrów generujących najlepsze wyniki, zarówno jeśli chodzi o wygląd samych obiektów, jak również okres oczekiwania na końcowy wynik” (str. 75) nie zostały jawnie zaproponowane i przedyskutowane.

Bardzo cenny jest rozdział 6.2, który obrazuje najciekawsze przykłady zastosowania opracowanej metody proceduralnego generowania terenu. Inspirujące i dokumentujące dokonania Autorki jest zestawienie funkcjonalności opracowanej metody względem metod referencyjnych (tabela 8). Zestawienie jest przekonujące i konstruktywne, chociaż kryteria „ograniczenia skomplikowania siatki” i „realistycznych wyników” pozostawiają szerokie pole do interpretacji. Na plus tworzonej metody należy również zaliczyć wyniki ewaluacji (ankieta) przeprowadzonej wśród pracowników firmy Cherrypick Games, które demonstrują wysoką akceptowalność i użyteczność opracowanej metody wśród przedstawicieli branży gier komputerowych.

Wśród uwag edytorsko-formalnych, w ramach rozdziału 6, zastanawia rozbieżność w czasach generowania terenu przedstawionych w tabeli 2 oraz rzekomo odpowiadającym im wykresie z rysunku 6.1. Podobnie nie została chyba w pracy doprecyzowana „długość reguł stosowanych w L-systemach ... od rozmiaru kafelka,” (str. 72). W większości tabel z rozdziału 6 nie podano jednostek w jakich był mierzony czas generacji terenu.

Reasumując praca została zrealizowana według uznanej metodyki badawczej, przy właściwie przyjętych założeniach i bezsprzecznie główny cel pracy badawczej został osiągnięty.

4. 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? Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Wgłębiając się w poszczególne etapy metody proceduralnego generowania terenów łatwo zauważyć, że Autorka rozprawy zaproponowała szereg cennych i wartościowych rozwiązań. W mojej ocenie na główne dokonanie rozprawy doktorskiej składają się:

- opracowanie metody proceduralnego generowania terenu na podstawie uproszczonych danych wejściowych;
- zachowanie spójności metody przy różnorodności jej zastosowań: generowanie przestrzeni otwartych i dwóch rodzajów terenów podziemnych;
- zapewnienie możliwości prostej edycji tworzonego terenu na różnych poziomach szczegółowości, odpowiadających różnym etapom jego tworzenia;

Istotnym osiągnięciem są również przeprowadzone badania zmierzające do optymalizacji zaproponowanych rozwiązań oraz dążenie do poprawy ich użyteczności wśród przedstawicieli branży gier komputerowych.

Metoda zaproponowana przez Autorkę może mieć istotne znaczenie praktyczne. Autorka rozprawy wykazała, że zrealizowany system generowania terenu spotkał się z pozytywnym odbiorem przedstawicieli branży oraz zrealizowała szereg eksperymentów, których celem było osiągnięcie wizualnej atrakcyjności uzyskanych modeli terenów. Praca stanowi zatem istotny wkład w dziedzinę nauk technicznych, gdyż rozwija stan wiedzy w zakresie proceduralnych metod generowania treści i przyczynia się do zastosowań tych metod w przemyśle.

Osiągnięcia Autorki dysertacji mogą przyczynić się do usprawnienia procesu automatycznego generowania cyfrowych modeli geometrycznych na potrzeby wizualizacji komputerowych, czy tworzenia interaktywnych światów o charakterze rozrywkowym. Systemy te z pewnością znajdują zastosowanie w przemyśle rozrywkowym (gry komputerowe, systemy wirtualnej rzeczywistości), a przy dalszym rozbudowywaniu i kontroli reguł generowania treści możliwe jest również ich wykorzystanie w systemach wizualizacji geodezyjnej, czy architektonicznej.

5. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady? Czy Autorka wykazała umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Do uwag, niepodważających mojej pozytywnej opinii o całości rozprawy, oprócz wątpliwości natury dyskusyjnej, umieszczonych we wcześniejszych punktach recenzji, chciałbym zaliczyć deficyty w formalnym opisie metody, która byłaby bardziej precyzyjna i jednoznaczna, gdyby szereg kryteriów i etapów metody, oprócz schematycznych pseudokodów algorytmów, opatrzone były równaniami i warunkami zapisanymi matematycznie. Kolejną kwestią, nad którą warto byłoby popracować przy kontynuacji badań w podjętym obszarze nauki, jest określenie kryteriów ewaluacji jakości opracowanych rozwiązań. Mając skądinąd świadomość złożoności tego zagadnienia, próba ich zdefiniowania byłaby niezmiernie przydatna dla innych naukowców prowadzących badania w rzeczonym dziedzinie. Powyższe uwagi wynikają z treści rozprawy, która miejscami otwiera pole do wątpliwości i szerokiej interpretacji, np.:

- stwierdzenie „generowanie dwuwymiarowych map kafelków ma za zadanie nadać odpowiedni wygląd terenowi w danym kafelku” (str. 45) wydaje się wewnątrznie sprzeczne;
- sformułowanie „skały i stosy kamieni w kafelkach zawierających góry” (str. 45) byłoby bardziej czytelne, gdyby zostało poprzedzone nieco bardziej szczegółowym opisem metody;
- sformułowanie użyte na stronie 46 jakoby “w grach komputerowych istotne jest, by wygenerowana siatka była możliwie prosta” upraszcza dość mocno złożoność zjawiska dynamicznego uszczegóławiania siatek, realizowanych przykładowo z użyciem technologii teselacji, dynamicznego zarządzania poziomem szczegółowości, czy zarządzania szczegółowością siatek wielokątnych na podstawie tekstur;
- zdanie ze strony 46 „W niniejszej pracy rozważane były kafelki o wielkości maksymalnej 100x100 pikseli (mapy 2D) lub wierzchołków (obiekty 3D), co daje maksymalną liczbę 10000 wierzchołków w końcowym modelu” sprowadza rozumowanie do reprezentacji końcowego modelu terenu za pomocą jednego kafelka, podczas gdy pozostałe fragmenty pracy sugerują, że końcowy model

powstaje dopiero na podstawie transformacji kompozycji (map) kafelków na trójwymiarowy model;

- sposób reprezentacji różnicy poziomów (str. 48) w ramach projektowanego terenu podziemi niezbyt precyzyjnie określa maksymalną i minimalną wartość wysokości, kodowaną za pomocą pojedynczej wartości (jasności) piksela mapy wysokości;
- w przypadku podziemi, sposób łączenia różnych ich poziomów nie implikuje bezpośrednio charakterystyki przejść w ramach siatek wielokątnych, co daje pewną swobodę w działaniu algorytmu, ale również stanowi obszar potencjalnego pojawiania się nieciągłości/nieprawidłowości siatek, który nie został w pracy zaadresowany;
- ogólne i niemierzalne kryteria jakości wygenerowanych obiektów nieoparte zostały twardymi miarami, bądź metodologią oceny jakości, np.: „aby pożądaný kształt obiektu został oddany najlepiej jak to możliwe” (str. 46), „elementy wyglądają realistycznie” (str. 75);

W zakresie edycji dysertacji należy podkreślić, że praca jest zredagowana starannie, choć Autorka nie ustrzegła się drobnych niedociągnięć. Przykładem mogą być np.:

- brak rozdziału 7 w dysertacji;
- niedokończone zdanie na str. 53 „ilość sąsiadów zaklasyfikowanych jako komórki jaskiń jest większa bądź równa”;
- sformułowanie „... rozszerzanie wybranych punktów wzdłuż istniejących przejść” (str. 58) jest niejednoznaczne;
- użycie słowa „ilość” zamiast „liczba” w przypadku rzeczowników policzalnych, np.: „ilość wierzchołków” (str. 47), „ilość ... rozszerzeń” (str. 53), „ilość sąsiadów” (str. 53), „ilość ... kafelków” (str. 71), „ilość iteracji” (str. 74);
- sformułowanie „wygenerowany obiekt umożliwił interakcję w czasie bliskim rzeczywistemu” (str. 46) nie jest zrozumiałe;

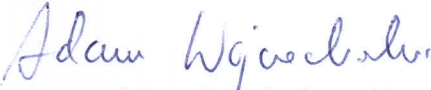
Reasumując praca jest przygotowana starannie pod względem edycyjnym, posiada spis tabel, rysunków, algorytmów oraz spis literatury. Do pracy załączono, cenne z punktu widzenia funkcjonalności, dodatki demonstrujące opracowane na potrzeby pracy środowisko aplikacyjne. W pracy można spotkać bardzo nieliczne błędy literowe i interpunkcyjne. Moim zdaniem brakuje w pracy spisu nazewnictwa oraz ewentualnie oznaczeń i symboli, który pomógłby Autorce zachować większą spójność i uporządkować zapisy w treści pracy.

6. Wniosek końcowy

Dobrze oceniam poziom merytoryczny rozprawy. Autorka wykazała się obszerną wiedzą w dziedzinie proceduralnego generowania obiektów geometrycznych pod reżimem różnych założeń funkcjonalnych i użytkowych. Opracowała oryginalną metodę oraz rozwiązania w zakresie generowania terenów o różnym charakterze: powierzchnie, jaskinie, lochy, w tym rozwiązania problemu łączenia siatek geometrycznych, dodawania artefaktów inspirowanych rzeczywistymi terenami oraz optymalizacji wybranych parametrów metody.

Stwierdzam, że Autorka wniosła wkład do dyscypliny naukowej informatyka w zakresie grafiki komputerowej.

Uważam, że przedłożona do recenzji rozprawa Pani mgr inż. Izabelli Antoniuk **spełnia** z wyraźnym nadmiarem, w zakresie potencjału i uniwersalności zaproponowanej metody, wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z 14 marca 2003 roku, Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595 (z późniejszymi zmianami) odnośnie stopnia doktora nauk technicznych i wnoszę o dopuszczenie Autorki do dalszych etapów postępowania.


Adam Wojciechowski