



## PROCEDURALNO MODELOVANJE EKSTERIJERA KORIŠĆENJEM HOUDINI-A PROCEDURAL MODELING OF EXTERIOR BY USE OF HOUDINI

Filip Mirčeski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

### Oblast – RAČUNARSKA GRAFIKA

**Kratak sadržaj** – *Proceduralno modelovanje bavi se (polu) automatskim generisanjem objekata (modela, teksture) pomoću programa ili procedura. Pored mnogih prednosti, kompresija podataka i potencijala da generiše širok spektar detaljnih sadržaja uz smanjeno ljudsko posredovanje, čini proceduralno modelovanje atraktivnim za stvaranje virtuelnih okruženja, koja se sve više koriste u filmovima, igricama i simulacijama. Proceduralne metode predstavljaju jednu od najmoćnijih tehnika za stvaranje velikog broja kompjuterskih modela. Međutim, njihovu masovnu primenljivost ometa nedostatak kontrole i mala predvidljivost rezultata. U klasičnom pipeline-u proceduralnog modelovanja, korisnik obično definiše skup pravila koje izvršava proceduralni sistem i ispitivanjem rezultata pokušava da zaključi šta bi trebalo promeniti u definiciji sistema kako bi se postigao željeni izlaz.*

**Gljučne reči:** *Proceduralno modelovanje, algoritam, L-sistemi, fraktali*

**Abstract** – *Procedural modeling deals with (semi)automatic content generation by means of a program or procedure. Among other advantages, its data compression and the potential to generate a large variety of detailed content with reduced human intervention, have made procedural modeling attractive for creating virtual environments increasingly used in movies, games, and simulations. Procedural methods present one of the most powerful techniques for authoring a vast variety of computer graphics models. However, their massive applicability is hindered by the lack of control and a low predictability of the results. In the classical procedural modeling pipeline, the user usually defines a set of rules, executes the procedural system, and by examining the results attempts to infer what should be changed in the system definition in order to achieve the desired output.*

**Keywords:** *Procedural modeling, algorithm, L-system, fractal*

### 1. UVOD

Proceduralno modelovanje odnosi se na kreiranje modela koji se generišu algoritamski. Objekti se razvijaju na osnovu definisanih parametarskih pravila koje zadaje korisnik. Promenom ulaznih vrednosti, dobija se veliki broj varijanti modela.

### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Ratko Obradović, red. prof.

Testiranje forme, geometrije i jednostavnost promene u zavisnosti od malog broja parametara čine proceduralno modelovanje vrlo popularnim u savremenoj kompjuterskoj grafici.

Stvaranje virtuelnog grada za potrebe računarskih igara, filmova i urbanog planiranja predstavlja vrlo zahtevan proces jer je potrebno stvaranje brojnih 3D modela na koje se troši mnogo vremena.

Zbog svoje prednosti u kreiranju mnogo varijacija modela za kratko vreme, proceduralno modelovanje predstavlja odličnu tehniku za prevazilaženje problema kreiranja velikih scena sa mnogo modela.

### 2. ISTORIJSKI RAZVOJ PROCEDURALNOG MODELOVANJA

Proceduralno modelovanje, teksturisavanje i senčenje su sveprisutni, vitalni alati za stvaranje realističnih grafičkih i animacijskih aplikacija u primeni kako kod filmova, tako za posebne efekte kod računarskih igara.

Proceduralne tehnike su prvobitno uvedene za proizvodnju tekstura. Uvođenjem trodimenzionalnih tehnika teksturisavanja (*solid texturing*) od strane Ken Perlina (*Ken Perlin*), Darvin Pičija (*Darwyn Peachey*) i Džofri Gardnera (*Geoffrey Gardner*) 1985. godine, došlo je do široke upotrebe proceduralnih tehnika.

Mnogi programeri i istraživači razvili su sopstvene postupke za simulaciju prirodnih materijala i prirodnih fenomena. Međutim, nedostajalo je jasno razumevanje dizajna proceduralnih tehnika i primitivnih funkcija koje su korišćene za stvaranje tih neverovatnih i realnih slika. Od sredine 1980-ih, upotreba proceduralnih tehnika naglo je narasla i one se sada mogu koristiti za stvarno definisanje geometrije objekata kao što su voda, vatra, gasovi, planete.

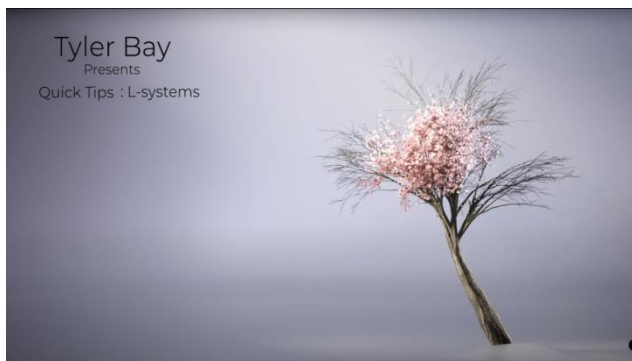
Upotreba proceduralnih tehnika nije ograničena na statične slike, čak naprotiv, uspešno se koriste za animaciju i simulaciju prirodnih fenomena kao što su magla, vatra, voda i atmosfere promene. Pojavom jeftinih programabilnih grafičkih procesora, proceduralne tehnike su postale vitalne za stvaranje visokokvalitetnih efekata u interaktivnoj zabavi i računarskim igrama.

### 3. PROCEDURALNO MODELOVANJE

Reč proceduralno u računarskoj grafici odnosi se na bilo šta proizvedeno algoritamski, a ne ručno.

Kod proceduralnog modelovanja, scene ili predmeti se kreiraju na osnovu pravila i parametara koji se mogu definisati od strane korisnika. Podrazumeva rešavanje kompleksnih geometrijskih problema, kao i pravljenje definicija koje će skratiti vreme rada kada su u pitanju repetitivni postupci. Proceduralno modelovanje predstav-

lja jednostavan pristup programiranju na vizuelan način prilagođen inženjerima i dizajnerima. Sastoji se od ulaznih podataka, definicije i rezultata. Ulazni podaci, brojevi, tekst,... prolaze kroz definiciju i kao rezultat njihove obrade dobija se model. Primer modela koji je kreiran uz pomoć proceduralnog modelovanja prikazan je na slici 1. Promenom ulaznih vrednosti može se dobiti veliki broj, ako ne i beskonačno, varijanti modela. Testiranje forme, geometrije i jednostavnost promene u funkciji od malog broja parametara čine proceduralno modelovanje čestim sastavnim delom savremenog kreiranja scena [3].



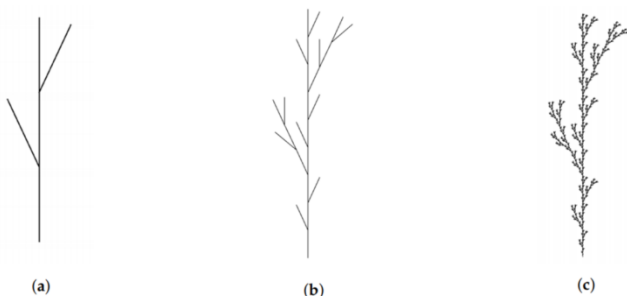
Slika 1: Proceduralno modelovano drvo uz pomoć L-sistema

#### 4. TEHNIKE PROCEDURALNOG MODELOVANJA

Tehnike proceduralnog modelovanja baziraju se na kreiranju scena uz pomoć fraktala, generativnog modelovanja i L-sistema. Rezultati su poznati kao proceduralni sadržaj. On, kao takav, može biti ubačen u filmove, može se koristiti u igricama ili prikazivati preko interneta. Moguće je i ručno uređivanje sadržaja.

##### 4.1. L-sistemi

Najpopularnija metoda za opisivanje proceduralnih modela biljaka i organskih oblika je L - sistem, kao na slici 2. On predstavlja skup pravila koja obuhvataju različite samoslične aspekte biološkog oblika i razvoja. L-sistem je gramatika sa simbolima kao što su "F", "+" i "-". Razvoj modela L-sistema obuhvaćen je nizom pravila koja opisuju zamenu neterminalnog simbola nizom nula ili više simbola [2].

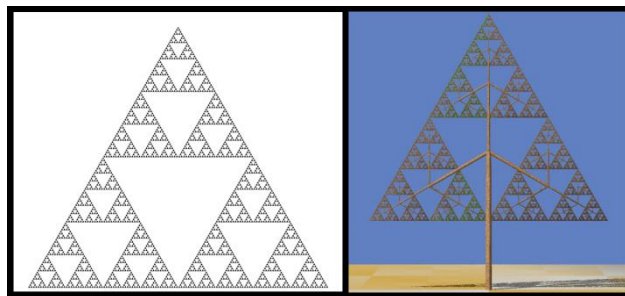


Slika 2: Jednostavno drvo generisano uz pomoć L-Sistema. (a) jedna iteracija; (b) dve iteracije; (c) pet iteracija [1]

##### 4.2. Fraktali

Jedna od metoda u proceduralnom modelovanju jeste upotreba fraktala (fraktalna geometrija). Fraktali su slo-

žena geometrijska struktura koja se može razložiti na manje delove tako da svaki od njih predstavlja umanjenu kopiju celine. Fraktali predstavljaju beskonačne šare različitih rezolucija. Ova metoda je korisna u stvaranju modela kao što su biljke, oblaci, obale i pejzaži, kao na slici 3.



Slika 3: Trougao Sjerpinjskog

##### 4.3. Gramatičko modelovanje

Druga metoda u proceduralnom modelovanju jeste generisanje modela zasnovanih na gramatikama. Gramatičko modelovanje definiše pravila koja u više navrata mogu stvoriti finije modele. Struktura podataka ili hijerarhija modela igra važnu ulogu u gramatičkom modelu kako u pogledu efikasnosti programiranja, tako i u dodavanju detalja modelu. Primer gramatičkog modelovanja gredevine prikazan je na slici 4.

U proceduralnom modelovanju model se kreira korišćenjem skupa pravila i za uređivanje modela nije potreban korisnički unos.

To je slično različitim tehnikama za 3D modelovanje koje koriste 3D softveri za upravljanje i skladištenje podataka putem algoritama.



Slika 4: Gramatičko modelovanje građevine [5]

#### 5. PREDNOSTI PROCEDURALNOG MODELOVANJA

Proceduralno modelovanje nudi mnoge prednosti. Jedna od najvažnijih proceduralnih tehnika je apstrakcija. U proceduralnom pristupu, umesto da se eksplicitno specificiraju i sačuvaju svi složeni detalji scene ili niza, treba ih apstrahovati u funkciju ili algoritam (tj. proceduru).

Na ovaj način dobija se ušteda u memoriji, jer detalji više nisu izričito navedeni, već implicitni u proceduri, a vremenski zahtevi za specifikaciju detalja prebacuju se sa programera na kompjuter. Ovo omogućava stvaranje inherentnih modela i tekstura u više rezolucija.

Još jedna od prednosti jeste moć parametarske kontrole kojima se omogućava promena modela u odnosu na parametar (npr. od parametra zavisi da li će model planine biti hrapaviji ili gladi).

Parametarska kontrola, rasterećuje korisnika od kontrole na niskom nivou i od specifikacije detalja. Proceduralni modeli, takođe nude fleksibilnost. Dizajner procedura može obuhvatiti suštinu predmeta, pojave ili kretanja, a da ga ne ograniče složeni zakoni fizike.

Modeli se mogu uređivati bez ikakve vrste destrukcije. Izmene, podešavanja i animacije modela mogu se izvršiti pomoću topološkog uređivanja. Naime, određeni delovi

modela se lako mogu vratiti u prvobitno stanje ili modifikovati bez ikakvog remećenja drugih operacija.

## 6. PRIMENA PROCEDURALNOG MODELOVANJA

### 6.1. Kreiranje pejzaža

Proceduralno kreiranje objekta koji se nalaze u prirodi, poput terena ili biljaka, spada u najistraženija područja u procesu generisanja proceduralnog sadržaja. Teorija i softverski alati postoje već dugi niz godina i dostigli su visok nivo razvijenosti. Primer koji dobro prikazuje pejzaž kreiran proceduralnim modelovanjem u igrici *Far Cry 5*, prikazan je na slici 5.

Gledajući odvojeno biljke, jedan od razloga za veliko interesovanje za njihovu strukturu dolazi iz teorijske biologije. Mađarski istraživači Prusinkievicz (*Prusinkiewicz*) i Lindenmajer (*Lindenmayer*) bili su pioniri u ovom području. 1998. godine predložili su L-sisteme (*Lindermayer Systems*), tj. da se matematičkim metodama opišu strukture biljaka.

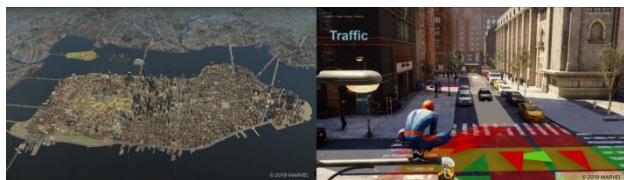


Slika 5: Prikaz proceduralno modelovanog pejzaža iz igrice *Far Cry 5*

### 6.2. Kreiranje putne mreže

Proceduralno modelovanje može se primeniti i na kreiranje saobraćajne infrastrukture, poput one u filmu *Spider-Man: Into the Spider-Verse*, kao na slici 6.

Mogu se kreirati putne mreže, pešačke staze, vazduhoplovni i morski saobraćaj. Najuspešniji algoritam za modelovanje ulica do danas, predstavljaju Parish (*Parish*) i Muller (*Muller*) koji se oslanja na L-sisteme i grananje ulične mreže poput drveta.



Slika 6: Proceduralni modeli u *Spider-Man: Into the Spider-Verse* [4]

### 6.3. Kreiranje građevina

3D modeli zgrada široko se koriste u urbanističkom planiranju, inteligentnom transportu, vojnoj simulaciji i drugim oblastima.

Tradicionalni načini modelovanja uglavnom imaju zajedničke probleme kao što su niska efikasnost, gubitak radne snage i potrošnja vremena. Primer proceduralno modelovane zgrade prikazan je na slici 7.



Slika 7: Proceduralno modelovan model zgrade

Pronalaženje bržeg pristupa za automatsko kreiranje zgrada velikih razmera je veoma istraživana tema. Jedan od pristupa za modelovanje zgrade je *CityEngine* koji je kombinovan sa *ArcGIS* tehnologijom za geografske informacije.

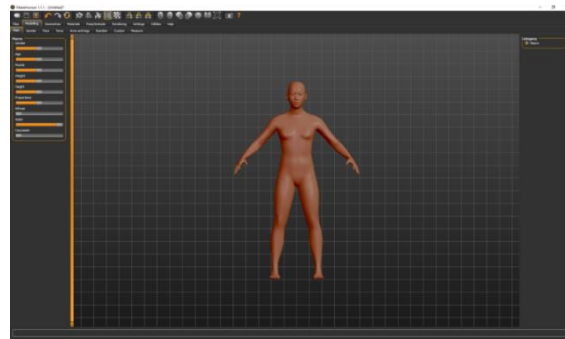
Ovaj pristup kreira opsežne arhitektonske 3D modele sa visokim vizuelnim kvalitetom i geometrijskim detaljima.

### 6.4. Kreiranje živih bića

Generisanje živih bića može se podeliti na dva dela. Sa jedne strane, postoje ljudi koji imaju dve noge i hodaju uspravno. Dok sa druge strane, postoje životinje koje mogu biti kičmenjaci ili beskičmenjaci.

Generisanje fleksibilnog ljudskog modela, za razliku od statičnog, karakterišu neki dodatni koraci, uključujući kreiranje skeleta, proces povezivanja modela sa skeletom i animacija. Proceduralno modelovan karakter prikazan je na slici 8. korišćenjem *MakeHuman* softvera za generisanje humanoidnih karaktera.

Istraživanja o generisanju životinja su malobrojna. Izuzetnu igru *Spore* (*Spore*, 2008) razvio je Maxis (*Maxis Software*), a dizajnirao Vil Vrajt (*Will Wright*), a objavio EA igrice (*EA Games*) 2008. godine, uvodeći igranje koje uključuje razvoj mikroskopskog organizma u visoko inteligentno biće. Prikaz stvorenja iz igrice je na slici 9.



Slika 8: Proceduralno modelovan humanoidni karakter (*MakeHuman*)



Slika 9: Proceduralno modelovanog stvorenja iz igrice *Spore*, 2008

## 7. ZAKLJUČAK

Proceduralno modelovanje predstavlja najbolji način za kreiranje velikih scena (pejzaži, gradovi, saobraćajne mreže...) sa mnogo varijacija. Proceduralno modelovanje nije isplativo za male scene, zbog toga što je potrebno uložiti mnogo više vremena u kreiranju nekog proceduralnog modela, umesto klasičnog (ručno) kreiranja modela. Nedostatak proceduralnog modelovanja je umetničko izražavanje korisnika.

Ovaj tip modelovanja zasniva se na algoritmima koji se svakodnevno razvijaju i poboljšavaju, čime proceduralno modelovanje postaje sve bolje i rasprostranjenije. Proceduralno modelovanje ima široku lepezu primene poput filmova, igrice, arhitekture, infrastrukture...

*Houdini* je najbolji primer softvera koji se zasniva na proceduralnom generisanju modela. *Houdini* je izuzetno kompleksan softver, zbog čega proces učenja predstavlja velik izazov, ali je takođe vrlo organizovan i moćan alat za rad, koji omogućava mnoštvo opcija i mogućnosti.

Da bi se kreirala željena scena, potrebno je prethodno uraditi detaljnu procenu i videti da li je isplativo raditi modele pomoću proceduralnog modelovanja ili klasičnim metodama.

## 8. LITERATURA

[1] Jonas Freiknecht and Wolfgang Effelsberg, A Survey on the Procedural Generation of Virtual Worlds, Multimodal Technologies and Interaction, Mannheim, Germany, 2017

[2] David S. Ebert, Texture and Modeling A Procedural Approach - Third Edition, The Morgan Kaufmann, San Francisko, USA, 2003

[3] Paul Merrell and Dinesh Manocha, Model Synthesis: A General Procedural Modeling Algorithm, University of North Carolina at Chapel Hill, North Carolina, 2011

[4] Houdini, Marvel`s Spider-Man, meet Houdini | David Santiago | GDC 2019, YouTube, [https://www.youtube.com/watch?v=D0ERCi9mMZg&ab\\_channel=Blender](https://www.youtube.com/watch?v=D0ERCi9mMZg&ab_channel=Blender), [Pristupljeno, Avgust 2020]

[5] City Engine, Procedural Modeling, Penn State, College of Earth and Mineral Sciences, <https://www.e-education.psu.edu/geogvr/node/558>, [Pristupljeno: Avgust, 2020]

### Kratka biografija:



**Filip Mirčeski** rođen je u Prilepu 1995. godine. Osnovne studije završio je 2018. godine na Fakultetu tehničkih nauka, oblasti Računarska grafika. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Računarske grafike odbranio je 2020. godine. Trenutno je zaposlen kao saradnik u nastavi na istom Fakultetu, na katedri za Animaciju u inženjerstvu.  
kontakt: mirceski.filip95@gmail.com