



## PROCEDURALNA GENERACIJA U PROJEKTOVANJU ENTERIJERA

### PROCEDURAL GENERATION IN INTERIOR DESIGN

Nikola Kustudić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – ARHITEKTURA

**Kratak sadržaj** – *Različiti tipovi proceduralne generacije koji se primenjuju u kompjuterskim i društvenim igrama se analiziraju kako bi se došlo do algoritma koji raspoređuje elemente enterijera u prazan prostor stambene jedinice. Analizom aktivnosti koje se obavljaju unutar apartmana se dolazi do numeričkih podataka koji se koriste kao ulazni parametri. Iz rezultujućeg algoritma je formiran kod koji je opisan u nastavku rada. Na kraju rada su predstavljena rešenja dobijena primenom tog koda.*

**Ključne reči:** *Proceduralna generacija, algoritam, projektovanje enterijera*

**Abstract** – *Various types of procedural generation used in video and board games are analyzed in order to formulate an algorithm that will generate selected elements of an interior into an empty space of an apartment. Numerical data that will be used as the algorithms input is defined through analyzing activities that occur in the apartment. This is followed by an elaboration of the code formed from the resulting algorithm. The paper is concluded with examples of interiors generated through use of the code.*

**Keywords:** *Procedural generation, algorithm, interior design*

#### 1. UVOD

Proceduralna generacija je algoritamsko stvaranje sadržaja video igre sa ograničenim ili indirektnim korisničkim unosom podataka. Drugim rečima, proceduralna generacija se odnosi na kompjuterski softver koji sadržaj igre može stvoriti sam, kao i zajedno sa jednim ili više ljudskih igrača ili dizajnera [6]. Proceduralna generacija je u računarstvu nastala 1970-ih godina, kao rešenje za izuzetno ograničavajuće mogućnosti memorije kompjutera.

U godinama koje su najpoznatije po igrama poput „Asteroida“ i „Space Invaders“-a, neki razvojni timovi su sebi zadali dosta kompleksniji zadatak. „RPG“ (eng. Role-playing game; igra uloga) je vrsta društvene igre u kojima učesnici preuzimaju uloge likova u priči koju vodi „game master“, iliti gospodar igre.

#### NAPOMENA:

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Jelena Atanacković Jeličić.**

Taj gospodar igre ostalim igračima detaljno prezentuje fantastični svet u kojem se njegova priča odvija, situacije u kojima se njihovi likovi nalaze, ostavljajući na igračima odluke koje određuju dalji sled događaja.

Ideja je bila da kompjuter bude taj koji vodi igru, da tekstualno i vizuelno predstavlja priču koja se dešava, bića koja igrač susreće, blago koje nalazi.

Ovo je zahtevalo ogromnu količinu sadržaja, što nije bilo moguće predefinisati sa tadašnjom kompjuterskom memorijom. Ovaj problem je rešen tako što se sav sadržaj stvarao tokom same igre. Svi elementi tih svetova su definisani kroz nizove numeričkih vrednosti čijim je menjanjem dobijan veoma velik broj drugačijih elemenata i njihovih spojeva. Na ovaj način je kompjuter uspešno preuzeo ulogu naratora. Vodeći igrača kroz generisani svet, uvek mu zadavajući drugačije zadatke, koji su dobijali razne forme tokom procesa igranja, prenet je doživljaj poput onog koji se dobija čitanjem dela epske fantastike.

Proceduralna generacija nije ograničena samo za stvaranje fantazije. Njeni principi se mogu koristiti i za dobijanje praktičnih rešenja.

U ovom radu će se ti principi primeniti u projektovanju enterijera apartmana. Kroz pregled različitih tipova proceduralne generacije analiziraju se načini na koji funkcionišu, rezultati koji se njihovom primenom dobijaju, kao i njihova ograničenja.

Zatim se kroz analizu apartmana i procesa koji se u njemu obavljaju, dobijaju numerički podaci o odnosima između elemenata enterijera.

U poslednjem delu rada je predstavljen algoritam koji je napravljen po modelu nastalog prethodnim istraživanjima. Numerički podaci o odnosima elemenata za se koriste kao unosni podaci algoritma, a kao rezultat se dobijaju postavljeni elementi enterijera u prazan prostor apartmana, dajući funkcionalno rešenje.

#### 2. TIPOVI PROCEDURALNE GENERACIJE

U nekim poljima postoje napisani okviri koji opisuju principe funkcionisanja pri stvaranju. Muzička teorija predložila je dosta pravila sastava, na primer, za džez improvizaciju, Bahov stil harmonije ili pop pesme. Teorija umetnosti ima zlatni presek, harmonične boje i kompoziciju.

Kejt Kompton, članica razvojnog tima igara poput „Spore“ (Electronic Arts, 2008) i „Sim City“ (Maxis, 1989), koje dosta svojih karakterističnih odlika postižu putem proceduralne generacije, objašnjava proces kojim se dolazi do okvira za ovakav vid stvaralaštva:

„Korisno je pri pravljenju generatora sestiti s nekim kome je struka praviti vrstu artefakata koje želite generisati, kako bi vas proveli kroz proces stvaranja nečega. Kakva pitanja postavljaju sebi pri tom procesu? Kako donose odluke? Kako valorizuju izbore? Kako opisuju različite probleme koje treba imati na umu? Kako nazivaju sve delove onoga što rade i sve odnose između njih?“ (Kompton, 2016)

Nažalost, znajući kako će čovek napraviti nešto nije isto što i sposobnost podučavanja računara kako to učiniti. Ljudi su dobri u proceni, nagađanju i sintetiziranju puno znanja iz prošlih situacija. Računari znaju samo ono što im kažete, a mnogi problemi zahtevaju više implicitno znanje nego što mislimo. Kompjuteri su zato dobri u izvođenju brojnih računa i isprobavanju brojnih mogućnosti. Tako metode koje se koriste moraju pružiti način da računar reši probleme poput čoveka, ili barem na način da odražava neke od ljudskih sposobnosti. Kako tvrdi Kejt Kompton, metode koje su posebno dobre za pravljenje generatora (generativne metode) daju računaru neke od sledećih veština: Enkapsuliranje znanja o mogućnostima, pravljenje neke structure, kodiranje uslovnih pravila za opcije, stvaranje varijabilnosti u strukturi, mogućnost da postavi sebi pitanje o svojim ograničenjima (da li je problem rešen?) U nastavku poglavlja će se analizirati različiti tipovi proceduralne generacije vodeći se sa ovih pet principa, sagledavajući načine kojima je definisan stvoreni prostor, njegovi činiooci, odnosi koji te činioce međusobno povezuju, kao i njihovu vezu sa prostorom.

### 2.1 Distribucija

Ovo je najjednostavnija vrsta generativne metode. Na početku se kreće od interaktivnih elemenata igre i prostora i/ili vremena u kojima te elemente treba rasporediti. Metode distribucije obično nemaju puno ukupne strukture, ali često su sofisticirane s mogućnošću odabira svake opcije. Nekad se pri distribuciji koristi nasumičnost, sa ili bez dodavanja dodatnih parametara, ili korišćenjem opcija nekim redosledom, izbacujući ih iz optičaja kada se iskoriste, time sprečavajući repetitivnost. Uslovna pravila takođe mogu biti vrlo složena, ali je u praksi teško implementirati određivanje proizvoljnih uslova. Većina sistema imaju pažljivo odabrane parametre koji se mogu postaviti za svaku opciju, a uslovne funkcije mogu samo uporediti fiksne parametre kako bi se odabrali.

### 2.2 Parametrijska metoda

U igri „No Man's Sky“ (Hello Games, 2016) ovakvom metodom je postignut velik spektar različitih vrsta životinja iz nekoliko detaljno razrađenih početnih modela. Svaki od tih početnih modela je podeljen na segmente, koji se putem algoritma na definisane načine mogu spajati i utapati jedne u druge. Takva varijabilnost je samo uz fiksne jednodimenzionalne numeričke puteve, a pritom uopšte nema varijabilnosti strukture.

Može se stvoriti nešto "novo", ali ne i nešto iznenađujuće. Sofisticirani oblik parametrijskih metoda koristi druge oblike unosa podataka, a može generisati nove artefakte na temelju ne samo numeričkih, već i tačaka utemeljenih na putu i na temelju grafova.

### 2.3 „Tile-based“ metoda

„Tile-based“ pristup u prevodu znači „zasnovan na pločicama“. Polazna tačka ovakvog načina je segmentacija prostora na modularnu veličinu, i pravljenje niza različitih ručno izrađenih rešenja koja mogu ispuniti te segmente. Stvoreni prostor je samo različito postavljen skup prethodno izrađenih rešenja. Poznati primeri su društvene igre poput „Settlers of Catan“ (Kosmos, 1995) i „Betrayal at the House on the Hill“ (Avalon Hill, 2004). Ostrvo „Catan-a“, kao i vila u drugoj igri, su izgrađeni iz istih pločica svaki put, ali različito postavljenih, što u potpunosti menja tok igre. Neki od najstarijih oblika generativnog sadržaja su „Musikalisches Würfelspiel“ (sa nemačkog prevedeno kao „muzička igra sa kockicama“) iz 18og veka. Izum same igre se pripisuje Mocartu, iako ta činjenica nije potvrđena. Muzičke particije su numerisane, a svirane redosledom brojeva koji su dobijeni bacanjem kockica, stvarajući igriv valcer.

### 2.4 Gramatika

Gramatika je računarsko-naučni način kojim se govori da su velike složene stvari izrađene od drugih stvari, a te druge stvari mogu same biti napravljene od još jednostavnijih stvari. „Nested“ (Orteil, 2011) je primer ovoga. Svemir je napravljen od galaksija napravljenih od planeta koje su napravljene od kontinenta punih ljudi koji su puni misli i snova, sećanja i atoma. Svaki element ima raspodelu podelemenata od kojih bi mogao biti sastavljen. Nedostatak gramatike je to što nema načina rešavanja ograničena, osim ako su ograničenja implicitno kodirana u samoj gramatici (naprimer, ako se krevet može nalaziti samo u kući, samo kuća može imati krevet kao podelemenat). Teško je samo gramatičkim jezicima kodirati visok nivo odnosa između različitih stvari generisanih na različitim mestima u gramatici.

### 2.5 „Constraint solvers“

„Constraint solvers“ (rešavači ograničenja) se u proceduralnoj generaciji koriste u slučaju puno teških ograničenja, puno fleksibilne i složene strukture, a da se pritom ne zna struktura koja će sigurno rešiti ograničenja.

### 2.6 Agenti i simulacije

Postoje algoritmi koji rešavaju probleme temeljene na kolonijalnom ponašanju mrava, ili društvenim komunikacijama svitaca. Genetski algoritam je pretraživačka heuristika koja oponaša proces prirodne selekcije. Ova heuristika (takođe ponekad nazivana metaheuristika) se rutinski koristi da generiše korisna rešenja za optimizaciju i probleme pretrage. Oni generišu rešenja za optimizaciju problema korišćenjem tehnika insprisanih prirodnom evolucijom, kao što su nasleđivanje, mutacija, selekcija... Zahtevaju tri elementa: element koji se može izmeniti ('genotip'), element koji se analizira ('fenotip') i način prevođenja prvog u drugi. Čelijski automat se sastoji od pravilne mreže ćelija, od kojih je svaka u jednom od stanja čiji je broj ograničen poput uključeno (1) i isključeno (0). Mreža može biti u bilo kojoj dimenziji, ali broj takvih dimenzija takođe nije beskonačan. Za svaku ćeliju, niz ćelija nazvanih njezinim susedstvom definiše se u odnosu na navedenu ćeliju. Početno stanje određuje se odabirom statusa za svaku od ćelija. Nova generacija se

stvara prema nekom fiksnom tj. tačno određenom i nepromenljivom pravilu (uglavnom matematička funkcija) koje određuje novo stanje svake od ćelija zavisno od trenutnog stanja ćelije i stanja ćelija u njenom susedstvu.

### 3. „DWARF FORTRESS“ KAO PRIMER MOGUĆNOSTI PROCEDURALNE GENERACIJE

Da bi se pojasnilo do kog nivoa može ići proceduralna generacija putem kombinacije različitih metoda, kakve sve sklopove može stvarati, i kakve detalje može sadržati, analiziraće se jedna od kanonskih igara svog žanra, „Dwarf fortress“. Prvi korak u igri je stvaranje sveta u kojem će se igra odvijati. Igrač može prilagoditi određene parametre koji regulišu veličinu, „divljaštvo“, mineralne pojave i trajanje istorije. Na mapi se prikazuju simboli koji predstavljaju ceste, brda, gradove i gradove različitih civilizacija i menja se tokom generacije. Proces uključuje proceduralno generisanje osnovne elemente (putem perlin noise-a) kao što su visine terena, padavine, mineralnu raspodelu, drenažu tla i temperature. Na osnovu tih početnih parametara se ispunjavanjem uslova teren dalje razvija. Područja se nakon toga kategorišu u biome. Biomi imaju vlastite vrste biljnih i životinjskih populacija. Nakon generacije svet je naseljen bićima (agentima) i njegova se istorija razvija za količinu godina u prethodno odabranom istorijskom parametru.

### 4. DEFINISANJE STRUKTURE

Kako je cilj ovog rada postaviti elemente koji su standardizovanih dimenzija i osobina u relativno mali predefinisani prostor, korišće se pristup nasličnji onom razmatranog u poglavlju 2.3; prostor će se segmentisati na osnovu dimenzija najmanjeg činioca, a njegov oblik će biti generisan na osnovu međusobnih odnosa tih činilaca. Kako bi se došlo do algoritma za proceduralnu generaciju koji bi raspoređivao elemente enterijera, stvarajući ih u prostoru na odgovarajući način, potrebno je precizno definisati željene osobine tih objekata. Određivanje potrebne pozicije određenog elementa treba svesti na numerički problem, kako bi se od ponuđenih pozicija tačno mogla odrediti ona koja najbolje ispunjava uslove. Analizom funkcija koje su sadržane u apartmanu odrediće se odnosi između pojedinačnih elemenata na takav način da se dobiju numerički podaci, kako bi se oni mogli porediti.

### 5. HRONOLOŠKA ANALIZA AKTIVNOSTI

Aktivnosti tokom boravka su podeljene na one koje se obavljaju unutar apartmana i na one koje se dešavaju van njega. Svako obavljanje (ili ne obavljanje) jedne aktivnosti je u uzročno-posledičnoj vezi sa ostalima, u zavisnosti od samog čina, kao i doba dana u kojem se dešava.

Kao aktivnosti unutar apartmana se u nastavku rada smatraju odmor (podrazumeva se popodnevni odmor kao i noćni, budući da se moraju obavljati u istom delu prostora zbog njegovih dimenzija) i obedovanje, to jest korišćenje kuhinje i trpezarije za jelo i pripremu hrane (korišćenje kupatila se ne uzima u obzir kao aktivnost, već kao posledica pri obavljanju drugih radnji (pri povratku sa plaže, pred spavanje...)). Aktivnosti van apartmana su:

odlazak na plažu, odlazak u prodavnicu, kafić, restoran, klub, celodnevni izlet. Kako bi se kvantifikovala učestalost obavljanja određenih funkcija u toku dana primenjen je Zipfov zakon: verovatnoća obavljanja funkcije je podeljena u tri kategorije: velike, srednje i male verovatnoće, od koje je svaka duplo većeg intenziteta od sledeće. Na isti način se kvantifikuju verovatnoće aktivnosti van apartmana u toku celokupnog boravka u njemu; smatra se da će korisnici odlaziti na plažu svaki dan, stavljajući plažu u prvu kategoriju; u drugoj kategoriji su prodavnica, kafić, klub, ili restoran (kafić klub i restoran će se računati kao ista aktivnost), a izlet spada u treću kategoriju. Aktivnosti koje su razmatrane podrazumevaju manje-više određen proces kojim se one obavljaju ili proces koji se odvija nakon što su te aktivnosti obavljene. Taj proces se odvija korišćenjem određenih delova apartmana. Množenjem ukupne verovatnoće za određenu aktivnost (sabiranjem verovatnoće po svakom satu, a uzimanje vrednosti 3 za veliku, 2 za srednju, a 1 za malu verovatnoću) sa brojem veza između prostorija prikazanih na slici 4, dobija se numerički odnos koji pokazuje koje prostorije se najčešće koriste jedna nakon druge prilikom boravka u apartmanu.



Prilog 1 - Šematski i tabelarni prikaz rezultata analize u poglavlju 5

### 6. ANALIZA KUHINJE

Analiza kuhinje koja sledi je inspirisana tejlorizmom, posmatrajući procese koji se svakodnevno obavljaju. Kako su za potrebe algoritma potrebni numerički pokazatelji kojim bi se formirali odnosi između pojedinačnih elemenata kuhinje, uzet je niz recepata sa kulinarskog web-sajta, deleći jela na deset kategorija pronađenih na sajtu. Prolazeći kroz recepte je beležena svaka interakcija između parova kuhinjskih elemenata. Putem brojeva dobijenih iz ove analize se formira funkcionalna šema na isti način kao i prilikom analize odnosa veza između prostorija u prethodnom poglavlju.



Prilog 2 - Šematski i tabelarni prikaz rezultata analize u poglavlju 6

### 7. DEFINISANJE OSNOVE

Kako su elementi enterijera jedini činiooci koji će ispunjavati prazan prostor apartmana, potrebno je sam

apartman definisati tako da odgovara tim svojim podelementima. Primeniće se ustaljeno rešenje u arhitektonskom projektovanju, modul 60 sa 60 centimetara, koji odgovara najmanjem elementu koji treba generisati. Stan je podeljen na 12 vertikalnih i 11 horizontalnih osa, formirajući matricu. Sve dalje provere uslova će se obavljati putem podataka koji se nalaze u tim matricama čija su polja preseki osa. Zidovi, vrata i prozori su formirani ne kao elementi, već kao uslovi koji omogućavaju ili ne omogućavaju generisanje zadanih elemenata enterijera. Definisanje svih osobina posmatrane osnove je obavljeno putem 6 različitih matrica. Svaka matrica ima svoj tip uslova koje različiti elementi zahtevaju kako bi bili generisani, samim tim i funkcionalno postavljeni u enterijeru.

## 8. ELEMENTI

Elementi enterijera su takođe formulisani kao određeni broj modula obeleženih slovima. Broj modula je definisan veličinom samih objekata. U obzir se takođe uzela površina koja je potrebna za pristup i funkcionisanje tih elemenata, koja u nekim slučajevima, pored gabarita samih objekata, onemogućava generisanje drugih.

br.	element	I	II	III	IV	V	VI
1	kada	o	w	k	z	>	o
2	wc saija	o	w	k	z	>	o
3	lavabo	o	w	k	z	<	o
4	ostava	o	k	v	z	<	o
5	hizider	o	k	v	z	<	o
6	šporet	o	k	v	z	>	o
7	radna površina	o	k	v	z	<	o
8	sudopera	o	k	v	z	<	o
9	špezarija	o	f	/	/	>	o
10	kauč	o	d	/	/	>	o
11	plakar	o	d	/	z	<	o

Prilog 3- Tabela sa uslovima za generisanje elemenata



Prilog 4 - rešenje nastalo korišćenjem algoritma

## 9. KOD

Sam algoritam kojim elementi enterijera popunjavaju prostor se deli u 3 segmenta. Prvi deo je prikupljanje podataka iz matrica (matrice od I do V iz sedmog poglavlja). Ti podaci popunjavaju listu koja definiše svaki uneti karakter sa tri koordinate: prva koordinata je broj

matrice, a preostale dve su pozicija znaka unutar same matrice. Zatim se prelazi u sledeći korak; za svaki od jedanaest objekata koje je potrebno generisati se prolazi kroz podatke od svih unetih matrica, iterirajući kroz njih dok se za svaki elemenat ne dobije jedinstvena pozicija. U poslednjem koraku se sva validna rešenja ucrtavaju u praznu matricu formiranu u prvom koraku postupka.

## 10. ZAKLJUČAK

Dekonstrukcijom posmatranog predmeta na činioce, definisanjem međusobnih odnosa tih činilaca i uslova njihovog funkcionisanja, kao i uspostavljanjem načina valorizacije, može se napraviti osnova za njegovu proceduralnu generaciju, kakav god to predmet bio. Nivo detaljnosti zavisi isključivo od želje autora da ga dalje definiše, kao i jačine kompjutera koji obrađuje te podatke. Matematičar Džon Fon Nojman je rekao: "Nauka ne pokušava objasniti. Jedva da pokušava tumačiti. Uglavnom pravi modele, matematičke konstrukte s nekim verbalnim objašnjenjem koji opisuje posmatrane pojave. Zatim se očekuje da to i funkcioniše." Takvi modeli ispunjavaju svrhu. U stvarnosti to su samo fiktivni podaci, ali i dalje pružaju informacije i omogućavaju istraživanja. Model pokreće proces inicijalnog plana delovanja, delujući tom planu i prateći napredak sa poboljšanjem u svakom koraku koji se postepeno može kretati prema beskonačnosti. U ovom postupku ne postoji unos koji funkcioniše sam, već bilo koji entitet kontinuirano se odnosi na i povezuje se sa drugima.

## 11. LITERATURA

- [1] M. Batty, „*Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*“, Cambridge, MA, The MIT Press, 2007.
- [2] S. Chuptys, „*Procedural Generation of Architecture*“, Leuven, KU Leuven, 2014.
- [3] Y. Gurevich, „*Sequential Abstract State Machines Capture Sequential Algorithms*“, Redmond, Microsoft research, 2000.
- [4] S. LaValle, „*Planning Algorithms*“, Cambridge, Cambridge University Press, 2006.
- [5] J. Savage, „*Computational Work and Time on Finite Machines*“, Providence, Brown University, 1972.
- [6] N. Shaker, J. Togelius, and M. Nelson, „*Procedural Content Generation in Games: A Textbook and an Overview of Current Research*“, Berlin, Springer, 2011.

### Kratka biografija:



**Nikola Kustudić** rođen je u Vrbasu 1992. god. Bachelor rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Arhitekture odbranio je 2016.god. Iste godine upisuje master akademske studije iz oblasti savremenih teorija i tehnologija u arhitektonskom projektovanju na Fakultetu tehničkih nauka.