

**KREIRANJE AUTOMATIZOVANOG ALATA ZA PROCEDURALNO GENERISANJE STILIZOVANIH MODELA BILJAKA****CREATION OF AN AUTOMATED TOOL FOR PROCEDURAL GENERATION OF STYLIZED PLANT MODELS**Ivana Rijavec, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – RAČUNARSKA GRAFIKA**

**Kratak sadržaj** – U okviru istraživanja prikazana je upotreba osnovnih alata za proceduralno generisanje 3D modela biljaka i kreiranje HDA (Houdini Digital Asset) alata u softveru Houdini. Rezultat rada je originalan digitalni automatizovani alat za proceduralno generisanje stilizovanih modela biljaka za potrebe digitalnih igara.

**Ključne reči:** PCG, proceduralno modelovanje, automatizovano generisanje sadržaja, stilizovani modeli biljaka

**Abstract** – This research shows the use of basic tools for procedural generation of 3D plant models and the creation of HDA (Houdini Digital Asset) tools inside Houdini software. The result is an original digital automated tool for procedural generation of stylized plant models for digital games.

**Keywords:** PCG, procedural modeling, automated generation of content, stylized plant models

**1. UVOD**

Bilo da su u pitanju publikacije vodećih portala u oblasti razvoja video igara, kao što je 80lv<sup>1</sup> [1], kurirane Instagram objave namenjene promovisanju digitalne umetnosti ili video tutorijali amatera i profesionalaca u oblasti računarske grafike, evidentna je sve češća pojava rešenja zasnovanih na proceduralnom modelovanju. Povećano interesovanje 3D modelera za proceduralizam proizilazi kako iz potrebe za dostizanjem industrijskog standarda tako i iz činjenice da su alati namenjeni proceduralnom modelovanju sve pristupačniji. Upravo ovaj trend usmerio je istraživanje ka metodama proceduralnog modelovanja.

Iz velike količine digitalnih igara koje u fokusu narativa i pravila igre (*engl. gameplay-a*) imaju interakciju igrača sa biljkama jasno se ističe popularnost tema igara kao što su hortikultura, poljoprivreda i ratarstvo.

Predmet istraživanja predstavlja proceduralno generisanje biljaka za potrebe digitalnih igara. Iako su biljke često ključna komponenta okruženja u okviru nivoa digitalnih

igara, istraživanje je usmereno ka biljkama kao hero asset-ima<sup>2</sup>.

Istraživanje se bavi upotrebom osnovnih alata za proceduralno generisanje 3D modela biljaka u Houdini softveru. Cilj istraživanja jeste kreiranje automatizovanog alata za proceduralno generisanje stilizovanih modela biljaka. Dobijeno rešenje omogućava rad sa korisničkim interfejsom za specifikovanje parametara koji definišu izgled biljaka.

**2. PROCEDURALNO MODELOVANJE**

Mnoge napredne metode geometrijskog modelovanja su proceduralne. Napredne metode geometrijskog modelovanja apstrakcijom modela omogućavaju izrazitu kontrolu nad specifikacijom modela. Sinteza proceduralne geometrije podrazumeva kreiranje potpuno novog objekta generisanjem njegove geometrije ni iz čega. Upotrebom proceduralnog modelovanja generišu se, između ostalog, modeli na bazi formalnih gramatika.

**2.1. L-sistemi**

L-sistemi su vrsta formalne gramatike. Formalna gramatika je set pravila za prepisivanje niski tj. pretvaranje jedne niske u drugu [2]. Pravila L-sistema su po prirodi rekursivna, što čini sebi-slične<sup>3</sup> forme poput fraktala lakim za opisati pomoću L- sistema.

Najjednostavnija klasa L-sistema naziva se DOL-sistemima. U osnovi DOL-sistema su, kao u svim formalnim gramatikama, pravila prepisivanja. Proces prepisivanja započinje izdvojenom niskom koja predstavlja aksiom. Neka su pravila prepisivanja data sa:

$$a \rightarrow ab$$

$$b \rightarrow a.$$

Ako je aksiom *b* onda derivacijom dolazimo do sistema prikazanog na slici 1.

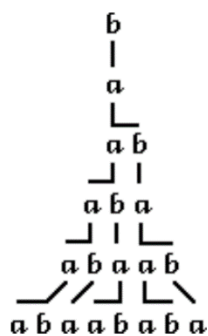
**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Isidora Đurić, docent.

<sup>1</sup> Globalna digitalna mreža izdavaštva sadrži iz industrije video igara.

<sup>2</sup> Objekat u okviru igre sa kojim je igrač u čestom susretu ili sadrži visok nivo detalja.

<sup>3</sup> "Kada je svaki deo oblika geometrijski sličan celini, generisan oblik i kaskada koja ga čini nazivaju se sebi-sličnima." -Benoa Mandelbrot



Slika 1. Primer derivacije u DOL-sistemu [2]

Sa ciljem pretvaranja L-sistema u alate za modelovanje biljaka predloženo je nekoliko geometrijskih interpretacija L-sistema.

Interpretacija na bazi *turtle* geometrije zasniva se na definisanju stanja *turtle*-a, tj. kursora,  $(x, y, a)$  trojkom, gde su  $x$  i  $y$  koordinate pozicije kursora u Dekartovom pravouglom koordinatnom sistemu, dok  $a$  predstavlja orijentaciju kursora. Definisanjem veličine koraka  $d$  i priraštajem ugla  $\delta$ , *turtle* odgovara na komande u vidu pojedinih simbola, od kojih su neki navedeni u tabeli 1 [3].

Tabela 1. Osnovne *turtle* komande u vidu simbola. [3]

F	Pomeri se za korak dužine $d$ unapred. Stanje kursora se pri izvršenju komande menja u $(x', y', a)$ gde je $x' = x + d \cos a$ i $y' = y + d \sin a$ . Segment linije iscrtava se između tačaka $(x, y)$ i $(x', y')$ .
f	Pomeri se za korak dužine $d$ unapred bez iscrtavanja linije.
+	Skreni levo pod uglom $\delta$ . Sledeće stanje kursora je $(x, y, a + \delta)$ .
-	Skreni desno pod uglom $\delta$ . Sledeće stanje kursora je $(x, y, a - \delta)$ .

Modelovanje L-sistema u trodimenzionalnom prostoru može se prikazati tehnikama zasnovanim na *turtle* reprezentaciji. Orijehtacija kursora u prostoru definisana je *turtle* komandama u tabeli 2.

Tabela 2. *Turtle* komande za orijentaciju kursora u trodimenzionalnom prostoru. [3]

+	$Yaw^4$ ka desno za ugao $\delta$
-	$Yaw$ ka levo za ugao $\delta$
&	$Pitch^5$ ka gore za ugao $\delta$
^	$Pitch$ ka dole za ugao $\delta$
\	$Roll^6$ u desno za ugao $\delta$
/	$Roll$ u levo za ugao $\delta$

### 3. METODE KORIŠĆENE U ISTRAŽIVANJU

U ovom radu korišćen je softver *Houdini*. Rad sa ključnim metodama i alatima (*L-System* čvorovima, *HDA* alatima i *TOP* mrežama) upotrebljenim u okviru istraživanja, opisan je kroz naredna potpoglavlja.

<sup>4</sup> Rotacija oko ose Z.

<sup>5</sup> Rotacija oko ose Y.

<sup>6</sup> Rotacija oko ose X.

### 3.1. Definisanje stilizovanog izgleda biljaka pomoću L-sistema

*L-System*<sup>7</sup> *SOP*<sup>8</sup> čvor, operator u okviru *Houdini* softvera, omogućava simuliranje kompleksnih organskih struktura kao što su drveće, gromovi, pahuljice, cvetovi i drugi fenomeni grananja. Zasniva se na formalnoj gramatici L-sistema. Pravila koja odlikuju topologiju grananja definisana su od strane korisnika. Kroz brojne parametre korisniku je omogućena laka manipulacija nad izgledom i karakteristikama kreirane biljke.

*Houdini* omogućava kreiranje kopija neke geometrije na *turtle* poziciji upotrebom određenih komandi. Izlazni čvor željene geometrije potrebno je povezati sa ulaznom tačkom na *L-System* čvoru. Ulazna tačaka za povezivanje geometrije na *L-System* čvoru je tri, koje odgovaraju *turtle* komandama J, K ili M. Kako bi odabrana geometrija bila kopirana, potrebno je upotrebiti korespondentnu *turtle* komandu u okviru pravila prepisivanja, predstavljeno tabelom 3 [4].

Tabela 3. Ulazne tačke i korespondentne *turtle* komande.

Ulaz	<i>Turtle</i> komanda
1	J
2	K
3	M

Način upotrebe L-sistema u okviru praktičnog dela istraživanja demonstriran je na primeru digitalnog modela biljke šafrana.

Pravila prepisivanja definisana za 3D model biljke šafrana prikazana su tabelom 4. Aksiom je A. To znači da generisanje geometrijske interpretacije L-sistema započinje pravilom prepisivanja 1.

Tabela 4. Pravila prepisivanja L-sistema šafrana.

1	A= $\sim$ (10)C//A :0.4
2	C=D[+(30)F(0.025)-(10)F(0.025)-(10)F(0.025)K]
3	D="&(10)J/&(10)J/&(10)J/&(10)J
4	A= $\sim$ (10)C

Prikazano kroz pravila 1 i 4, istu nisku je moguće je putem pravila prepisivanja zameniti sa jednom od više ponuđenih niskih. U tom slučaju verovatnoća upotrebe svakog pravila prepisivanja definisana je komandom ":" i verovatnoćom u vidu decimalnog broja u rasponu od 0 do 1.

Komanda " $\sim$ " koristi se u svrhu rotacije za nasumičan broj stepeni. Kako bi maksimalan broj stepeni bio ograničen, unutar zagrada se postavlja gornja granična vrednost.

Upotreba *turtle* komandi za rotaciju, odnosno komandi "+" i "-", "^" i "&", "/" i "\", dozvoljava definisanje proizvoljne veličine ugla rotacije upotrebom običnih zagrada "(" i ")" nakon odabrane komande, unutar kojih je unet željeni broj stepeni ugla.

Dužina koraka F može se zadati navođenjem vrednosti unutar običnih zagrada "(" i ")" nakon pozivanja komande.

<sup>7</sup> Zvaničan naziv alata

<sup>8</sup> Geometry nodes, čvorovi koji generišu geometriju

Komandama J i K na geometrijsku reprezentaciju L-sistema se dodaju listovi i cvetovi. Finalni izgled 3D modela biljke šafrana prikazan je na slici 2.



Slika 2. 3D model biljke šafrana

Geometrija listova i latica cvetova kreirana je upotrebom takozvanih SOP čvorova. U osnovi je upotrebljen SideFX Labs alat Labs Tree Simple Leaf. Parametri koji definišu veličinu i segmente (engl. *Size and Segments*) omogućavaju manipulaciju gustinom mreže poligona, odnosno brojem podela geometrije lista po dužini i širini. Parametri za oblik (engl. *Shape*) služe definisanju oblika konture lista kao i njegove povijenosti, dok se parametrima za boju (engl. *Color*) zadaje željena boja lista.

### 3.2. Kreiranje alata za proceduralno generisanje biljaka

Rad u softveru *Houdini* zasniva se na umrežavanju čvorova. Mreže čvorova moguće je pretvoriti u lični alat, takozvani *HDA* (*Houdini Digital Asset*). Ovaj pristup dozvoljava prenošenje kreiranih alata između različitih datoteka (*.hip*<sup>9</sup>). Kreirani HDA alati se po instalaciji mogu pozivati i dodavati u mrežu kao bilo koji drugi čvor. Alatu je moguće pristupiti, izmeniti mu strukturu i prilagoditi je trenutnoj upotrebi. HDA alate poželjno je upotpuniti organizovanim korisničkim interfejsom. Promovisanje parametara sadržanih čvorova čini specifikovanje pojedinih karakteristika sadržaja jednostavnim i pristupačnim zadatkom.

Alat kreiran u okviru istraživanja naziva se *Generator biljaka* (*PLANT\_GENERATOR*). Osnovni parametar u okviru korisničkog interfejsa alata je *Alat* (*Tool*). Stavke *Alat* menija su *Modifikator vrsta* (*Species Modifier*) i *Generator proizvoljne biljne vrste* (*Custom Species Maker*). Odabirom željene stavke *Alat* menija ujedno se predefiniše i ostatak ponuđenih parametara za modifikaciju.

Način na koji je omogućen odabir stavki *Alat* parametra putem korisničkog interfejsa u osnovi prikazuje ključne korake u procesu kreiranja parametara za korisnički interfejs u vidu menija. Proces je objašnjen na prostoj mreži čvorova, sačinjenoj od čvorova *Species Modifier*, *Custom Species Maker* i *Switch*. Uloga *Switch* čvora jeste da od dva ili više ulaznih čvorova u dalji tok mreže prosledi samo jedan. Kako bi odabir ulaznog čvora bio kontrolisan od strane korisnika *Select Input* parametar *Switch* čvora promovise se u sklopu korisničkog interfejsa alata *Generator biljaka*.

Promovisan parametar dalje se može opisati putem *Parameter Description* panela *Edit Parameter Interface* prozora. U potprozoru *Menu* kao *Token* vrednost zadaje se redni broj ulaznog čvora, počevši od 0, dok *Label* polje podrazumeva unos željnog naziva stavki u okviru kreiranog menija. Putem relativne reference odabir stavke iz menija *Alat* parametra menja vrednost *Select Input* parametra *Switch* čvora.

*Modifikator vrsta* je zaseban alat koji dozvoljava modifikovanje pojedinih karakteristika odabrane biljne vrste. Ponuđene biljne vrste, su šumska jagoda (*Wild Strawberry*), vranino oko (*True Lover's Knot*), kisaljača (*Wood Sorrel*) i šafran (*Saffron*).

Meni parametra *Podešavanja* (*Settings*) nudi stavke *Originalna* (*Default*) i *Korisnikova* (*User edit*). Stavke specifikuju izgled biljke koji je predefinisano, odnosno koji je rezultat unosa korisnika. Pri odabiru stavke *Korisnikova*, u okviru korisničkog interfejsa dostupni su parametri za modifikaciju izgleda odabrane biljne vrste. Panel parametara *Biljka* (*Plant*) omogućava specifikaciju broja prepisivanja pravila L-sistema parametrom *Generacije* (*Generations*), dok je *Nasumično zrno* (*Random Seed*) parametar kojim se menja nasumično zrno pri generisanju geometrijske reprezentacije L-sistema. *Cvet* (*Flower*) panel sadrži parametre *Boja* (*Color*) i *Veličina cveta* (*Flower Scale*), kojima se definišu boja i veličina cveta.

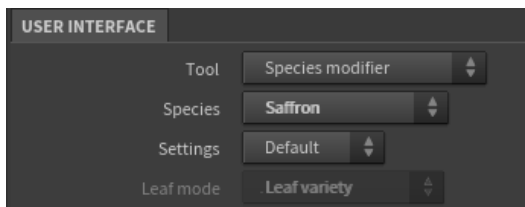
*Oblik lista* (*Leaf mode*) meni nudi stavke *Uniforman* (*Single leaf shape*) i *Neuniforman* (*Leaf Variety*) samo kada je za parametar *Podešavanja* odabrana stavka *Korisnikova*. Odabir između navedenih stavki menja geometriju lista kopiranu na geometrijsku reprezentaciju L-sistema. Stavka *Uniforman* u direktnoj je vezi sa *List* (*Leaf*) panelom parametara. Korisnik putem korisničkog interfejsa može menjati *Dužinu* (*Length*), *Širinu* (*Width*) i *Povijenost* (*Bend*) lista. Upotrebom stavke *Uniforman* ujedno se definiše identičan izgled svih kopija lista na L-sistemu. S druge strane stavka *Neuniforman* rezultuje kopiranjem varijacije listova na L-sistem. U tom slučaju parametre *List* panela je nemoguće specifikovati. L-sistem za ulaznu geometriju lista uzima inicijalno povezane eksterne *.bgeo* datoteke. Ulazne datoteke potom prolaze kroz *Switch* čvor nad kojim je izvršena *stamping* operacija. Po pravilu, *L-System* čvor uzima ulaz 0 prethodećeg *Switch* čvora za ulaznu geometriju.

U okviru pravila prepisivanja L-sistema je zato, pri pozivanju komande *J*, potrebno specifikovati broj ulaza na *Switch* čvoru kroz trojku oblika (*L,0,x*) gde je *x* redni broj ulaza. Kako bi se varijacija listova smenjivala pravilo prepisivanja u okviru kojeg je pozvana komanda *J* potrebno je umnožiti onoliko puta koliko je ulaznih *.bgeo* datoteka, te za svaku kopiju pravila izmeniti redni broj ulaza *x*, a potom svakom od ovih pravila prepisivanja dodeliti željenu, uglavnom jednaku, verovatnoću. Predefinisane ulazne datoteke moguće je zameniti novim, gde je svaka varijacija lista zapravo generisana na osnovu parametara definisanih od strane korisnika pri odabiru stavke *Uniforman* u okviru menija *Oblik lista*. Varijacije su kreirane automatizovano, o čemu govori sledeće poglavlje.

Prethodno navedeni osnovni parametri alata *generator biljaka* prikazani su na slici 3.

<sup>9</sup> Ekstenzija *Houdini* radnih datoteka.





Slika 3. Osnovni parametri korisničkog interfejsa alata *Generator biljaka*

Iako se zasniva na upotrebi već prikazanih metoda, zasebni alat *Generator proizvoljne biljne vrste* nudi drugačiji set parametara u okviru korisničkog interfejsa. Alat omogućava kreiranje proizvoljne vrste biljke kombinovanjem komponenti ponuđenih biljnih vrsta i dodatnom manipulacijom parametrima koji definišu karakteristike listova i cvetova.

### 3.3. Automatizacija generisanja varijacija biljaka

*PDG*<sup>10</sup> je proceduralna arhitektura dizajnirana za distribuiranje zadataka i upravljanje zavisnostima sa ciljem poboljšanja automatizacije i analize sadržaja tokova rada za film, TV, igre, reklame i virtuelnu realnost [5]. *PDG* tehnologija primenjena je u softveru *Houdini* u vidu *TOP*<sup>11</sup> čvorova.

Upotreba *TOP* čvorova u okviru istraživanja ima za cilj automatizovano generisanje varijacija listova biljaka kao i varijacija celih biljaka. Mreža čvorova koja izvršava navedeni zadatak sačinjena je od *Wedge* i *ROP Geometry Output* čvorova.

U okviru *Wedge* čvora, kroz parametar *Wedge count*, definiše se željeni broj varijacija. *Wedge* atributi definišu se nazivom i opsegom, a koriste se kako bi bili referencirani u okviru parametara čijom izmenom želimo doći do varijacije u izgledu rezultata. Kako bi kreirane varijacije bile sačuvane u vidu *.bgeo* datoteka potrebno je upotrebiti čvor *ROP Geometry Output*. Postupak se može unaprediti čuvanjem biljaka kao *.usd* datoteka, upotrebom čvorova *ROP fetch* i *LOP Network*, kao i neizostavnih čvorova *Add Variant* i *USD ROP*. Proces čuvanja varijacija u okviru jedne *.usd* datoteke zasniva se na upotrebi *For Each* petlje.

## 4. REZULTATI

U okviru tabele 5 prikazane su automatizovano generisane varijacije biljke šafrana, na osnovu specifikacije parametara u okviru korisničkog interfejsa alata *Generator biljaka*.

## 5. ZAKLJUČAK

Kreirani alat *Generator biljaka* nudi širok spektar mogućnosti upotrebe. Omogućava korisnicima softvera *Houdini* (sa minimalnim poznavanjem rada u softveru ili rada sa L-System čvorovima) da jednostavno kreiraju biljke upotrebom korisničkog interfejsa alata i ujedno automatizovano generišu varijacije kreirane biljke.

Tabela 5. Automatizovano generisane varijacije biljke šafrana.

Modifikator vrsta ( <i>Species Modifier</i> )	
<b>Vrsta (<i>Species</i>):</b> Šafran ( <i>Saffron</i> )  <b>Podešavanja (<i>Settings</i>):</b> Originalna ( <i>Default</i> )	
<b>Vrsta (<i>Species</i>):</b> Šafran ( <i>Saffron</i> )  <b>Podešavanja (<i>Settings</i>):</b> Korisnikova ( <i>User edit</i> )  <b>Oblik lista (<i>Leaf mode</i>):</b> Uniforman ( <i>Single leaf shape</i> )	
<b>Vrsta (<i>Species</i>):</b> Šafran ( <i>Saffron</i> )  <b>Podešavanja (<i>Settings</i>):</b> Korisnikova ( <i>User edit</i> )  <b>Oblik lista (<i>Leaf mode</i>):</b> Neuniforman ( <i>Leaf variety</i> )	

## 6. LITERATURA

- [1] <https://80.lv/articles/80-level-digest-introduction-to-procedural-tools-for-3d-art/>, (pristupljeno u septembru 2023.).
- [2] N. Shaker, J. Togelius, M. J. Nelson, *Procedural Content Generation in Games*, Springer International Publishing, 2016.
- [3] P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer, *The Algorithmic Beauty of Plants*, New York: Springer-Verlag, 1990.
- [4] <https://www.sidefx.com/docs/Houdini/nodes/SOP/lsystem.html>, (pristupljeno u septembru 2023.).
- [5] <https://www.sidefx.com/products/Houdini/pgd/>, (pristupljeno u septembru 2023.).

### Kratka biografija:



**Ivana Rijavec rođena** je u Novom Sadu 1998.god. Završila je srednju Školu za dizajn „Bogdan Šuput“ u Novom Sadu. Osnovne akademske studije iz oblasti računarske grafike završila je u oktobru 2021. godine na Fakultetu tehničkih nauka.

<sup>10</sup> *Procedural Dependency Graph*.

<sup>11</sup> *Task operator*.