

Interaktivni modelirnik realističnih animiranih dreves

Aleš Zamuda, Damjan Strnad
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Univerza v Mariboru
Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija
ales.zamuda@uni-mb.si

Interactive tool for modelling realistic animated trees

In the paper, we present an interactive programming tool for efficient and intuitive modelling and animation of realistic trees. With this tool, we try to avoid some problems of existing tools, which either restrict the flexibility of modelling or make it complex and not intuitive. Additionally, our tool allows specialized animation of trees, such as wind sway and growth simulation. An intuitive graphical user interface enables the user to interactively modify various parameters of the tree model, observing the immediate effect of change on rendered image or animation.

1. Uvod

Za realistično računalniško modeliranje naravnih okolij je koristno vanje vključiti določeno količino vegetacije. Za verodostojen tridimenzionalni izgled je potrebno uporabiti geometrijsko predstavitev, še posebej če želimo izvajati animacijo rastlin. V nadaljevanju se bomo pri obravnavi vegetacije omejili na drevesa, ki so izmed rastlin najpogostejši in najopaznejši element naravnih okolij.

Obstaja več tehnik opisovanja geometrijskih modelov dreves, ki temeljijo na različnih oblikah gradnje osnovne vejitvene strukture. Nekateri od pristopov so biološko motivirani, kot npr. L-sistemi [1] in Holtonov žilni model [2]. Weber in Penn sta uporabila simulacijo razvoja drevesne strukture z uporabo preproste geometrije [3]. Oppenheimer je drevesa modeliral z uporabo fraktalnih tehnik [4], Reeves in Blau pa sta za predstavitev gozdnih površin uporabila sisteme delcev [5]. V zadnjih letih je večji poudarek na interaktivnosti oblikovanja in upodabljanja [6, 7] kot pa na novih metodah.

Pri vseh naštetih tehnikah je potrebno doseči kompromis med okretnostjo in kompleksnostjo modeliranja. Nekateri 3D modelirniki danes že vključujejo specialna orodja za izdelavo dreves. Problem teh orodij je v tem, da so premalo okretna in uporabniku omogočajo le omejen nabor tipičnih predstavnikov drevesnih vrst, ali pa zaradi želje po

čim večji oblikovalski svobodi definirajo veliko število numeričnih parametrov, katerih nastavljanje je zamudno in neintuitivno, pomen pa pogosto nejasen. Zato je bil naš cilj izdelati geometrijski model drevesa z minimalnim številom potrebnih parametrov, katerih nastavljanje bo intuitivno in interaktivno. Model naj bi bil dinamičen in tako omogočal enostavno animacijo. To nam je uspelo s kombinacijo obstoječih tehnik, premišljenim izborom disjunktivnih numeričnih značilnosti dreves in grafičnim vmesnikom za podajanje vrednosti parametrov, katerih spreminjanje se interaktivno odraža na senčenem modelu drevesa. Rezultat dela je modelirnik dreves, ki vključuje tudi sistem za simulacijo rasti in animacijo dreves.

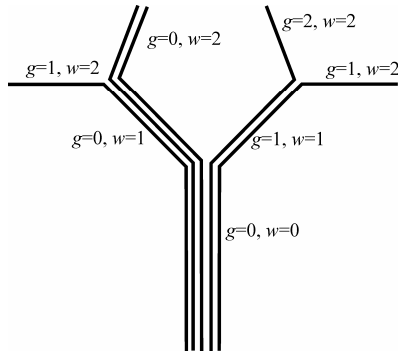
2. Žilni model dreves

Za geometrijski opis drevesa smo kot osnovo uporabili Holtonov model [2], ki temelji na notranji žilni strukturi botaničnih dreves. Glede na podano začetno število žil v deblu drevesa se te pri vsaki vejitvi delijo na dve podveji, tako da se skupno število žil ohrani. Število žil neposredno določa ostale lastnosti veje, kot sta npr. njena debelina in dolžina. S številom žil je omejeno tudi število nadaljnjih vejitev, ki se končajo pri veji z eno žilo, iz katere rastejo le še listi.

Drug pomemben podatek, ki ga beležimo pri vsaki veji, je njen *red*. Deblo ima red 0, vsaka vejitev pa red veje poveča za 1. Tako imajo veje, ki rastejo neposredno iz debla, red 1. Veje, ki rastejo iz vej reda 1, imajo red 2, itd. Vendar tudi pri tem ločimo dve različni obliki štetja, ki določata Graveliusov oz. Weibullovo red. Pri Graveliusovem štetju se ob vsaki cepitvi veje ti. *stranski podveji* red poveča, medtem ko druga, ti. *glavna podveja*, šteje kot nadaljevanje prvotne ali *osnovne veje* in s tem ohrani njen red. Pri Weibullovem štetju se obema podvejama red poveča (slika 1). Graveliusov oz. Weibullovo red veje bomo v članku označevali z g in w .

Holton za izračun geometrije drevesa uporablja biološko osnovane enačbe, s pomočjo katerih izpeljuje ostale lastnosti veje iz števila žil v njej. V enačbah nastopajo uporabniško nastavljeni

parametri, ki so definirani ločeno za vsak red veje (posebej Graveliusovega in Weibullovega). Podoben pristop sta uporabila Weber in Penn, ki sta definirala 40 različnih numeričnih parametrov drevesa [3]. Pri tem so nekateri (npr. kot vejitve) definirani ločeno za veje reda 1, 2 in 3 ali več, tako da je njihovo dejansko število preko 80.



Slika 1: Graveliusov in Weibullovi red veje

3. Interaktivni modelirnik dreves

Pri določanju nabora parametrov dreves, ki jih bomo v modelirniku podprli, smo upoštevali naslednja načela:

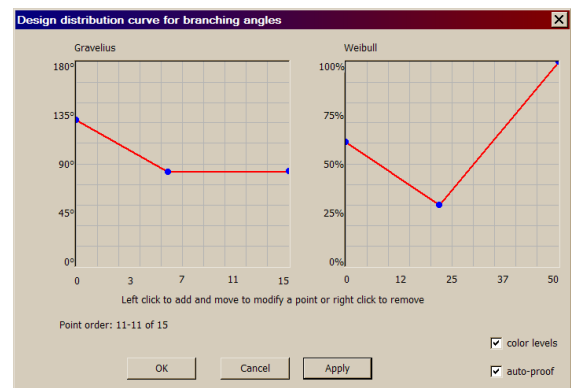
- pomen vseh parametrov mora biti jasen, njihov učinek pa čim bolj predvidljiv,
- nabor parametrov naj bo dovolj raznolik, da omogoča modeliranje večine v naravi najpogosteje zastopanih drevesnih oblik,
- parametri naj nimajo podvojenega ali konfliktnega delovanja in
- nabor parametrov naj vključuje lastnosti drevesa, ki so pomembne pri animaciji.

Modelirnik trenutno podpira naslednje parametre za določanje lastnosti drevesa:

- začetno število žil v deblu drevesa, ki odreja njegovo kompleksnost in starost,
- razmerje porazdelitve žil na podveji pri vejitvah,
- kot med izhajajočima vejama pri delitvi,
- višina osnovnega debla, preden začnejo rasti stranske veje,
- koeficient debeline veje,
- spodnja in zgornja meja relativne dolžine podveje glede na dolžino osnovne veje,
- skalirni faktor dolžine veje,
- gravicentralizem (tj. težnja debla po navpični rasti),
- gravimorfizem (tj. upogibanje vej zaradi gravitacije),
- tip, gostota in velikost listov, ter
- tekstura debla in listov.

Glede na to, ali parameter opisuje lastnost drevesa, ki je enaka za celotno drevo, ali pa lastnost, ki se s

strukturo spreminja, ločimo dva načina podajanja vrednosti parametrov. Konstantne lastnosti drevesa (npr. velikost listov) in začetne vrednosti za tvorbo modela (npr. začetno število žil) opišemo s skalarnimi parametri. Lastnosti drevesa, ki so odvisne od reda veje (npr. kot vejitve), opišemo z vektorskimi parametri. Vrednosti vektorskih parametrov podamo s poljubno oblikovano linearno lomljenko, njihovo nastavljanje pa je grafično in poteka preko pogovornega okna (slika 2).



Slika 2: Grafično oblikovanje parametrov drevesa

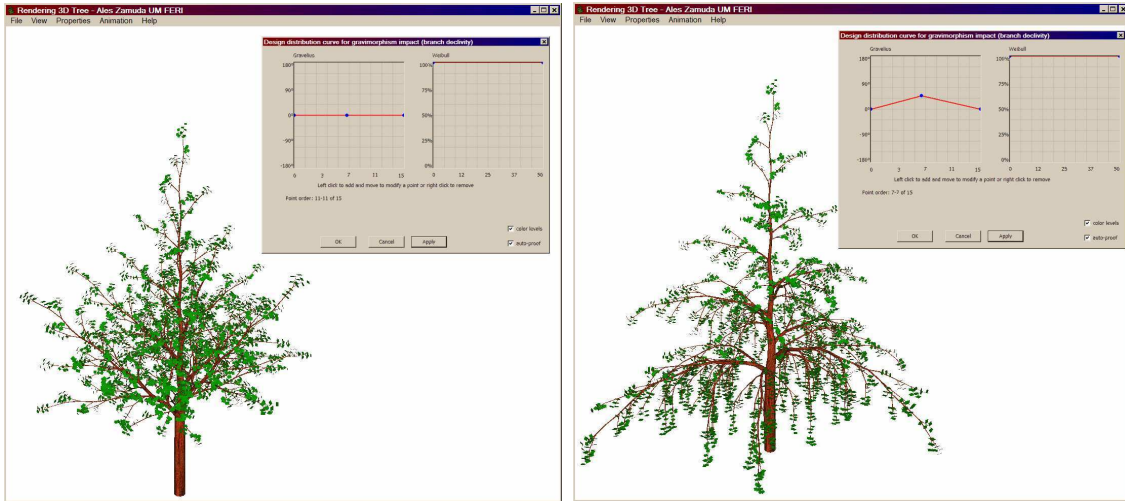
Lomljenki lahko na poljubnem mestu dodamo novo krmilno točko, s čimer pripadajoči linearni odsek razpade na dva nova. S premikanjem krmilnih točk določimo potek vrednosti parametra po osi y v odvisnosti od Graveliusovega in Weibullovega reda na osi x . Čeprav je red diskretna vrednost, nismo omejili položajev krmilnih točk po osi x , ker bi s tem zmanjšali okretnost modeliranja.

V dodatno pomoč pri oblikovanju kontrolne lomljenke parametra je vizualni namig, pri katerem se del drevesne strukture, na katerega bo vplivala sprememba izbrane kontrolne točke oz. odseka lomljenke, pobarva z drugačno barvo.

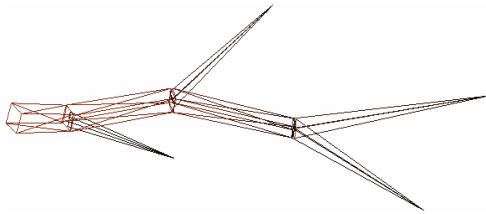
Vsaka sprememba oblike kontrolne lomljenke se takoj odraža na senčenem modelu, zato je mogoče v relativno kratkem času doseči skoraj poljubno drevesno obliko (slika 3).

4. Gradnja geometrijske strukture dreves

Modelirnik na osnovi podanih oz. oblikovanih vrednosti parametrov zgradi žilni model in sproti tvori geometrijo drevesa. Medtem ko Holton kot geometrijske gradnike uporablja ploskve NURBS, smo mi debla in veje predstavili kot zaporedje povezanih stožčastih odsekov (slika 4). Razlog za to je v možnosti interaktivne obdelave in veliko enostavnejši animaciji. Listi oz. iglice so štirikotniki s teksturo, ki lahko vsebuje prozorne pike in tako določa poljubno obliko lista.



Slika 3: Interaktivno oblikovanje modela drevesa



Slika 4: Stožčasta geometrija vej

V nadaljevanju bomo na kratko opisali matematični model za gradnjo geometrijske strukture drevesa. Indeks g in w nastopata pri tistih parametrih, ki so odvisni od reda veje. Debelina veje d se izračuna iz števila žil S po naslednji enačbi:

$$d = k_d \sqrt{S}, \quad (1)$$

kjer je parameter $k_d \in [0,1]$ koeficient debeline, ki je konstanten za celotno drevo.

Ob vsaki vejitvi se žile osnovne veje, ki se cepi, razdelijo med nastali podveji po naslednjih enačbah:

$$\begin{aligned} S_1 &= 1 + \left\lceil k_s^{g,w} \cdot (S_0 - 2) \right\rceil \\ S_2 &= S_0 - S_1 \end{aligned} \quad (2)$$

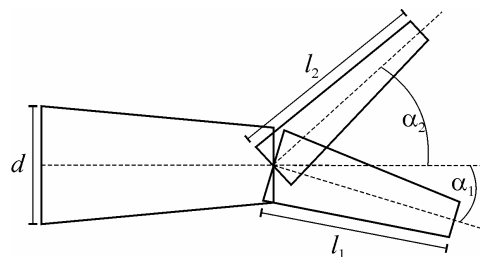
Parameter $k_s^{g,w} \in [1/2, 1]$ določa delež žil, ki gredo v glavno podvejo. Pri tem je S število žil osnovne veje, S_1 število žil v glavni podveji in S_2 število žil v stranski podveji.

Dolžina glavne podveje do naslednje vejitve se izračuna po enačbah:

$$\begin{aligned} r_1 &= \max \left(\min \left(\sqrt{\frac{S_1}{S_0}}, k_M^{g,w} \right), k_m^{g,w} \right) \\ L_1 &= r_1 \cdot L_0 \\ l_1 &= k_l^{g,w} \cdot L_1 \end{aligned} \quad (3)$$

V enačbah nastopajo trije uporabniško nastavljivi parametri. Parametra $k_m^{g,w} \in [0,1]$ in $k_M^{g,w} \in [0,1]$ določata spodnjo in zgornjo mejo koeficienta r_1 . Ta določa relativno dolžino podveje L_1 glede na dolžino osnovne veje L_0 . Parameter $k_l^{g,w}$ je skalarni faktor, s pomočjo katerega izračunamo dejansko dolžino podveje l_1 . Na analogen način izračunamo dolžino stranske podveje.

Pri določanju orientacije po vejitvi podveji najprej zasukamo okoli vzdolžne osi osnovne veje za kot $\alpha_p \in [0^\circ, 180^\circ]$. Nato podveji odklonimo vsako na svojo stran, tako da oklepata uporabniško definirani kot vejitve $\alpha^{g,w} \in [0^\circ, 180^\circ]$ (slika 5). Pri tem upoštevamo še koeficient gravicentralizma $k_c^g \in [0,1]$, ki je različen od 1 samo za veje Graveliusovega reda 0.



Slika 5: Izračun geometrije pri vejitvi

Odklonska kota α_1 za glavno podvejo in α_2 za stransko podvejo izračunamo po enačbah:

$$\alpha_1 = k_c^g \sqrt{\frac{S_2}{S_0}} \cdot \alpha^{g,w} \quad (4)$$

$$\alpha_2 = \alpha^{g,w} - \alpha_1$$

Gravimorfizem vključimo z dodatnim zasukom veje v smeri tal, pri čemer je kot tega zasuka podan s parametrom $\alpha_m^{g,w} \in [0^\circ, 180^\circ]$.

Listi so razporejeni enakomerno vzdolž končnih vej in rastejo pravokotno navzven. Število in velikost listov na posamezni veji določata posebna parametra.

4. Animacija dreves

Podprli smo dve obliki animacije dreves, in sicer simulacijo rasti in zibanje drevesa v vetru. Simulacijo rasti dosežemo s povečevanjem začetnega števila žil v drevesu. Če želimo doseči linearno rast drevesa, moramo število žil povečevati kvadratično s časom. Hkrati povečujemo absolutno dolžino prvega odseka debla, ki določa višino na kateri se pojavijo prve veje. S povečanjem števila žil se nove veje pojavljajo nenadoma, kar omilimo s postopnim prehodom vrednosti parametrov k_l in k_d pri novonastalih vejah od 0 na podane vrednosti.

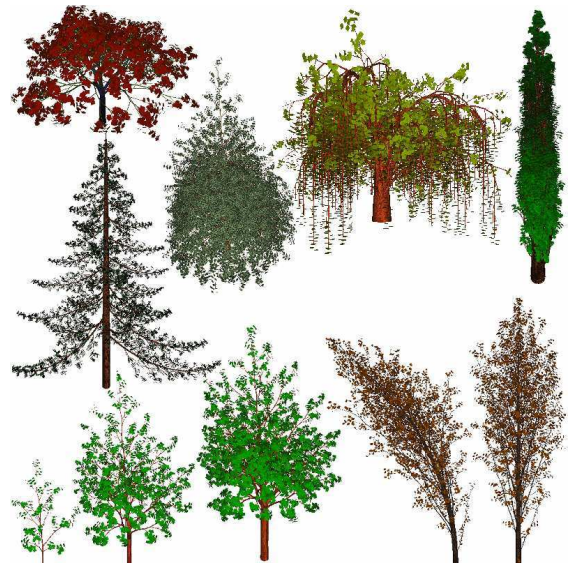
Za razliko od gradnje modelov, ki je povsem deterministična, smo pri animaciji gibanja v vetru dopustili določeno stopnjo naključnosti. Na tak način je animacija precej bolj realistična, saj lahko v nasprotnem primeru hitro opazimo ponavljajoči se vzorec v gibanju. Parametri drevesa, ki vplivajo na izračunani model gibanja, so prožnost, debelina in dolžina vej, zunanja parametra animacije pa sta smer in jakost vetra. Smer vetra določa smer zasuka veje, jakost vetra pa kot zasuka. Pri tem kot rotacije naključno perturbiramo za majhno vrednost, ki je odvisna od prožnosti veje.

5. Zaključek in nadaljnje delo

Program se je že pri dosedanjem delu izkazal kot zelo učinkovito orodje za modeliranje dreves z realističnim izgledom in animacijo (slika 6). Pri tem sta okretnost in intuitivnost orodja prvini, ki ju želimo obdržati pri nadaljnjih dopolnitvah. Med številnimi idejami, ki jih v prihodnje želimo vključiti v modelirnik, so:

- več možnosti pri postavljanju in modeliranju listov,
- dodajanje sadežev pri sadnih drevesih,
- možnost izbire vodilne količine, glede na katero želimo definirati nek parameter drevesa,

- vključitev novih parametrov in vrst animacije, npr. padec posekanega drevesa,
- možnost izvoza generiranih modelov v nekatere standardne zapise.



Slika 6: Primeri modeliranih dreves (v spodnji vrsti levo simulacija rasti, desno sunek vetra)

Literatura

- [1] P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer. *The Algorithmic Beauty of Plants*, Springer Verlag, 1996.
- [2] J. Weber, J. Penn. Creation and Rendering of Realistic Trees. *Proceedings of SIGGRAPH '95*, 29, str. 119-128, 1995.
- [3] M. Holton. Strands, Gravity and Botanical Tree Imagery. *Computer Graphics Forum*, 13(1), str. 57-67, 1994.
- [4] P. E. Oppenheimer. Real Time Design and Animation of Fractal Plants and Trees. *Computer Graphics*, 20(4), str. 55-64, 1986.
- [5] W. T. Reeves, R. Blau. Approximate and Probabilistic Algorithms for Shading and Rendering Structured Particle Systems. *Computer Graphics*, 19(3), str. 313-322, 1985.
- [6] O. Deussen, C. Colditz, M. Stamminger, G. Drettakis. Interactive Visualization of Complex Plant Ecosystems. *Proceedings of the IEEE Visualization '02*, str. 219-226, 2002.
- [7] B. Lintermann, O. Deussen. Interactive Modeling of Plants. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(1), str. 56-65, 1999.