

# Razpoznava numerično kodiranih proceduralnih modelov iz slik naravnih dreves z uporabo diferencialne evolucije

Aleš Zamuda, Janez Brest, Viljem Žumer

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko  
Univerza v Mariboru  
Smetanova ul. 17, 2000 Maribor, Slovenija  
E-pošta: ales.zamuda@uni-mb.si

## Numerically-coded Procedural Models Recognition of Natural Tree Images by Differential Evolution

*This paper presents an approach for recognition of procedural 3D models for natural trees. The tree model used works by building the 3D structure of a tree by applying a fixed procedure on a given set of numerically-coded input parameters to recursively compute building parts of a tree. The parametrized procedural model can later be used for computer animation.*

*Recognition of a parametrized procedural model from the photographic images is done by differential evolution algorithm which evolves the parametrized procedural model by fitting a set of its rendered images to a set of given photographic images. The comparison is done on a pixel level of the images by integrating distances to nearest similar pixels. The obtained results show that the presented approach is viable for modeling of natural trees in computer animation by evolution of the numerically-coded procedural model.*

## 1 Uvod

V članku predstavljamo nov pristop pri načrtovanju 3D modelov za naravna drevesa, ki jih uporabljamo v računalniški grafiki in animaciji. Razpoznava združuje proceduralno modeliranje naravnih dreves [16] in evolutivne algoritme [13]. Beaumont in Stepney sta na CEC 2009 [2] predstavila metodo, ki razpoznava 2D proceduralne modele. Slednjo metodo za razpoznavo razširjamo na domeno 3D proceduralnih modelov.

V naslednjem poglavju podrobneje predstavimo sorodna dela. V tretjem poglavju opišemo predlagan postopek za razpoznavo proceduralnih modelov naravnih dreves, ki za preiskovanje uporablja diferencialno evolucijo. V četrtem poglavju izvedemo eksperimente in opišemo rezultate ter prikažemo, da predstavljen evolutivski pristop omogoča modeliranje naravnih dreves. V petem poglavju podamo zaključek in predloge za nadaljnje delo.

## 2 Sorodna dela

Za predstavitev 3D drevesa uporabljamo zgrajen proceduralni model [17, 16, 14], katerega skušamo ustrezno parametrizirati. Postopek razpoznave temelji na razpoznavi 2D fotografij naravnih dreves. Razpoznava je toliko bolj uspešna, kolikor so si slike fotografij dreves in slike upodobljenih parametriziranih proceduralnih modelov podobne. Parametrizacija proceduralnega modela poteka postopno, z evolucijo po vzoru iz narave, za kar uporabimo enega od trenutno svetovno najboljših evolutivskih algoritmov, algoritem jDE [4, 6].

### 2.1 Diferencialna evolucija

Diferencialna evolucija (DE) [12] je algoritem, ki se uspešno uporablja za globalno optimizacijo realno kodiranih numeričnih funkcij. Algoritem zaradi svoje narave prilagajanja problemu in stabilnosti iskanja z elitističnim selekcijskim mehanizmom daje boljše rezultate od ostalih evolutivskih algoritmov [4, 9]. Algoritem diferencialne evolucije [12] sestoji iz glavne evolutivske zanke, v kateri z evolutivskimi operatorji mutacije, križanja in selekcije postopno in vzporedno izboljšuje približek iskane rešitve. Evolutivski operatorji vplivajo na vsak primerok  $\mathbf{x}_i$ ,  $\forall i \in [0, NP]$  v populaciji rešitev, iz katerih se zgradi nova populacija za naslednjo generacijo. Eno kreiranje novega osebka imenujemo iteracija, skupno število ovrednotenih posameznikov pa označimo z FEs. V vsaki iteraciji operator mutacije izračuna mutiran vektor  $\mathbf{v}_{i,G+1}$ :

$$\mathbf{v}_{i,G+1} = \mathbf{x}_{r_1,G} + F \times (\mathbf{x}_{r_2,G} - \mathbf{x}_{r_3,G}),$$

kjer so  $r_1, r_2, r_3 \in 1, 2, \dots, NP$  paroma in od  $i$  različni indeksi primerkov iz populacije v generaciji  $G$ ,  $i \in 1, 2, \dots, NP$  in  $F \in [0, 2]$ . Vektor  $r_1$  imenujemo osnovni vektor. Izraz  $\mathbf{x}_{r_2,G} - \mathbf{x}_{r_3,G}$  imenujemo diferenčni vektor in po množenju s faktorjem ojačanja  $F$ , utežen diferenčni vektor.

Po mutaciji dobljeni mutiran vektor  $\mathbf{v}_{i,G+1}$  križamo s ciljnim vektorjem  $\mathbf{x}_{i,G}$  in tako dobimo poskusni vektor  $\mathbf{u}_{i,G+1}$ . Binarni operator križanja v algoritmu zapišemo kot:

$$u_{i,j,G+1} = \begin{cases} v_{i,j,G+1} & \text{rand}(0, 1) \leq CR \text{ ali } j = j_{rand} \\ x_{i,j,G} & \text{sicer} \end{cases},$$

kjer  $j \in [1, D]$  označuje  $j$ -ti iskalni parameter v prostoru z  $D$  dimenzijami, funkcija  $\text{rand}(0, 1) \in [0, 1]$  označuje vzorčenje uniformno (psevdo) naključno porazdeljenega naključnega števila in  $j_{rand}$  izbira uniformno naključen indeks iskalnega parametra, ki ga vedno izmenjamo (da bi s tem preprečili izdelavo enakih posameznikov).  $CR$  označuje že omenjen krmilni parameter stopnje križanja.

Selekcija v algoritmu DE za vsak nov generiran primerjek preveri, ali je ocena  $f(\mathbf{u}_{i,G+1})$  poskusnega vektorja boljša od ocene ciljnega vektorja  $f(\mathbf{x}_{i,G})$ :

$$\mathbf{x}_{i,G+1} = \begin{cases} \mathbf{u}_{i,G+1} & \text{if } f(\mathbf{u}_{i,G+1}) < f(\mathbf{x}_{i,G}) \\ \mathbf{x}_{i,G} & \text{sicer} \end{cases}.$$

Poznamo več različic algoritma DE, izmed katerih smo izbrali algoritem jDE [4]. Algoritem jDE vključuje mehanizem samoprilagajanja krmilnih parametrov  $F$  in  $CR$ , ki so ga uvedli Brest s sod. [4]. Algoritem jDE pozna še številne razširitve, kot so [7, 5, 6], ki v tej študiji niso vključene.

## 2.2 Numerično kodirani proceduralni model drevesa

Za predstavitev modela drevesa smo uporabili numerično kodirani proceduralni model iz programskega sistema EcoMod, prvič predstavljenega v [17] in natančneje opisanega v [16, 14]. Parametriziran proceduralni model zgradi 3D strukturo drevesa z izvajanjem fiksne postopka oz. procedure nad danim naborom numerično kodiranih vhodnih parametrov, kot so npr. širina debla, relativna dolžina vej in vejitvena struktura. Ta procedura rekurzivno izračunava sestavne dele drevesa. Parametriziran proceduralni model lahko kasneje uporabimo za računalniško animacijo, saj s spremembo glavnih ali pomožnih parametrov modela dobimo nekoliko spremenjene modele, ki so primerni za izračunavanje ključnih animacijskih okvirjev [15].

Izbran model se od nekaterih drugih modelov [1, 3, 8, 11, 10] razlikuje v tem, da je popolnoma numerično kodiran in je nespremenljive dimenzije. To nam omogoča uporabo diferencialne evolucije.

## 3 Razpoznavna proceduralnih modelov naravnih dreves

Algoritem za razpoznavo deluje tako, da so parametri iz proceduralnega modela drevesa kodirani v genotip posameznika v populaciji DE. V nadaljevanju opisujemo nekatere sestavne dele optimizacijskega postopka, tj. kodiranje genotipa, transformacijo v fenotip in njegovo ovrednotenje s primerjavo z originalnimi fotografijami.

### 3.1 Kodiranje genotipa

Posameznik iz populacije predstavlja nabor parametrov za parametrizacijo proceduralnega modela. Posameznikov genotip  $\mathbf{x}$  kodira nabor parametrov za slednji

model. Ker je celoten proceduralni model drevesa, ki z izračunavanjem iz nabora parametrov upodobi naravno drevo, dodobra opisan v literaturi, bomo tukaj podali le seznam parametrov, ki so kodirani v genotipu, tj. jih spreminjamo z DE. V našem pristopu je dimenzija genotipa  $D = 4509$  in vsak  $x_{i,j} \in [0, 1]$  za  $i \in 1..NP$  ter  $j \in 1..D$  kodira naslednje parametre (za natančnejšo razlago glej [16]):

- število žil v drevesu  $S = 400x_{i,0} + 10 \in [10, 410]$ ,
- višino prvega odseka debla  $l_0^{0,0} = 10x_{i,1} \in [0 \text{ m}, 10 \text{ m}]$ ,
- koeficient debeline veje  $k_d = 0,05x_{i,2} \in [0, 0, 05]$ ,
- kot filotakse  $\alpha_p = 360x_{i,3} \in [0^\circ, 360^\circ]$ ,
- razmerje porazdelitve žil na podveji pri vejitvah  $k_s^{g,w} = 0,5x_{i,j} + 0,5, \forall j \in [4, 753], k_s^{g,w} \in [0, 5, 1]$ ,
- kot med izhajajočima podvejama pri delitvi  $\alpha^{g,w} = 180x_{i,j}, \forall j \in [754, 1503], \alpha^{g,w} \in [0^\circ, 180^\circ]$ ,
- zgornja meja relativne dolžine podvej glede na dolžino osnovne veje  $M^{g,w} = 20x_{i,j}, \forall j \in [1504, 2253], M^{g,w} \in [0, 20]$ ,
- spodnja meja relativne dolžine podvej glede na dolžino osnovne veje  $m^{g,w} = 20x_{i,j}, \forall j \in [2254, 3003], m^{g,w} \in [0, 20]$ ,
- skalirni faktor dolžine veje  $k_l^{g,w} = 20x_{i,j}, \forall j \in [3004, 3753], k_l^{g,w} \in [0, 20]$ ,
- gravicentralizem  $k_c = x_{i,3754} \in [0, 1]$ ,
- gravimorfizem (t. j. upogibanje vej zaradi gravitacije)  $\alpha_m^{g,w} = 360x_{i,j} - 180, \forall j \in [3755, 4504], \alpha_m^{g,w} \in [-180^\circ, 180^\circ]$ ,
- vključitev listov na drevesu  $B_l = x_{i,3505} < 0,5?0 : 1 \in \{0, 1\}$ ,
- gostoto listov  $\rho_l = 30x_{i,3507} \in [0, 30]$ ,
- velikost listov  $l_l = 0,3x_{i,3506} \in [0, 0, 3]$  in
- tip porazdelitve listov  $l_{type} = 5x_{i,3608}$  z vrednostmi *Spiral, Stacked, Staggered, Bunched* in *Coniferous*,

kjer je  $g \in [0, 15]$ ,  $w \in [0, 50]$  in po 750 realnih parametrov kodira po eno matriko matričnega parametra.

### 3.2 Transformacija iz genotipa v fenotip

Kot smo omenili v uvodu, postopek razpoznavne temelji na razpoznavi iz 2D fotografij naravnih dreves. Da bi lahko ujemanje genotipa za parametriziran proceduralni model primerjali s fotografijo naravnega drevesa  $\mathbf{z}^*$ , ga moramo transformirati v fenotip. Fenotip v našem primeru predstavlja upodobljeno sliko  $\mathbf{z}$ . Sliki  $\mathbf{z}^*$  in  $\mathbf{z}$  sta dimenzij  $X \times Y$ . Obe sliki pred dejansko primerjavo še pretvorimo v črno beli, tako da vsak piksel, ki je

različen od ozadja, postavimo na 1 (črno), ostale piksele na 0 (belo). Sliko originalnega drevesa še skaliramo na dimenzijo slike za upodabljanje proceduralnega modela. Upodobitev proceduralnega modela vzorčimo dvakrat, iz različnih kotov, z razliko  $90^\circ$ , da dobimo različne projekcije in se izognemo ploskim drevesom.

### 3.3 Primerjava fenotipa in fotografij

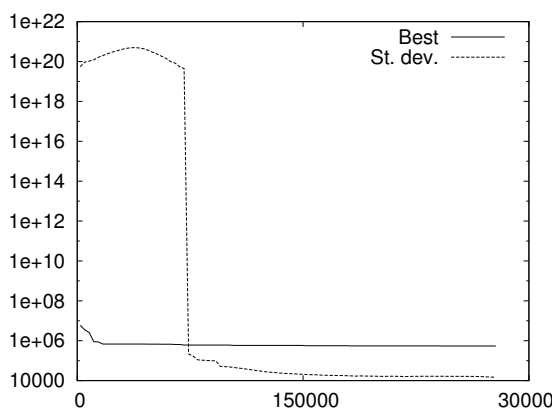
Razpoznavna je toliko bolj uspešna, kolikor so si slike fotografij dreves in slike upodobljenih parametriziranih proceduralnih modelov podobne. Izbrali smo izračun manhattanske razdalje od vsakega črnega piksla slike do najbližjega črnega piksla originalne slike in obratno [2]. Vsote razdalj smo sešteli in tako ovrednotili posamezni fenotip:

$$f(\mathbf{x}_i) = \sum_{x,y} m_1(z_{x,y}, z_{x,y}^*),$$

kjer  $m_1$  označujemo funkcijo za izračun manhattanske razdalje do najbližjega piksla v sliki  $\mathbf{z}^*$  z vrednostjo 1.

## 4 Rezultati

Algoritem smo preizkusili na testnem primeru iz slike 2. Dimenzijo vzorčenja upodabljanja parametriziranega proceduralnega modela smo nastavili na  $250 \times 250$ , največje število žil v drevesu  $S = 400$ , ter velikost populacije  $jDE$  na  $NP = 100$ , ostale parametre smo pustili privzete kot so v originalnih algoritmih iz literature. Realni čas izvajanja algoritma je bil tri dni, na dvoje-dnem procesorskem sistemu Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E7300 2.66GHz s 3GB pomnilnika, ter grafično kartico GeForce 9500 GT s 512 MB pomnilnika. Konvergenčni graf evolucijskega procesa vidimo na sliki 1. Najboljša končna ocena je bila najdena pri 275727 FEs, z vrednostjo 536914. Standardna deviacija je ostala še pri 12042,4. Iz dokaj visoke vrednosti standardne deviacije glede na oceno najboljšega posameznika lahko predvidevamo, da bi s podaljšanjem evolucijskega procesa lahko dobili še precej boljše posameznike, saj je njena vrednost glede na slednjo še vedno relativno precej visoka.



Slika 1: Konvergenčni graf evolucije,  $NP=100$ .



Slika 2: Fotografija razpoznavanega drevesa iz narave.

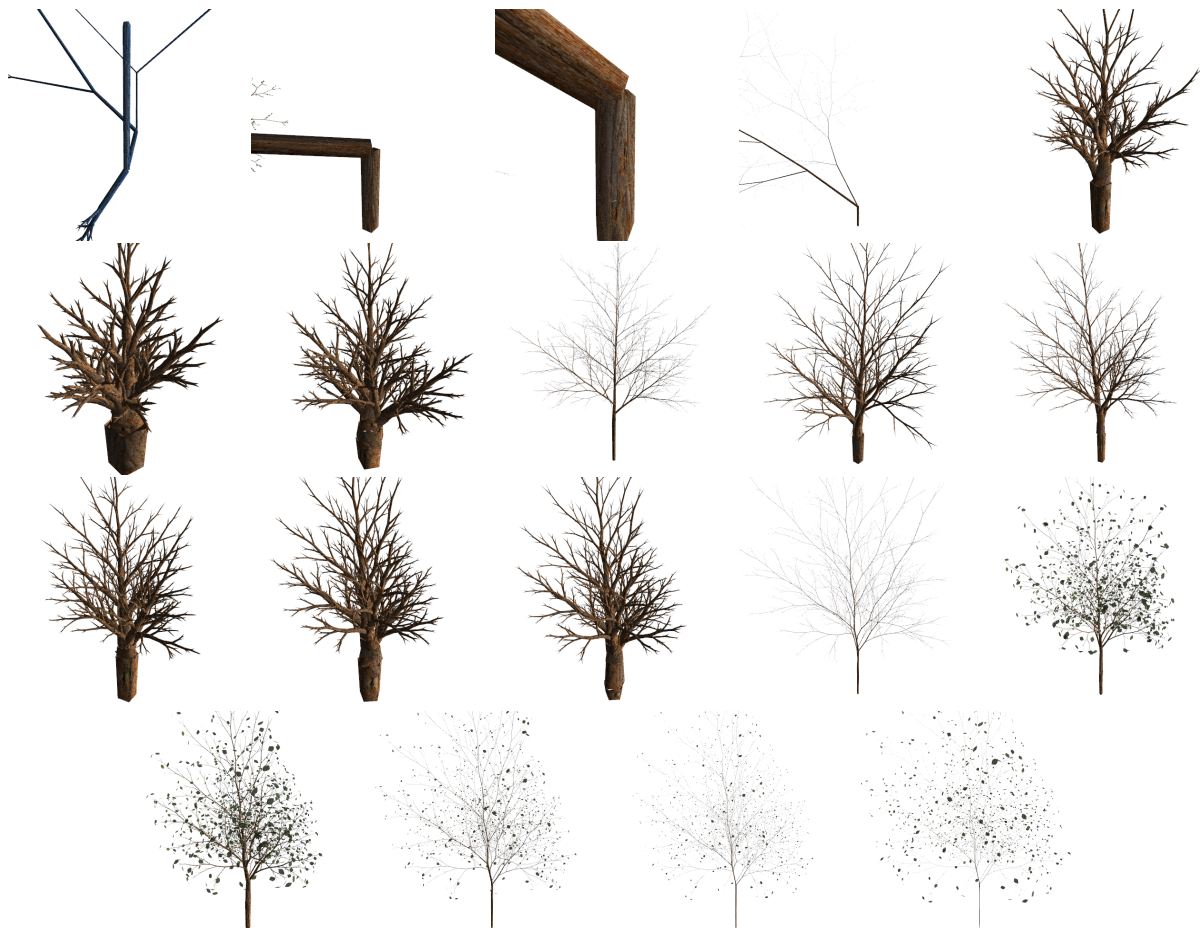
## 5 Zaključek

Predstavili smo algoritem za razpoznavo proceduralnih modelov iz fotografij naravnih dreves. Razpoznavna poteka iterativno s pomočjo diferencialne evolucije, ki naključno vzorči parametre proceduralnega modela drevesa. Slednje modele upodobimo v programskem sistemu EcoMod in dobljene slike primerjamo s fotografijami, da bi dobili čim boljše ujemanje. Prikazali smo še primer razpoznave drevesa iz fotografije in podali konvergenčni graf za izbran evolucijski zagon.

V nadaljevanju raziskovalnega dela bi lahko kakovost rezultatov dodatno statistično obdelali, z več neodvisnimi zagoni evolucijskega procesa nad enakimi fotografijami ter razpoznavo dodatnih dreves, spreminjali bi lahko tudi nastavitve evolucijskega algoritma (npr.  $NP$ ). Pri izračunu podobnosti slik bi lahko namesto črno-belih slik uporabljali vsote volumetričnih podatkov [10]. Za izboljšanje kakovosti ujemanja dobljenih parametriziranih proceduralnih modelov z referenčnimi naravnimi drevesi bi lahko uvedli dodatne metrike in v evolucijskem procesu uporabili večkriterijsko optimizacijo [13]. Za vodenje optimizacijskega procesa bi lahko uporabili tudi interaktivne metode, ki bi jih kombinirali s preferencami v evolucijskem algoritmu. Ker uporabljen programski sistem EcoMod omogoča tudi upodabljanje ekosistemov, bi lahko kasneje razpoznavali pokrajinsko geometrijo z drevesnimi ekosistemi, tako razporeditev dreves kot tudi njihove parametrizirane proceduralne modele.

## Literatura

- [1] M. Aono in T. Kunii. Botanical tree image generation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 4(5):10–34, 1984.
- [2] Darren Beaumont in Susan Stepney. Grammatical Evolution of L-systems. V: *The 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC 2009*, strani 2446–2453. IEEE Press, 2009.
- [3] J. Bloomenthal. Modeling the mighty maple. V: *SIGGRAPH '85 Conference Proceedings (San Francisco, CA, 22–26 July 1985)*, strani 305–311, 1985.
- [4] J. Brest, S. Greiner, B. Bošković, M. Mernik in V. Žumer. Self-Adapting Control Parameters in Differential Evolution: A Comparative Study on Numerical Benchmark Problems. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 10(6):646–657, 2006.



Slika 3: Upodobitve izboljšav parametriziranih proceduralnih modelov skozi evolucijo, FEs=275727.

- [5] J. Brest in M. Sepesy Maučec. Population Size Reduction for the Differential Evolution Algorithm. *Applied Intelligence*, 29(3):228–247, 2008..
- [6] J. Brest, A. Zamuda, B. Bošković, M. S. Maučec in V. Žumer. Dynamic Optimization using Self-Adaptive Differential Evolution. V: *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) 2009*, strani 415–422. IEEE Press, 2009.
- [7] J. Brest, A. Zamuda, B. Bošković in V. Žumer. An Analysis of the Control Parameters' Adaptation in DE. V: Uday K Chakraborty, urednik, *Advances in Differential Evolution, Studies in Computational Intelligence*, letnik 143, strani 89–110. Springer, 2008.
- [8] M. Holton. Strands, gravity, and botanical tree imagery. *Comput. Graph. Forum*, 13(1):57–67, 1994.
- [9] Efen Mezura-Montes in Blanca Cecilia Lopez-Ramirez. Comparing bio-inspired algorithms in constrained optimization problems. *Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on*, strani 662–669, 25–28 Sept. 2007.
- [10] Boris Neubert, Thomas Franken in Oliver Deussen. Approximate image-based tree-modeling using particle flows. V: *SIGGRAPH '07: ACM SIGGRAPH 2007 papers*, stran 88, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [11] W. Reeves. Approximate and probabilistic algorithms for shading and rendering structured particle systems. *Proceedings of SIGGRAPH'85*, strani 313–322, 1985.
- [12] R. Storn in K. Price. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 11:341–359, 1997.
- [13] A. Zamuda. Samoprilagajanje krmilnih parametrov pri algoritmu diferencialne evolucije za večkriterijsko optimizacijo. Mag. naloga, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru, 2008.
- [14] A. Zamuda, J. Brest, N. Guid in V. Žumer. Construction of Virtual Trees within Ecosystems with EcoMod Tool. *Proceedings of IPSI-2006 Slovenia, International Conference on Advances in the Internet, Processing, Systems, and Interdisciplinary Research*, 2006.
- [15] A. Zamuda, J. Brest, N. Guid in V. Žumer. Modelling, Simulation, and Visualization of Forest Ecosystems. V: *The IEEE Region 8 EUROCON 2007: International conference on "Computer as a tool", September 9-12, 2007, Warsaw, Poland*, strani 2600–2606. IEEE Press, 2007.
- [16] A. Zamuda. Modeliranje, simulacija in upodabljanje drevesnih ekosistemov. Diplomsko naloga, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, jun 2006.
- [17] A. Zamuda in D. Strnad. Interaktivni modelirnik realističnih animiranih dreves. *Zbornik trinajste mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2004*, strani 11–14, 2004.