

UNIVERZA V MARIBORU

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Dispozicija doktorske disertacije

**Diferencialna evolucija za rekonstrukcijo
parametriziranih proceduralnih drevesnih
modelov**

mag. Aleš Zamuda, univ. dipl. inž. rač. in inf.

Doktorski študijski program: Računalništvo in informatika

Datum dokumenta: 3. 7. 2011

1. Opredelitev problema

Tema doktorske disertacije je študija problematike avtomatskega modeliranja naravnih objektov na računalniku. Omejimo se na rekonstrukcijsko modeliranje trodimenzionalnih modelov olesenelih rastlin (dreves). Do nedavnega je bilo za modeliranje dreves na računalniku potrebno podati vse parametre modela, bodisi numerično, bodisi grafično. Postavi se vprašanje, kako avtomatizirati samodejno parametrizacijo parametrov modela glede na obstoječ slikovni material. Temu se ponuja odgovor v luči modeliranja z rekonstrukcijo proceduralnih modelov iz slik. Kot vhod uporabnik poda dvodimenzionalni slikovni material in modelirni postopek samodejno izračuna parametre trodimenzionalnega modela kot izhod.

Predlagamo nov pristop za modeliranje strukture geometrijskih modelov olesenelih rastlin (dreves) s pomočjo rekonstrukcije parametriziranih proceduralnih modelov. Rekonstrukcija iz dvodimenzionalnih slik (projekcij) z iterativnim optimizacijskim postopkom tvori trodimenzionalni geometrijski model. Kot optimizacijski postopek za parametrizacijo proceduralnega modela smo izbrali algoritem diferencialne evolucije. S tem algoritmom evoluiramo parametriziran proceduralni drevesni model, tako da poiščemo ustrezen nabor parametrov, s katerimi zgradimo čim bolj podobno drevo referenčnemu drevesu.

Uporabljen proceduralni model s proceduralnim postopkom rekurzivno izračuna vse sestavne dele trodimenzionalne drevesne strukture. Ponovi našo proceduro za drevesni model nad dano veliko množico numerično kodiranih vhodnih parametrov, ki služijo kot seme. Parametriziran proceduralni model je nato možno animirati.

Primerjavo modela in referenčnega drevesa opravimo na nivoju slikovnih elementov (pikslov) projekcij, tako da seštejemo razdalje med najbližjimi podobnimi piksli. Dobljeni rezultati kažejo, da je predstavljen pristop primeren za modeliranje drevesnih rastlin za računalniško animacijo, s katerim evoluiramo numerično kodiran proceduralni model. Rezultati raziskave so v objavi v znanstveni reviji Applied Soft Computing, ki izkazuje visoko citiranost na področju računalništva, pod številko DOI 10.1016/j.asoc.2011.06.009.

1.1 Sorodne raziskave

Za predstavitev 3D drevesa uporabljamo zgrajen proceduralni model [96, 94], ki ga skušamo ustrezno parametrizirati. Rekonstrukcijski postopek temelji na razpoznavi 2D fotografij naravnih dreves. Rekonstrukcija je toliko bolj uspešna, kolikor so si slike fotografij dreves in slike upodobljenih parametriziranih proceduralnih modelov podobne [8, 63]. Parametrizacija proceduralnega modela poteka postopno [79, 80], z evolucijo po vzoru iz narave, za kar uporabimo enega od trenutno svetovno najboljših evolucijskih algoritmov, algoritem jDE [15, 18, 93].

1.1.1 Diferencialna evolucija

Diferencialna evolucija (DE) [70] 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 evolucijskih algoritmov [15, 49, 53, 26]. Algoritem diferencialne evolucije [70] sestoji iz glavne evolucijske zanke, v kateri z evolucijskimi operatorji mutacije, križanja in selekcije postopno in vzporedno izboljšuje približek iskane rešitve. Evolucijski 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 ovrednotenj posameznikov pa označimo s 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 primerek preveri, ali je ocena $f(\mathbf{u}_{i,G+1})$ poskusnega vektorja boljša od ocene ciljnega vektorja $f(\mathbf{x}_{i,G})$:

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

Obstaja tudi nekaj izboljšav osnovnih mutacijskih strategij [29, 41, 83, 43, 55, 32, 62, 57, 30, 31, 50, 72, 74, 4, 34, 35, 85, 98, 98, 84, 90, 88, 22, 78, 97, 25, 61, 87, 45, 51]. Izboljšave diferencialne evolucije zajemajo tudi robustnost pri velikih dimenzijah iskalnega prostora [85, 90]. Križanje algoritma DE in evlucijskega programiranja [86] zasledimo v delu [84]. Algoritmu DE je soroden tudi algoritem optimizacije s kolonijami mravelj [39]. Boškovič in sodelavci so diferencialno evolucijo uporabljali za ugaševanje parametrov iger s popolno informacijo in ničelno vsoto [11, 10]. Algoritem DE je prav tako rotacijsko invarianten v prostoru spremenljivk [57]. Posledica tega je, da lahko dobro rešuje probleme z neločljivimi iskalnimi parametri. Takšno lastnost izkazuje precej realnih oz. industrijskih problemov [57, 30, 37, 75, 77, 100, 47, 82, 52]. Zaradi svoje uspešnosti je algoritem DE bil že večkrat uporabljen tudi za večkriterijsko optimizacijo [2, 1, 44, 6, 7, 36, 21, 66, 76, 89, 69, 73, 3, 99, 92, 91, 40].

Poznamo več različic algoritma DE, izmed katerih smo izbrali algoritem jDE [15]. Algoritem jDE vključuje mehanizem samoprilagajanja krmilnih parametrov F in CR , ki so ga uvedli Brest s sod. [15]. Algoritem jDE pozna še številne razširitve, kot so [14, 12, 19, 16, 17, 13, 18, 20], ki v tej študiji niso vključene.

1.1.2 Numerično kodirani proceduralni model drevesa

Za predstavitev modela drevesa smo uporabili numerično kodirani proceduralni model iz programskega sistema EcoMod, prvič predstavljenega v [96] in natančneje opisanega v [94]. 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 [95].

Izbran model se od nekaterih drugih modelov [5, 9, 33, 81, 48, 65, 56, 67, 46, 71, 60, 58, 59, 42, 28, 27, 54, 24, 64, 68, 38, 23] razlikuje v tem, da je popolnoma numerično kodiran in je nespremenljive dimenzije. To nam omogoča uporabo diferencialne evolucije, ki se dobro obnese nad problemi z velikimi dimenzijami [90].

2. Cilji doktorske disertacije

Temeljni cilj doktorske disertacije je razviti evolucijski algoritem, ki bo omogočal rekonstrukcijo parametriziranih proceduralnih modelov olesenih rastlin iz slikovnih projekcij referenčnih objektov.

2.1 Teze doktorske disertacije

Hipoteza 1: Z našim proceduralnim modelom je možno izvesti evolucijski proces iskanja parametriziranih proceduralnih modelov.

Hipoteza 2: Algoritem diferencialne evolucije je primeren za iterativno rekonstrukcijo parametriziranih proceduralnih modelov dreves.

Hipoteza 3: Algoritem diferencialne evolucije s samoprilagodljivimi krmilnimi parametri je za naš postopek učinkovitejši od osnovnega algoritma diferencialne evolucije brez samoprilagajanja krmilnih parametrov.

2.2 Pričakovani izvorni znanstveni prispevki

V disertaciji bomo razvili rekonstrukcijski postopek. Pričakujemo, da bomo prišli do naslednjih novosti:

- razvoj lastnega modela in upodabljalnika dreves, ki omogoča hitro animacijo,
- razvoj kodirnega pogleda na proceduralni model v evolucijskem algoritmu,
- razvoj algoritma za izris projekcij parametriziranega proceduralnega drevesa,
- razvoj algoritma za primerjavo optimiranih modelov z referenčnimi projekcijami,
- uporaba samoprilagodljive diferencialne evolucije v rekonstrukcijem postopku in
- kakovostna primerjava diferencialne evolucije s samoprilagodljivimi krmilnimi parametri napram nespremenljivim krmilnim parametrom za naš optimizacijski postopek.

3. Predpostavke in omejitve

Pri rekonstrukciji naravnih objektov se bomo omejili na rekonstrukcijo drevesnih modelov. Omejili se bomo na postopke, ki so trenutno izračunljivostno učinkoviti, zato ne bomo uporabljali genetskega programiranja in semen proceduralnih modelov s spremljivo dolžino. Pri uporabljanju dreves se bomo omejili na uporabo odprtokodnega paketa EcoMod, pri evlucijskih algoritmi na diferencialno evolucijo. Pri rekonstrukciji predpostavljamo določeno mero samopodobnosti sestavnih delov dreves, ki jo kodiramo v rekurzivni proceduri razvitega modela.

4. Predvidene metode raziskovanja

Raziskave bomo izvedli tako, da bomo predstavljen rekonstrukcijski algoritem implementirali in preizkusili s pomočjo odprtokodnega paketa EcoMod. Vanj bomo vključili algoritem diferencialne evolucije in poskrbeli za pretvorbo podatkov med algoritmom diferencialne evolucije in algoritmom za upodabljanje drevesnega modela. Prosto dostopen odprtokodni programski paket EcoMod avtorja mag. A. Zamude je prosto dostopen na spletnem naslovu <http://ecomod.sourceforge.net>. Dobljene rezultate raziskav bomo predstavili strokovni javnosti, s prispevki na nacionalnih in mednarodnih konferencah in v mednarodnih znanstvenih revijah s faktorjem vpliva.

5. Predvidena poglavja in podpoglavja

1 Uvod

2 Sorodna dela in ozadje

2.1 Proceduralni drevesni modeli

2.2 Modeliranje s slikovnimi pristopi

2.3 Diferencialna evolucija

3 Diferencialna evolucija za rekonstrukcijo parametriziranih proceduralnih drevesnih modelov

3.1 Kodiranje genotipa

3.2 Transformacija iz genotipa v fenotip

3.3 Primerjava fenotipa

4 Eksperimentalni rezultati

4.1 Nastavitve parametrov

4.2 Primeri rezultatov rekonstrukcije

4.3 Vpliv velikosti populacije

4.4 Vpliv samoprilagajanja krmilnih parametrov

5 Zaključek

5.1 Spoznanja

5.2 Nadaljnje delo

6. Osnovna literatura

- [1] H. A. Abbass. The self-adaptive Pareto differential evolution algorithm. V *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation, 2002*, številka 1, strani 831–836, 2002.
- [2] H. A. Abbass, R. Sarker in C. Newton. PDE: A Pareto-frontier Differential Evolution Approach for Multi-objective Optimization Problems. V *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation 2001*, številka 2, strani 971–978, Piscataway, New Jersey, 2001. IEEE Service Center.
- [3] B. Alatas, E. Akin in A. Karci. MODENAR: Multi-objective differential evolution algorithm for mining numeric association rules. *Applied Soft Computing*, 8(1):646–656, 2008.
- [4] M. M. Ali. Differential evolution with preferential crossover. *European Journal of Operational Research*, 127(3):1137–1147, 2007.
- [5] M. Aono in T. Kunii. Botanical tree image generation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 4(5):10–34, 1984.
- [6] B. V. Babu in M. M. Leenus Jehan. Differential Evolution for Multi-Objective Optimization. V *Proceedings of the 2003 Congress on Evolutionary Computation (CEC 2003)*, številka 4, strani 2696–2703, Canberra, Australia, 2003. IEEE Press.
- [7] B. V. Babu, J. H. Syed Mubeen in P. G. Chakole. Multiobjective Optimization Using Differential Evolution. *TechGenesis – The Journal of Information Technology*, 2(2):4–12, 2005.
- [8] D. Beaumont in S. Stepney. Grammatical Evolution of L-systems. V *The 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC 2009*, strani 2446–2453. IEEE Press, 2009.
- [9] J. Bloomenthal. Modeling the mighty maple. V *SIGGRAPH '85 Conference Proceedings, San Francisco, CA, 22–26 July 1985*, urednik: B. A. Barsky, strani 305–311, 1985.

- [10] B. Bošković, J. Brest, A. Zamuda, S. Greiner in V. Žumer. History Mechanism Supported Differential Evolution for Chess Evaluation Function Tuning. *Soft Computing – A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 15(4):667–682, 2011.
- [11] B. Bošković, S. Greiner, J. Brest in V. Žumer. A Differential Evolution for the Tuning of a Chess Evaluation Function. V *The 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC 2006*, strani 6742–6747. IEEE Press, 2006.
- [12] J. Brest. Constrained Real-Parameter Optimization with ϵ -Self-Adaptive Differential Evolution. V *Constraint-Handling in Evolutionary Optimization*, strani 73–93. Springer, 2009.
- [13] J. Brest. Differential Evolution with Self-Adaptation. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*, strani 488–493, 2009.
- [14] J. Brest, B. Bošković, S. Greiner, V. Žumer in M. Sepesy Maučec. Performance comparison of self-adaptive and adaptive differential evolution algorithms. *Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 11(7):617–629, 2007.
- [15] 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.
- [16] J. Brest in M. Sepesy Maučec. Population Size Reduction for the Differential Evolution Algorithm. *Applied Intelligence*, 29(3):228–247, 2008.
- [17] J. Brest, A. Zamuda, B. Bošković, M. Sepesy Maučec in V. Žumer. High-dimensional Real-parameter Optimization Using Self-adaptive Differential Evolution Algorithm with Population Size Reduction. V *2008 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, strani 2032–2039. IEEE Press, 2008.
- [18] J. Brest, A. Zamuda, B. Bošković, M. Sepesy Maučec in V. Žumer. Dynamic Optimization using Self-Adaptive Differential Evolution. V *IEEE Congress on Evolutionary Computation 2009*, strani 415–422. IEEE Press, 2009.
- [19] J. Brest, A. Zamuda, B. Bošković in V. Žumer. An Analysis of the Control Parameters' Adaptation in DE. V *Advances in Differential Evolution, Studies in Computational Intelligence*, urednik: Uday K Chakraborty, številka 143, strani 89–110. Springer, 2008.

- [20] J. Brest, A. Zamuda, I. Fister in M. Sepesy Maučec. Large Scale Global Optimization using Self-adaptive Differential Evolution Algorithm. V *IEEE World Congress on Computational Intelligence 2010, July 18 - 23, Barcelona, Spain*, strani 3718–3725, 2008.
- [21] D. Büche, P. Stoll, R. Dornberger in P. Kourmoursakos. Multiobjective Evolutionary Algorithm for the Optimization of Noisy Combustion Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C—Applications and Reviews*, 32(4):460–473, 2002.
- [22] A. Caponio, F. Neri in V. Tirronen. Super-fit control adaptation in memetic differential evolution frameworks. *Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 13(8):811–831, 2009.
- [23] X. Chen, B. Neubert, Y.-Q. Xu, O. Deussen in S. B. Kang. Sketch-based tree modeling using markov random field. V *SIGGRAPH Asia '08: ACM SIGGRAPH Asia 2008 papers*, strani 1–9, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [24] N. Chiba, K. Muraoka, A. Doi in J. Hosokawa. Rendering of forest scenery using 3D textures. *Journal of Visualization and Computer Animation*, 8(4):191–199, 1997.
- [25] S. Das, A. Abraham, U.K. Chakraborty in A. Konar. Differential Evolution Using a Neighborhood-based Mutation Operator. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(3):526–553, 2009.
- [26] S. Das in P. N. Suganthan. Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-art. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 15(1):4–31, 2011.
- [27] O. Deussen, C. Colditz, M. Stamminger in G. Drettakis. Interactive visualization of complex plant ecosystems. V *Proceedings of the conference on Visualization 2002*, strani 219–226, 2002.
- [28] O. Deussen, P. Hanrahan, B. Lintermann, R. Mech, M. Pharr in P. Prusinkiewicz. Realistic modeling and rendering of plant ecosystems. V *Proceedings of SIGGRAPH '98*, strani 275–286, 1998.
- [29] H.-Y. Fan in J. Lampinen. A Trigonometric Mutation Operation to Differential Evolution. *Journal of Global Optimization*, 27(1):105–129, 2003.

- [30] V. Feoktistov. *Differential Evolution: In Search of Solutions (Springer Optimization and Its Applications)*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2006.
- [31] D. B. Fogel. *Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence, Third Edition (IEEE Press Series on Computational Intelligence)*. Wiley-IEEE Press, Hoboken, New Jersey, 2006.
- [32] A. G. Hernández-Díaz, L. V. Santana-Quintero, C. Coello Coello, R. Caballero in J. Molina. A new proposal for multi-objective optimization using differential evolution and rough sets theory. V *Proceedings of the 8th annual conference on Genetic and evolutionary computation — GECCO 2006*, številka 1, strani 675–682, 2006.
- [33] M. Holton. Strands, gravity, and botanical tree imagery. *Comput. Graph. Forum*, 13(1):57–67, 1994.
- [34] V. L. Huang, A. K. Qin in P. N. Suganthan. Self-adaptive Differential Evolution Algorithm for Constrained Real-Parameter Optimization. V *2006 Congress on Evolutionary Computation (CEC 2006)*, strani 17–24. IEEE Service Center, 2006.
- [35] V. L. Huang, A. K. Qin, P. N. Suganthan in M. F. Tasgetiren. Multi-objective Optimization based on Self-adaptive Differential Evolution. V *The 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC 2007*, strani 3601–3608. IEEE Press, 2007.
- [36] V. L. Huang, P. N. Suganthan, A. K. Qin in S. Baskar. Multiobjective Differential Evolution with External Archive and Harmonic Distance-Based Diversity Measure. Technical Report TR-07-01, Nanyang Technological University, Singapore, 2006.
- [37] R. Joshi in A.C. Sanderson. Minimal representation multisensor fusion using differential evolution. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 29(1):1083–4427, 1999.
- [38] J. Klein. Breve: a 3D environment for the simulation of decentralized systems and artificial life. *Artificial life eight*, stran 329, 2003.
- [39] P. Korošec, J. Šilc in B. Filipič. The differential ant-stigmergy algorithm. *Information Sciences*, 2012. DOI: 10.1016/j.ins.2010.05.002.

- [40] S. Kukkonen in J. Lampinen. Performance Assessment of Generalized Differential Evolution 3 (GDE3) with a Given Set of Problems. V *The 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC 2007*, strani 3593–3600. IEEE Press, 2007.
- [41] K. Liang, X. Yao in C. Newton. Adapting Self-adaptive Parameters in Evolutionary Algorithms, 2001.
- [42] B. Lintermann in O. Deussen. Interactive modeling of plants. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(1):56–65, 1999.
- [43] J. Liu in J. Lampinen. A Fuzzy Adaptive Differential Evolution Algorithm. *Soft Comput.*, 9(6):448–462, 2005.
- [44] N. K. Madavan. Multiobjective Optimization Using a Pareto Differential Evolution Approach. V *Congress on Evolutionary Computation*, številka 2, strani 1145–1150, Piscataway, New Jersey, 2002. IEEE Service Center.
- [45] R. Mallipeddi, P. N. Suganthan, Q. K. Pan in M. F. Tasgetiren. Differential evolution algorithm with ensemble of parameters and mutation strategies. *Applied Soft Computing*, 11(2):1679–1696, 2011.
- [46] B. Mandelbrot. *The fractal geometry of nature*. Freeman, San Francisco, 1982.
- [47] U. Maulik in I. Saha. Modified differential evolution based fuzzy clustering for pixel classification in remote sensing imagery. *Pattern Recognition*, 42(9):2135–2149, 2009.
- [48] R. Mech in P. Prusinkiewicz. Visual models of plants interacting with their environment. V *Proceedings of SIGGRAPH '96*, strani 397–410, 1996.
- [49] E. Mezura-Montes in B. C. Lopez-Ramirez. Comparing bio-inspired algorithms in constrained optimization problems. *The 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, strani 662–669, 25–28 Sept. 2007.
- [50] E. Mezura-Montes, J. Velázquez-Reyes in C. A. Coello Coello. A comparative study of differential evolution variants for global optimization. V *GECCO 2006: Proceedings of the 8th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, strani 485–492, New York, NY, USA, 2006. ACM Press.
- [51] E. Mininno, F. Neri, F. Cupertino in D. Naso. Compact Differential Evolution. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 15(1):32–54, 2011.

- [52] F. Neri in E. Mininno. Memetic compact differential evolution for cartesian robot control. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 5(2):54–65, 2010.
- [53] F. Neri in V. Tirronen. Recent Advances in Differential Evolution: A Survey and Experimental Analysis. *Artificial Intelligence Review*, 33(1–2):61–106, 2010.
- [54] B. Neubert, T. Franken in O. Deussen. Approximate image-based tree-modeling using particle flows. *ACM Trans. Graph.*, 26(3):88, 2007.
- [55] M. G. Omran, A. Salman in A. P. Engelbrecht. Self-adaptive Differential Evolution. V *Computational intelligence and security*, strani 192–199, 2005.
- [56] P. E. Oppenheimer. Real time design and animation of fractal plants and trees. *Computer Graphics*, 20(4):55–64, 1986.
- [57] K. V. Price, R. M. Storn in J. A. Lampinen. *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*. Natural Computing Series. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2005.
- [58] P. Prusinkiewicz, M. Hammel, R. Měch in J. Hanan. The artificial life of plants. V *Artificial Life for Graphics, Animation, and Virtual Reality*, številka 7 iz *SI-GGRAPH'95 Course Notes*, strani 1–38. ACM, ACM Press, 1995.
- [59] P. Prusinkiewicz, M. Hammel, J. Hanan in R. Měch. L-systems: From the theory to visual models of plants. V *Plants to Ecosystems*, urednik: Marek T. Michalewicz, številka 1 iz *Advances in Computational Life Sciences*, poglavje 1, strani 1–27. CSIRO Publishing, P.O. Box 1139, Collingwood 3066, Australia, 1997.
- [60] P. Prusinkiewicz in A. Lindenmayer. *The Algorithmic Beauty of Plants*. Springer-Verlag, 1990.
- [61] A. K. Qin, V. L. Huang in P. N. Suganthan. Differential evolution algorithm with strategy adaptation for global numerical optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(2):398–417, 2009.
- [62] A. K. Qin in P. N. Suganthan. Self-adaptive Differential Evolution Algorithm for Numerical Optimization. V *Proceedings of the 2005 Congress on Evolutionary Computation*, številka 2, strani 1785–1791. IEEE Press, 2005.
- [63] L. Quan. *Image-Based Modeling*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition, 2010.

- [64] T. S. Ray. Evolution and optimization of digital organisms. *Scientific excellence in supercomputing: The IBM*, strani 489–531, 1990.
- [65] W. Reeves. Approximate and probabilistic algorithms for shading and rendering structured particle systems. *Proceedings of SIGGRAPH'85*, strani 313–322, 1985.
- [66] T. Robič in B. Filipič. DEMO: Differential Evolution for Multiobjective Optimization. V *Proceedings of the Third International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization – EMO 2005*, številka 3410 iz *Lecture Notes in Computer Science*, strani 520–533. Springer, 2005.
- [67] A. Runions, B. Lane in P. Prusinkiewicz. Modeling trees with a space colonization algorithm. *Prague, Czech Republic*, strani 63–70, 2007.
- [68] A. Samal, J.R. Brandle in D. Zhang. Texture as the basis for individual tree identification. *Information Sciences*, 176(5):565–576, 2006.
- [69] L. V. Santana-Quintero in C. A. Coello Coello. An Algorithm Based on Differential Evolution for Multi-Objective Problems. *International Journal of Computational Intelligence Research*, 1(2):151–169, 2005.
- [70] 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.
- [71] D. Strnad in N. Guid. Modeling trees with hypertextures. *Comput. Graph. Forum*, 23(2):173–188, 2004.
- [72] T. Takahama, S. Sakai in N. Iwane. Solving Nonlinear Constrained Optimization Problems by the ϵ Constrained Differential Evolution. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2006 (SMC 2006)*, 3:2322–2327, 2006.
- [73] K.C. Tan, Y.J. Yang in C.K. Goh. A distributed Cooperative coevolutionary algorithm for multiobjective optimization. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 10(5):527–549, 2006.
- [74] J. Teo. Exploring dynamic self-adaptive populations in differential evolution. *Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 10(8):673–686, 2006.

- [75] V. Tirronen, F. Neri, T. Kärkkäinen, K. Majava in T. Rossi. An enhanced memetic differential evolution in filter design for defect detection in paper production. *Evolutionary Computation*, 16(4):529–555, 2008.
- [76] T. Tušar in B. Filipič. Differential Evolution versus Genetic Algorithms in Multi-objective Optimization. V *Proceedings of the Fourth International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization – EMO 2007*, številka 4403 iz *Lecture Notes in Computer Science*, strani 257–271. Springer, 2007.
- [77] T. Tušar, P. Korošec, G. Papa, B. Filipič in J. Šilc. A comparative study of stochastic optimization methods in electric motor design. *Applied Intelligence*, 2(27):101–111, 2007.
- [78] J. Tvrđik. Adaptation in differential evolution: A numerical comparison. *Applied Soft Computing*, 9(3):1149–1155, 2009.
- [79] S. von Mammen in C. Jacob. Genetic Swarm Grammar Programming: Ecological Breeding Like a Gardener. V *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, urednika: Dipti Srinivasan in Lipo Wang, strani 851–858, Singapore, 25-28 September 2007. IEEE Computational Intelligence Society, IEEE Press.
- [80] S. von Mammen in C. Jacob. The Evolution of Swarm Grammars: Growing Trees, Crafting Art and Bottom-Up Design. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 4(3):10–19, 2009.
- [81] J. Weber in J. Penn. Creation and rendering of realistic trees. *Proceedings of SIGGRAPH '95*, strani 119–128, 1995.
- [82] M. Weber, F. Neri in V. Tirronen. A Study on Scale Factor in Distributed Differential Evolution. *Information Sciences*, 181(12), 2011.
- [83] F. Xue, A. C. Sanderson in R. J. Graves. Pareto-based Multi-Objective Differential Evolution. V *Proceedings of the 2003 Congress on Evolutionary Computation*, številka 2, strani 862–869, Canberra, Australia, 2003. IEEE Press.
- [84] Z. Yang, J. He in X. Yao. Making a Difference to Differential Evolution. V *Advances in Metaheuristics for Hard Optimization*, urednika: Zbigniew Michalewicz in Patrick Siarry, *Lecture Notes in Computer Science*, strani 397–414, Berlin, 2008. Springer.

- [85] Z. Yang, K. Tang in X. Yao. Differential Evolution for High-Dimensional Function Optimization. V *Proceedings of the 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC 2007*, strani 3523–3530, Singapore, 25-28 September 2007.
- [86] X. Yao, Y. Liu in G. Lin. Evolutionary Programming Made Faster. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 3(2):82–102, 1999.
- [87] E. L. Yu in P. N. Suganthan. Ensemble of niching algorithms. *Information Sciences*, 180(15), 2010.
- [88] D. Zaharie. Influence of crossover on the behavior of Differential Evolution Algorithms. *Applied Soft Computing*, 9(3):1126–1138, 2009.
- [89] A. Zamuda, J. Brest, B. Bošković in V. Žumer. Differential Evolution for Multiobjective Optimization with Self Adaptation. V *The 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC 2007*, strani 3617–3624. IEEE Press, 2007.
- [90] A. Zamuda, J. Brest, B. Bošković in V. Žumer. Large Scale Global Optimization Using Differential Evolution with Self Adaptation and Cooperative Co-evolution. V *2008 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, strani 3719–3726. IEEE Press, 2008.
- [91] A. Zamuda, J. Brest, B. Bošković in V. Žumer. Študija samoprilagajanja krmilnih parametrov pri algoritmu DEMOWSA. *Elektrotehniški vestnik*, 75(4):223–228, 2008.
- [92] A. Zamuda, J. Brest, B. Bošković in V. Žumer. Differential Evolution with Self-adaptation and Local Search for Constrained Multiobjective Optimization. V *IEEE Congress on Evolutionary Computation 2009*, strani 195–202. IEEE Press, 2009.
- [93] A. Zamuda, J. Brest, B. Bošković in V. Žumer. Woody Plants Model Recognition by Differential Evolution. V *The Fourth International Conference on Bioinspired Optimization Methods and their Applications, May 20 - 21 2010, Ljubljana, Slovenia*, strani 205–215, 2010.
- [94] A. Zamuda, J. Brest, N. Guid in V. Žumer. Construction of Virtual Trees within Ecosystems with EcoMod Tool. V *Proceedings of IPSI-2006 Slovenia, International Conference on Advances in the Internet, Processing, Systems, and Interdisciplinary Research*, stran 15, 2006.

- [95] 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.
- [96] A. Zamuda in D. Strnad. Interaktivni modelirnik realističnih animiranih dreves. *Zbornik trinajste mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2004*, strani 11–14, 2004.
- [97] J. Zhang in A. C. Sanderson. JADE: adaptive differential evolution with optional external archive. *Trans. Evol. Comp*, 13(5):945–958, 2009.
- [98] J. Zhang in A.C. Sanderson. JADE: Self-adaptive differential evolution with fast and reliable convergence performance. *Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on*, strani 2251–2258, 25-28 Sept. 2007.
- [99] K. Zielinski in R. Laur. Differential Evolution with Adaptive Parameter Setting for Multi-Objective Optimization. V *The 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation CEC 2007*, strani 3585–3592. IEEE Press, 2007.
- [100] K. Zielinski, P. Weitkemper, R. Laur in K.-D. Kammeyer. Optimization of Power Allocation for Interference Cancellation With Particle Swarm Optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(1):128–150, 2008.

7. Pregled izvirnosti teme

7.1 Utemeljitev izvirnosti teme

Tema obravnava problem modeliranja dreves. Ta problem so raziskovalci reševali na različne načine, kot je razvidno iz podpoglavja 1.1. Mi se bomo tega problema lotili z algoritmom diferencialne evolucije, ki uporablja programski paket EcoMod za upodabljanje drevesnih modelov. Pri tem bo potrebno parametre proceduralnega modela ustrezno predstaviti v evolucijskem algoritmu in razviti metodo za primerjavo evoluiranih projekcij. Izvirnost teme potrjujejo poizvedbe v naslednjem podpoglavju.

7.2 Informacije o opravljenih poizvedbah

S pomočjo servisa ProQuest (<http://proquest.umi.com/login>), ki omogoča hkratno iskanje po bazah podatkov ProQuest Central, ABI/INFORM Global, ProQuest Computing, ProQuest Dissertations and Theses - A&I, ProQuest Social Science Journals in ProQuest Telecommunications, smo opravili poizvedbe. Poizvedbe s številom zadetkov so prikazane v tabeli 7.1. Za predlagan način modeliranja dreves z diferencialno evolucijo rekonstrukcije proceduralnega modela, poizvedbe niso dale zadetkov.

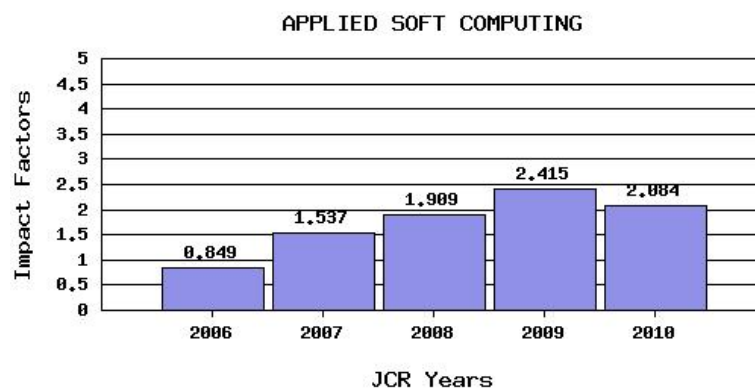
7.3 Sprejet članek v reviji JCR

Revija Applied Soft Computing (ASC) je indeksirana v JCR in spada na področje računalništva. Revija ASC pokriva računalniški kategoriji umetna inteligenca in interdisciplinarne aplikacije. Za leto 2009 (podatki ob pošiljanju in sprejetju članka) in 2010 (najnovejši podatki, julij 2011) revija po JCR spada za kategorijo interdisciplinarne aplikacije v prvi kvartil. Za leto 2010 spada revija za kategorijo umetna inteligenca v drugi kvartil in za leto 2009 v prvi kvartil. Faktor vpliva v letu 2009 je 2.415 in v letu 2010 2.084 (slika 7.1). Sprejeta objava:

A. Zamuda, J. Brest, B. Bošković, V. Žumer. Differential Evolution for Parameterized Procedural Woody Plant Models Reconstruction. Applied Soft Computing, v tisku. DOI 10.1016/j.asoc.2011.06.009.

Tabela 7.1: Poizvedbe iz baze podatkov ProQuest (3. 7. 2011)

Iskani niz	Vsi viri	Disertacije
tree	5492104	108234
woody plant	20622	2620
structure reconstruction	296	104
procedural model	1143	399
differential evolution	1664	340
image based modeling	9663	4254
numerical encoding	45	14
tree procedural model	145	71
differential evolution structure reconstruction	27	10
differential evolution tree	236	74
woody plant structure reconstruction	8	4
differential evolution procedural model	29	3
differential evolution tree modelling	6	2
differential evolution "image based modeling"	0	0
differential evolution woody plant modelling	0	0
differential evolution woody plant reconstruction	0	0
differential evolution woody plant structure reconstruction	0	0
differential evolution tree "image based modeling"	0	0
differential evolution woody plant "image based modeling"	0	0
differential evolution parameterized procedural woody plant models reconstruction	0	0



Slika 7.1: Faktor JCR revije ASC. Vir: <http://admin-apps.isiknowledge.com>, julij 2011.