

Evolutionary Computation Design

Arne Riekstiņš, Riga Technical University

ABSTRACT. The evolutionary computation design and the experiment with the plug-in *Genr(8)* of the three-dimensional modelling software *Maya* have been evaluated in this article. During the author's experiments, the plug-in *Genr(8)* has been mastered to find out the possibilities for morphogenesis, "growing" digital evolutionary algorithms. Also the genetic growth has been researched, finding a suitable conceptual spatial architectural configuration between two surfaces. The base for design has been an in-depth testing of various evolutionary units, until a satisfactory and suitable result reflects in architectural qualities. This experiment has proven that the evolutionary computation has a major potential in creating novel, computer generated forms.

KEYWORDS: artificial intelligence, evolutionary computation, iterative progress.

This article analyzes the designing experience of using the evolutionary computation method. The author has performed a series of experiments with a plug-in called *Genr(8)* for a three-dimensional modelling software *Maya*. It is one of the most advanced plug-ins of software that is completely based on the evolutionary computation method. Evolutionary computation is one of the possible strategies in studies of forms with the help of artificial intelligence. The modern definition of artificial intelligence (AI) is "the study and design of intelligent agents" where an intelligent agent is a system that perceives its environment and takes actions which maximize its chances of success. In computer science, evolutionary computation is a subfield of artificial intelligence and is the general term for several computational techniques which are based to some degree on the evolution of biological life in the natural world. Evolutionary computation uses iterative progress, such as growth or development in a population. This population is then selected in a guided random search using parallel processing to achieve the desired end. In biology, evolution is a change in the inherited traits of a population from one generation to the next. This process causes organisms to change over time. Inherited traits are the expression of genes that are passed on to offspring during reproduction. Mutations in genes can produce new or altered traits, resulting in the appearance of heritable differences between organisms. Such new traits also come from the transfer of genes between populations, as in migration, or between species, in horizontal gene transfer. Evolution occurs when these heritable differences become more common or rare in a population, either randomly through natural selection or randomly through genetic drift. Evolutionary algorithms (EA) form a subset of evolutionary computation, which generally involves techniques implementing mechanisms inspired by biological evolution such as reproduction, mutation, recombination, natural selection and survival of the fittest [2, 109]. All of these functions have been implemented in the software plug-in *Genr(8)*, and they may be used for innovative architectural design.

I. SOFTWARE PLUG-IN *GENR(8)*

Genr(8) developed by Martin Hemberg, Peter Testa and Una-May O'Reilly at MIT (Massachusetts Institute of Technology) is an EA based plug-in application. The particular EA used in *Genr(8)* is called grammatical evolution (GE) and is designed to grow complex morphologies in simulated physical environments [2, 109].

Genr(8) is a Maya plug-in that is built on concepts about pure genetics, applied to software or to computational systems. At MIT it was designed by Emergent Design Group of the Genetic Evolutionary Unit. Mathematical growth was combined with computation. The program structure combines three-dimensional map L-systems to abstract physical environment. The three-dimensional formal configuration can be obtained by means of using the engine of L-systems together with a genetic engine.

Evolutionary processes enable to obtain a huge variety of results. *Genr(8)* has crossover, mutation, off-spring etc., amongst other evolutionary features. The L-systems only function according to the rules that are set up initially, but the virtual environment advances variety of the evolution. Depending on environment and parameters, every time the result will be different. Possible environments for growth are the following: closed environment (where surfaces will grow inside closed polygonal containers, dealing with environmental force fields), in-between environment (surfaces grow through a polygonal environment rising over it and dealing with environmental force fields) and open space (only grammars and environmental force fields will determine the evolution). More parameters are possible to control, including gravity magnitude and direction, wall behaviour, random noise, tiling, population size, generations, fitness in terms of smoothness, weight and undulation.

II. FORM FINDING WITHOUT FUNCTION

Such ways of work that can be achieved by using *Genr(8)* lead to form finding without function. Normally, it is difficult finding or designing a form with geometry and not knowing its function. In modernism there was a popular statement: "Form follows function." This was first announced by architect Louis H. Sullivan in one of his articles, published in 1896 [1]. It means that function has to exist autonomously, without the need for form in context where the form could be. In this case function should be somewhere around, but in nature it doesn't exist. In evolutionary principles of biology this makes no sense at all. Nature has been producing thousands of very effective forms. The matter is very expensive, but the shape is for free. Everything in nature is very effectively created, each leaf of the tree takes a lot of energy and substance. That is why nature thinks of doing things properly. Shaping without function is one of the strategies. It is a real research if we do not know what we are searching for. Various different tools may be used in the search for form. The creation of *Genr(8)* took more than five years.

Genetic computation is a huge field, because computation is a system. Genetic computation program platform is not a challenge to use software to facilitate drawing, but rather to use it as an artificial intelligence. Such software can do, what can not be done in a traditional way. It is important to understand that this is only a tool that can be used to create a new working method [2, III], although it is a very advanced tool.

For a designer, the tool itself is a central part of the design process. Increasingly powerful computers give designers entirely new possibilities but in order to be useful, a designer has to be able to use it comfortably. Computation allows for more exploration than would be possible with just a pen and a paper and it can be viewed as a new paradigm in architecture. Today there are several computer aided design (CAD) tools available. The problem with these tools is that they can be categorized as drawing aids (nevertheless powerful ones). They are not generative or creative in any sense and they do not provide any help on that part. The architect still has to come up with what to draw. The goal for developers of *Genr(8)* (Emergent Design Group) was to develop a tool that stimulates work and cooperates with the designer and helps to come up with new ideas.

Another novelty that has recently been introduced to the field of architecture is new materials. This has brought a radical change to how a building can be constructed. New materials and new technologies provide new ways for the creation of form. It is possible to create and combine structural elements in technically more advanced level. A famous example of this is the Guggenheim Museum in Bilbao, Spain. To explore these new and creative concepts, architects need new innovative computation tools, including the evolutionary computation method. The artificial life plays a huge role here. Emergence is a phenomenon that is particularly well suited to study with the aid of computers. It also harbours many interesting concepts that so far have not been explored for use within the field of architecture. Nevertheless, it is a concept that architects can easily grasp, and it is something that they use in their work. However, architects lack adequate software tools to exploit and harness the concept of emergence [3].

III. AN EVOLUTIONARY COMPUTATION EXPERIMENT, MADE WITH *GENR(8)*

Working in *Genr(8)* involves exploration towards evolutionary computation in several phases of work. *Genr(8)* plug-in application has been explored and the research has been conducted on morphogenesis capability of this tool for obtaining evolutionary algorithms that were digitally grown. During these experiments, all the experiments have been registered systematically, noting details about generative grammar, parameter manipulation and environmental conditions. The focus has been set on the understanding of the relation between grammars and their resulting morphologies, as well as their geometric properties. Initially the usage of *Genr(8)* is quite difficult, because only after mastering and calibrating all the settings it becomes clear how they affect the results of the work. The aim of this experiment was to understand evolutionary computation as generative processes for morphogenesis and speculate on inherent possible architectural futures.

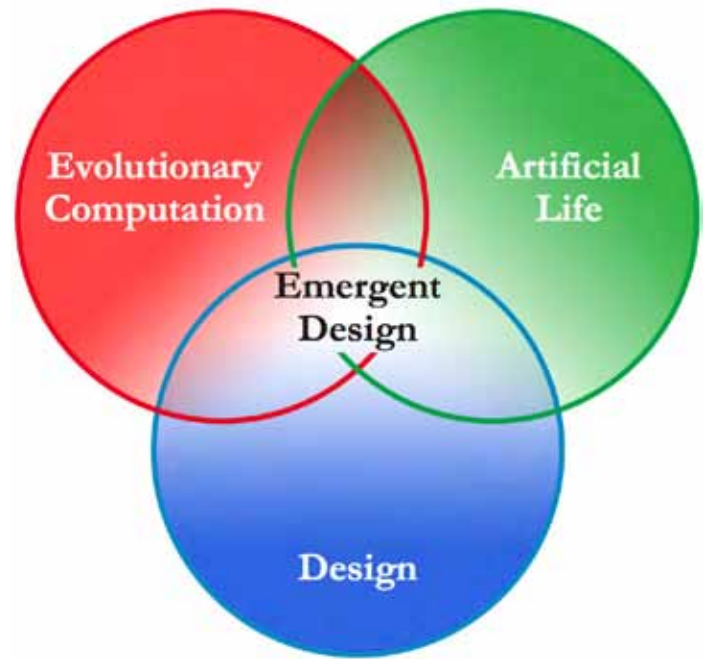


Fig. 1. *Genr(8)* belongs to the field of Emergent Design – a combination of Evolutionary Computation, Artificial Life and Design.

Genetic growth has been explored by using *Genr(8)* to find a suitable architectonic spatial configuration in a conceptual project. The concept of design consisted of explicit testing of different evolutionary entity outcomes, until a satisfactory “fit” result was found.

The aim of the first step of the experiment was creation of an environment for the evolutionary grammar. It was chosen to be a space of closed polygonal configuration. The second step was setting of the structure of the surface, which was triangulated with a 90-degree branching. The third step was to define the number of evolutionary steps, because that gives the size of the surface. During the experiment it was concluded that optimal amount of evolutionary steps was six. The fourth step was the positioning of additional repellors and attractors that help the creation evolution with adding dynamic movement direction. Then a series of experiments was performed with 47 different settings. 32 of them were successful and the remaining 15 settings deformed the surface to such an extent that it could no more be usable for architectural tasks. All the settings and values of *Genr(8)* parameters were catalogued and systematized (see Table 1). Every obtained form was given its unique identifier number (H000–H047).

In the next, sixth step another experiment was carried out, generating five simultaneous surfaces (Figure 2). The obtained results were compared to the conformity of set criteria. The task was to find two compatible surfaces that by intersecting would provide a spatial configuration, suitable for a large-span construction. This criteria were met by the surface form H044 with its five generated variants. Combining them mutually a suitable configuration was found. The best were the first and third surfaces (in a total, out of five). As the grown forms were triangulated, the result was transformed from a typical *Genr(8)* robust and sharp form into a soft and fluid form (Figures 3 and 4), using three-dimensional software *Rhinoceros* and duplicate

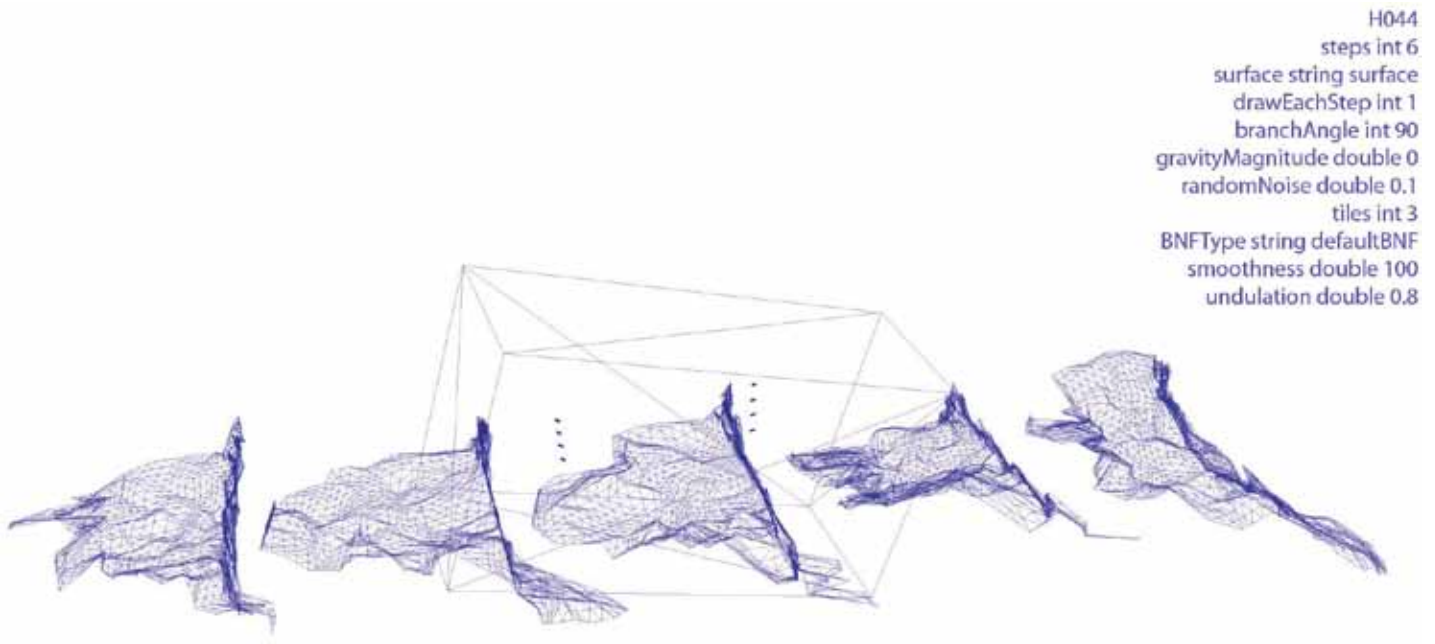


Fig. 2. Five different forms H044 that have been obtained simultaneously. (Author's rendering)

border function, contouring function and rebuilding curves into non-uniform curves.

Conversion of the surfaces into fluid form provided a better understanding of the subject of simulation of spatial structures with an architectural quality. Ready formal results may not be obtained by using this method. For using the surfaces obtained in experiments for real architectural objects, they must be further evaluated with structural calculations and it must be established which part of the surface has structural features and which part has only decorative features. In architecture, such a designing method may help in search for new forms or situations when void is to be filled in between two existing volumes.

CONCLUSIONS

1. *Genr(8)* is, generally, a very useful tool, but not suitable for the final design.
2. Using of this tool in a more plethoric way needs a further research.
3. *Genr(8)* has a huge potential that has been obtained by integrating genetic algorithms rooted in nature and artificial intellect.

REFERENCES

1. Louis Sullivan from "The Tall Office Building Artistically Considered" (1896). *Architectural Theory. Volume II : An Anthology from 1871 to 2005* (H. F. Mallgrave, Chr. Contandriopoulos, ed.). Malden, MA; Oxford; Carlton, VIC: Blackwell, 2008, p. 126, 127. ISBN 978-1-4051-0259-9
2. **Riekstiņš, A.** *Arquitectura Aberrante*. Madona: Hybrid Space Publishing, 2008. 151 p.
3. **Hemberg, M.** *GENR8 – A Design Tool for Surface Generation*. Massachusetts: MIT, 2001. 90 p.



Fig. 3. Two united surface forms of variant H044. Rendering before the conversion of triangulated form. (Author's rendering)

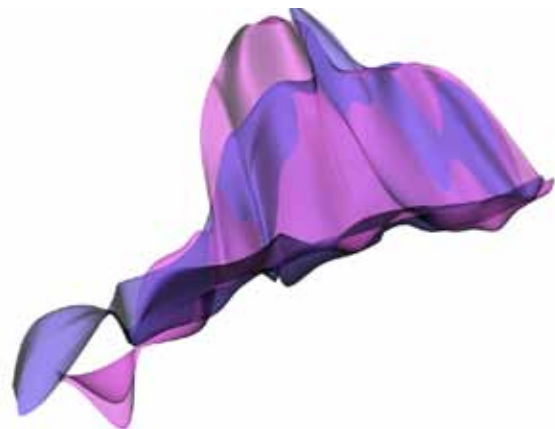


Fig. 4. Two united surface forms of variant H044. Rendering after the conversion with *Rhinoceros* software. (Author's rendering)

TABLE 1
32 OUT OF 47 SUCCESSFUL SURFACE GENERATING GRAMMAR SETTINGS IN GENR(8).

Steps 6; surface; branchAngle 90; tiles 3						
Resulting shape	Gravity	RandomNoise	RepPoinCons	RepPoinExpo	Smoothness	Undulation
H000	0	0	0	0	0	0
H001	0	0.1	0	0	0.1	0.1
H002	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1
H003	0.2	0.1	0	0	0.1	0.1
H004	0.4	0.1	0	0	0.1	0.1
H005	0.6	0.1	0	0	0.1	0.1
H006	0.8	0.1	0	0	0.1	0.1
H007	1	0.1	0	0	0.1	0.1
H011	0	0.2	0	0	0.1	0.1
H012	0	0.4	0	0	0.1	0.1
H013	0	0.6	0	0	0.1	0.1
H014	0	0.8	0	0	0.1	0.1
H015	0	1	0	0	0.1	0.1
H021	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1
H022	0	0	0.1	0	0.1	0.1
H023	0	0.1	0	1	0.1	0.1
H024	0	0.1	0	3	0.1	0.1
H025	0	0.1	0	10	0.1	0.1
H031	0	0.1	0	0	0.2	0.1
H032	0	0.1	0	0	0.4	0.1
H033	0	0.1	0	0	0.6	0.1
H034	0	0.1	0	0	0.8	0.1
H035	0	0.1	0	0	1	0.1
H036	0	0.1	0	0	10	0.1
H037	0	0.1	0	0	100	0.1
H041	0	0.1	0	0	100	0.2
H042	0	0.1	0	0	100	0.4
H043	0	0.1	0	0	100	0.6
H044	0	0.1	0	0	100	0.8
H045	0	0.1	0	0	100	1
H046	0	0.1	0	0	100	10
H047	0	0.1	0	0	100	100



Arne Riekstiņš (Riga, 1982), B.arch. (2004), M.Sc. arch. (Riga Technical University, 2007), M.BioDigi. arch. (Universitat Internacional de Catalunya, 2008), PhD (Riga Technical University, 2011), research thesis *Digital Systems in Contemporary Architecture*, available for reading online at: issuu.com/hybridSPACE/docs/phd tutor Prof., Dr.Arch. Jānis Briņķis. LECTURER at the Faculty of Architecture and Urban Planning, Riga Technical University (RTU, since 2006). Guest lecturer at the University of Trondheim, Norway and University of Oulu, Finland.

Methodological work: study program of Further Education Program in Architecture, subject *The Computer Modeling of Urban Development*. Tutor of RTU International Summer School for Architects (2006, 2007). Researcher in various scientific projects, including: *The Possibilities for Application of Imitation Models in Education and Practice of Spatial Planning*, *The Approbation of Landscape Ecological Modeling Systems in GIS*, *The Graphical Analysis of Planning and Binding Spatial Factors – Structural Plan and Interpretation* (2006–2008). SECRETARY and DIGITAL LAYOUT DESIGNER of the Scientific Journal of RTU, *Architecture and Urban Planning* (since 2009). Private ARCHITECT and owner of *Hybrid Space Architecture* (since 2006). Participant of various scientific conferences and author of more than 10 scientific publications, including a book.

- **Riekstiņš A.** *Arquitectura Aberrante*. Madona: Hybrid Space publishing, 2008, 150 p.
- **Riekstiņš A.** The Unlimited Possibilities of Genetic Architecture. *Scientific Journal of Riga Technical University*, 2008, Series 10, Volume 2, pp. 194–203.
- **Riekstiņš A.** Overcoming the Third Dimension. Преодолевая третье измерение. *Project Baltia*, 2010, 04/09 01/10, pp. 50–52.

Current and previous research interests: parametric architecture, genetic architecture, biomimetics, digital tools in architecture, CNC systems and rapid prototyping, three-dimensional modeling, synthesis aspects of architecture, sustainable high-rise buildings.

Awards: *Archiprix 2007 Shanghai*, nomination for the best diploma project in World's architecture, with the project *Ecologically Sustainable High-rise Building in Ķīpsala*, exhibited in Beijing, Shanghai and Rotterdam (2006). *Prize of Guntis Bole*, award for excellent studies and highly professional course projects (2005).

Memberships: Association of Latvian Young Scientists (2009), member of Organizing Committee of the Annual Scientific Conference of RTU, Section Architecture and Urban Planning (since 2009).

CONTACT DATA

Arne Riekstiņš
Riga Technical University, Faculty of Architecture and Urban Planning
Address: Āzenes iela 16, Riga, LV-1048, Latvia
Phone: +371 29235265
Skype: arneee555
E-mail: arne@hybridspace.eu
www.hybridspace.eu
[www.twitter.com/hybridSPACE/](https://twitter.com/hybridSPACE/)

Arne Riekstiņš. Projektēšana, izmantojot evolucionārās skaitļošanas metodi

Autors veicis eksperimentus ar trīsdimensiju modelēšanas programmatūras *Maya* programmatūras papildinājumu *Genr(8)*. Evolucionārā skaitļošana ir viena no iespējamām stratēģijām formu studijās un meklējumos ar mākslīgā intelekta palīdzību. Evolucionārie algoritmi veido evolucionārās skaitļošanas apakšsekciju, kas tajā parasti ietver tikai tehnikas, kuras ievieš bioloģiskās evolūcijas iedvesmotus mehānismus līdzīgi tam, kā tas notiek, piemēram, reprodukcijā, mutācijās, rekombinācijās, dabiskajā selekcijā vai spēcīgākā indivīda izdzīvošanā. Visas šīs funkcijas iestrādātas programmatūras papildinājumā *Genr(8)*, un tās izmantojamas inovatīvā arhitektūras projektēšanā.

Genr(8) ir uz evolucionāriem algoritmiem balstīts programmatūras papildinājums, kuru ir attīstījuši Martins Hembergs, Pīters Testa un Una-Meja Oreilija Masačūsetsas Tehnoloģiskajā institūtā (*MIT*). Programmatūras papildinājumā *Genr(8)* izmantotais *EA* ir gramatiskās evolūcijas algoritms, kas ir veidots, lai audzētu kompleksas morfoloģijas simulētā fiziskā vidē. Programmas struktūra savā darbībā kombinē trīsdimensiju kartēšanas Lindenmajera sistēmas (*L-systems*) ar abstraktu fizisko vidi. Projektēšana, kas iespējama izmantojot *Genr(8)*, noved pie formu meklēšanas bez noteiktas funkcijas. Autora veiktajos eksperimentos tika apgūts *Genr(8)* programmatūras papildinājums un veikta izpēte par šī instrumenta morfoģenēzes iespējām, "audzējot" digitālus evolucionāros algoritmus. Visi eksperimenti tika sistemātiski sakārtoti katalogā. Galvenais eksperimenta mērķis bija izprast evolucionāro skaitļošanu kā morfoģenēzes procesu un spriest par iespējamo pārmantojamību sagaidāmajā radošā procesa starpproduktā vai rezultātā, kā arī par iespējamo iedzimto īpašību lietojumu. Lai eksperimentā iegūtās virsmas izmantotu reālas arhitektūras objektos, tās papildus jāizvērtē, veicot būvkonstrukciju aprēķinus un konstatējot, kurai virsmas daļai ir strukturālas nestspējas pazīmes un kurai ir vienīgi dekoratīvas īpašības. Arhitektūrā šāda veida projektēšanas metode var palīdzēt jaunu formu meklējumos vai situācijās, kad jāaizpilda telpa starp diviem esošiem apjomiem.



This work has been supported by the European Social Fund within the project «Support for the implementation of doctoral studies at Riga Technical University».

Projektēšana, izmantojot evolucionārās skaitļošanas metodi

Arne Riekstiņš, Rīgas Tehniskā universitāte

ATSĻĒGAS VĀRDI: evolucionārā skaitļošana, iterācijas progress, mākslīgais intelekts.

Šajā rakstā analizēta projektēšanas pieredze, izmantojot evolucionārās skaitļošanas metodi. Autors veicis eksperimentus ar trīsdimensiju modelēšanas programmatūras *Maya* programmatūras papildinājumu *Genr(8)*. Tas ir viens no pilnveidotākajiem kādas programmatūras papildinājumiem, kas balstīts uz evolucionārās skaitļošanas metodi. Evolucionārā skaitļošana ir viena no iespējamām stratēģijām formu studijās un meklējumos ar mākslīgā intelekta palīdzību. Mākslīgā intelekta (angļu valodā *artificial intelligence*) definīcija ir „inteligēnto aģentu studijas un projektēšana“. Inteliģēntais aģents ir sistēma, kas uztver tās vidi un veic darbības, kas paaugstina panākumu gūšanas iespējas. Datorzinātnēs evolucionārā skaitļošana ir mākslīgā intelekta apakšnozare, un to lieto kā vispārīgu jēdzienu vairākās skaitļošanas tehnikās, kas balstītas uz noteikta līmeņa bioloģiskās dzīvības vai evolūciju dabiskajā pasaulē. Evolucionārā skaitļošana izmanto iterācijas progresu (angļu valodā *iterative progress*), piemēram, augšanu vai attīstīšanos populācijā. Tālāk šī populācija tiek izvēlēta instruētos nejaušos meklējumos, izmantojot paralēlo datu apstrādi (angļu valodā *processing*), lai sasniegtu vēlamu iznākumu. Bioloģijā evolūcija ir izmaiņas iedzimtajās populācijas iezīmēs no vienas paaudzes nākamajā. Šis process liek organismiem mainīties laika gaitā. Iedzimtās pazīmes ir gēnu ekspresija, kas nodota atvasei reprodukcijas laikā. Mutācijas gēnos var radīt jaunas vai izmainītas pazīmes, kas parādās kā pārmantojamas atšķirības starp organismiem. Šādas jaunas pazīmes arī rodas no gēnu pārneses starp populācijām, piemēram, migrācijā vai starp dažādām šķirnēm. Kad šīs pārmantojamās atšķirības kļūst populācijā arvien izplatītākas vai retākas, notiek evolūcija, vai nu nejauši dabiskās selekcijas kārtā, vai arī nejauši ģenētiskās dreifēšanas kārtā. Evolucionārie algoritmi (angļu valodā *Evolutionary Algorithms* jeb *EA*) veido evolucionārās skaitļošanas apakšsekciju, kas tajā parasti ietver tikai tehnikas, kuras ievieš bioloģiskās evolūcijas iedvesmotus mehānismus līdzīgi tam, kā tas notiek, piemēram, reprodukcijā, mutācijās, rekombinācijās, dabiskajā selekcijā vai spēcīgākā indivīda izdzīvošanā [2, 109]. Visas šīs funkcijas iestrādātas programmatūras papildinājumā *Genr(8)*, un tās izmantojamas inovatīvā arhitektūras projektēšanā.

I. PROGRAMMATŪRAS PAPILDINĀJUMS *GENR(8)*

Genr(8) ir uz evolucionāriem algoritmiem (*EA*) balstīts programmatūras papildinājums, kuru ir attīstījuši Martins Hemberts (*Martin Hemberg*), Pīters Testa (*Peter Testa*) un Una-Meja Oreilija (*Una-May O'Reilly*) Masačūsetsas Tehnoloģiskajā institūtā (*Massachusetts Institute of Technology; MIT*). Programmatūras papildinājumā *Genr(8)* izmantotais

EA ir gramatiskās evolūcijas (angļu valodā *Grammatical Evolution* jeb *GE*) algoritms, kas ir veidots, lai audzētu kompleksas morfoloģijas simulētā fiziskā vidē [2, 109].

Genr(8) ir izveidots, balstoties uz īstas ģenētikas koncepciju, kas piemērota programmatūrai vai skaitļošanas sistēmām. To izveidoja „Ģenētiskās evolūcijas vienības“ (angļu valodā *Genetic Evolutionary Unit*) apakšsekcija „Radošās projektēšanas grupa“ (angļu valodā *Emergent Design Group*) MIT. *Genr(8)* tika apvienota matemātiskie augšanas principi ar skaitļošanu. Programmas struktūra savā darbībā kombinē trīsdimensiju kartēšanas Lindenmajera sistēmas (*L-systems*) ar abstraktu fizisko vidi. *L-systems* un ģenētisko kodolu apvienošana dod iespēju iegūt trīsdimensionālu objektu formas. Ja ar tradicionālu projektēšanas metodi kaut kas tiek veikts 100 reizes pēc kārtas, rezultāts vienmēr būs tāds pats, bet evolucionārajā procesā tiks iegūti 100 dažādi rezultāti. *Genr(8)* papildus zināmām evolucionārām īpašībām ietver krustošanos, mutāciju, pārmantojamību utt. Šajā programmatūras papildinājumā *L-systems* darbojas tikai pēc tiem noteikumiem, kas uzstādīti sākumā, taču abstraktā vidē daudzveido evolūciju. Atkarībā no vides un uzstādītajiem parametriem katru reizi rezultāts būs atšķirīgs. Iespējamās abstraktās vides virtuālai audzēšanai ir slēgta vide, kombinēta vide un atvērta vide. Slēgtā vidē, ņemot vērā vides ietekmes spēku laukus, virsmas aug slēgtu poligonālu ķermeņu iekšienē. Kombinētā vidē, ņemot vērā vides ietekmes spēku laukus, virsmas aug cauri vai pāri poligonālas konfigurācijas telpām. Atvērta vidē evolūciju nosaka tikai uzstādītās gramatikas un vides ietekmes spēku lauki. Papildus tam iespējams kontrolēt arī citus parametrus, ieskaitot gravitācijas mērogu un virzienu, sienu izturēšanos, „trokšņus“ virsmās (angļu valodā *random noise*), pārklājumu (angļu valodā *tiling*), populācijas lielumu, paaudžu skaitu, svaru un viļņojumu.

II. FORMU MEKLĒŠANA BEZ FUNKCIJAS

Projektēšana, kas iespējama izmantojot *Genr(8)*, noved pie formu meklēšanas bez noteiktas funkcijas. Nezinot objekta funkciju, ir grūti meklēt vai projektēt ģeometrisku formu. Modernisma laikā sauklis „forma seko funkcijai“ bija ļoti populārs, to pirmo reizi izteicis arhitekts Luiss H. Salivens (*Louis H. Sullivan*) vienā no saviem rakstiem par arhitektūru 1896. gadā [1]. Tas nozīmē, ka funkcijai bez nepieciešamības pēc formālā ietvara jāpastāv pašai par sevi, autonomā veidā. Dabiskos evolucionārajos procesos tam nav reāla piepildījuma, taču dabā ir neierobežota efektīvu formu daudzveidība. Dabā matērija ir ļoti dārga, bet forma ir par brīvu. Daba visu veido efektīvi: katras koka lapas izaudzēšanai ir jāpatērē daudz enerģijas un matērija. Tamdēļ dabas veidotās formas ir pamatotas. Projektēšanā formu meklēšana bez funkcijas ir viena no iespējamajām stratēģijām. Tā kā šādā gadījumā sākotnēji nav zināms rezultāts, tad tā ir īsta izpēte.

Formas var meklēt ar dažādiem instrumentiem. *Genr(8)* radīšanai bija nepieciešami vairāk nekā pieci gadi. Ģenētiskā skaitļošana ir milzīgs pētījumu lauks. Ģenētiskās skaitļošanas programmatūras platforma nav vienkārši izaicinājums izmantot programmatūru zīmēšanai, bet drīzāk izmantot to kā mākslīgo intelektu. To, ko spēj šāda veida programmatūra, cilvēkam nav pa spēkam. Tomēr ir svarīgi apzināties, ka *Genr(8)* ir tikai instruments, kuru var lietot, lai radītu jaunu darba metodi [2, III]. Tas ir ļoti pilnveidots instruments.

Projektētājam pats darba instruments ir centrālā daļa no projektēšanas procesa. Arvien jaudīgāki datori sniedz projektētājiem pavisam jaunas iespējas, taču, lai tās būtu lietderīgas, projektētājam tās jāspēj komfortabli lietot. Skaitļošana ļauj vairāk veikt formu meklējumus (angļu valodā *exploration*), nekā tas būtu iespējams tikai ar papīru un zīmuli – to var uzskatīt par jaunu paradīgu arhitektūrā. Mūsdienās ir pieejami daudzi datorizētās projektēšanas CAD instrumenti. Problēma ar šiem instrumentiem ir tāda, ka tos var kategorizēt kā rasēšanas palīginstrumentus, tieša – kā ļoti spēcīgus. Tie nekādā mērā nav ģeneratīvi vai radoši. Ko rasēt, arhitektam jāizdomā pašam. *Genr(8)* izstrādātāju *Emergent Design Group* mērķis bija radīt instrumentu, kas sadarbojas ar projektētāju un stimulē darbu, vienlaikus palīdzot projektētājam iegūt jaunas idejas.

Šodien arhitektūras ideju īstenošanā liela nozīme ir jauniem materiāliem. Tie ienesuši radikālas izmaiņas ēku būvniecības iespējās. Jauni materiāli un jaunas tehnoloģijas dod jaunas formu īstenošanas iespējas. Konstruktīvos elementus šodien iespējams izmantot un kombinēt daudz augstākā tehniskā izpildījuma līmenī. Slavens piemērs tam ir Gugenheima muzejs Bilbao, Spānijā. Jaunu, līdz šim arhitektūras nozarē maz aplūkotas radošās koncepcijas var pētīt tikai ar inovatīvajiem datortehnikas instrumentiem, tostarp evolucionārās skaitļošanas metodi. Liela nozīme ir arī datortehnikas radītajai mākslīgā intelekta izpaušmei „mākslīgajai dzīvībai”. Šo faktoru mijiedarbes kopums projektēšanā ir emerģence jeb rašanās (angļu valodā *emergence*). Tā ir parādība, ko var pētīt ar datoru palīdzību. Emerģence ir koncepcija, kuru arhitekti var viegli uztvert, un kas ir līdzīga radošo ideju ģenerēšanai arhitektu ikdienas darbā. Tomēr arhitektu rīcībā ne vienmēr ir adekvāti programmatūras instrumenti, lai ekspluatētu un izmantotu emerģences koncepciju [3].

III. EVOLUCIONĀRĀS SKAITĻOŠANAS EKSPERIMENTS AR *GENR(8)*

Genr(8) izmantošana vairākās darba fāzēs ir saistīta ar atklājumiem evolucionārajā skaitļošanā. Autora veiktajos eksperimentos tika apgūts *Genr(8)* programmatūras papildinājums un veikta izpēte par šī instrumenta morfoģenēzes iespējām, “audzējot” digitālus evolucionāros algoritmus. Visi eksperimenti tika sistemātiski sakārtoti katalogā, pierakstot detaļas par ģeneratīvo gramatiku, parametru manipulāciju un virtuālās vides apstākļiem. Ja uzstādījumus nepieraksta un saglabātos rezultātus nesistemātizē, darbā ar *Genr(8)* ir ļoti grūti izprast dažādo konfigurāciju ietekmi virtuālajā vidē. Pētījuma uzsvars bija saprast saikni starp ģeneratīvajām gramatikām un to rezultējošo morfoloģiju, kā arī to ģeometriskajām īpašībām. *Genr(8)* izmantošana sākotnēji ir samērā sarežģīta, jo tikai pēc visu uzstādījumu apgūšanas un to kalibrēšanas ir saprotams, kā



1. att. *Genr(8)* klasificējams pie emerģences projektēšanas lauka – evolucionārās skaitļošanas, mākslīgās dzīvības un projektēšanas apvienojuma.

tie iedarbojas uz darba rezultātu. Galvenais eksperimenta mērķis bija izprast evolucionāro skaitļošanu kā morfoģenēzes procesu un spriest par iespējamo pārmantojamību sagaidāmajā radošā procesa starpproduktā vai rezultātā, kā arī par iespējamo iedzimto (angļu valodā *inherent*) īpašību lietojumu.

Autora veiktā eksperimenta gaitā, meklējot atbilstošu konceptuālu arhitektoniski telpisko konfigurāciju starp divām virsmām, tika pētīta „ģenētiska audzēšana”. Dizaina koncepcijas pamatā bija detalizēta dažādo evolucionāro vienību testēšana, līdz tika atrasts apmierinošs rezultāts.

Eksperimenta pirmais solis bija izveidot evolucionārās gramatikas darba vidi. Tika izvēlēta slēgta poligonālas konfigurācijas vide. Otrais solis bija noteikt plaknes uzbūvi. Tika izvēlēta triangulēta virsma ar 90° sazarotās leņķi. Trešais solis bija norādīt evolūcijas pakāpju daudzumu, jo no tā ir atkarīgs, cik liela izveidosies virsma. Eksperimenta gaitā tika secināts, ka optimāls evolūcijas pakāpju skaits ir seši. Ceturtais solis bija papildus „atgrūdeju” un „pievilcēju” (angļu val. – *repellers and attractors*) izvietošana, kas virsmas veidošanās evolūcijai palīdz piešķirt dinamisku kustības virzienu. Tālāk tika veikta eksperimentu virkne ar 47 dažādiem uzstādījumiem, no kuriem tikai 32 bija veiksmīgi. Pārējie 15 uzstādījumi sākotnējo virsmu deformēja tiktāl, ka to vairs nevarēja izmantot arhitektoniskiem uzdevumiem. Visi *Genr(8)* uzstādījumi un to vērtības tika pierakstīti, un saglabātie rezultāti sistematizēti (1. tabula). Katrai no iegūtajām formām tika piešķirts savs numurs (H000–H047).

Nākamajā, sestajā solī tika veikts eksperiments, vienlaikus audzējot piecas virsmas (2. attēls). Tika analizēta iegūto rezultātu atbilstība pieņemtiem kritērijiem. Pieņēmums bija atrast divas savienojamas virsmas, kurām, savā starpā šķēļoties, būtu liellaiduma pārsegumam atbilstīga telpiskā konfigurācija. Šim kritērijam atbilda virsmas forma H044, kurai tika ģenerēti pieci varianti. Tos savstarpēji kombinejot, tika atrasta piemērota telpiskā konfigurācija. Visatbilstošākās izrādījās pirmā un trešā virsma. Tā kā *Genr(8)* veido triangulētas ģeometrijas virsmas, iegūtais rezultāts bija ar robustām un asām formām.

1. TABULA
32 NO 47 VEIKSMĪGO GENR(8) VIRSMAS ĢENERĒŠANAS GRAMATIKU UZSTĀDIJUMI.

Steps 6; surface; branchAngle 90; tiles 3						
Resulting shape	Gravity	RandomNoise	RepPoinCons	RepPoinExpo	Smoothness	Undulation
H000	0	0	0	0	0	0
H001	0	0.1	0	0	0.1	0.1
H002	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1
H003	0.2	0.1	0	0	0.1	0.1
H004	0.4	0.1	0	0	0.1	0.1
H005	0.6	0.1	0	0	0.1	0.1
H006	0.8	0.1	0	0	0.1	0.1
H007	1	0.1	0	0	0.1	0.1
H011	0	0.2	0	0	0.1	0.1
H012	0	0.4	0	0	0.1	0.1
H013	0	0.6	0	0	0.1	0.1
H014	0	0.8	0	0	0.1	0.1
H015	0	1	0	0	0.1	0.1
H021	0	0.1	0.1	0	0.1	0.1
H022	0	0	0.1	0	0.1	0.1
H023	0	0.1	0	1	0.1	0.1
H024	0	0.1	0	3	0.1	0.1
H025	0	0.1	0	10	0.1	0.1
H031	0	0.1	0	0	0.2	0.1
H032	0	0.1	0	0	0.4	0.1
H033	0	0.1	0	0	0.6	0.1
H034	0	0.1	0	0	0.8	0.1
H035	0	0.1	0	0	1	0.1
H036	0	0.1	0	0	10	0.1
H037	0	0.1	0	0	100	0.1
H041	0	0.1	0	0	100	0.2
H042	0	0.1	0	0	100	0.4
H043	0	0.1	0	0	100	0.6
H044	0	0.1	0	0	100	0.8
H045	0	0.1	0	0	100	1
H046	0	0.1	0	0	100	10
H047	0	0.1	0	0	100	100

Lai šo virtuāli „izaudzēto“ objektu izvērtētu, tas ar trīsdimensiju modelēšanas programmatūras *Rhinoceros* palīdzību tika konvertēts plūdenās formās (3. un 4. attēls). Izmantotās komandas bija robežlīniju dubultošana (angļu valodā *duplicate border*), kontūru iegūšana (angļu valodā *contouring*), līklīniju pārveidošana par nevienveidīgām līklīnijām (angļu val. – *rebuild curve into non-uniform curves*).

Pēc virsmu pārveidošanas plūdenās formās tika iegūts labāks priekšstats par to, kā datora vidē simulēti objekti veido telpiskas struktūras, kurām ir arhitektoniska kvalitāte. Ar izmantoto metodi nevar iegūt gatavus formveides rezultātus. Lai eksperimentā iegūtās virsmas izmantotu reālas arhitektūras objektos, tās papildus jāizvērtē, veicot būvkonstrukciju aprēķinus un konstatējot, kurai virsmas daļai ir strukturālas nestspējas pazīmes un kurai ir vienīgi dekoratīvas īpašības. Arhitektūrā šāda veida projektēšanas metode var palīdzēt jaunu formu meklējumos vai situācijās, kad jāaizpilda telpa starp diviem esošiem apjomiem.

SECINĀJUMI

1. *Genr(8)* ir visai lietderīgs instruments, bet tas nav piemērots gatava rezultāta iegūšanai.
2. Šī instrumenta pilnvērtīgākas izmantošanas nolūkā ar to jāveic turpmāks un padziļināts pētnieciskais darbs.
3. *Genr(8)* ir liels potenciāls, kas iegūts, integrējot dabas parādībās sakņotus ģenētiskos algoritmus un mākslīgo intelektu.

ATTĒLI

2. att. Formas H044 pieci atšķirīgi, vienlaikus iegūtie varianti. (Autora vizualizācija)
3. att. Divu virsmas formu H044 variantu savietojums. Vizualizācija pirms triangulētas virsmas konvertēšanas. (Autora vizualizācija)
4. att. Divu virsmas formu H044 variantu savietojums. Vizualizācija pēc konvertēšanas ar programmatūru *Rhinoceros*. (Autora vizualizācija)

IZMANTOTIE AVOTI

1. Louis Sullivan from “The Tall Office Building Artistically Considered” (1896). *Architectural Theory. Volume II : An Anthology from 1871 to 2005* (H. F. Mallgrave, Chr. Contandriopoulos, ed.). Malden, MA; Oxford; Carlton, VIC: Blackwell, 2008. P. 126, 127. ISBN 978-1-4051-0259-9
2. Riekstiņš, A. *Arquitectura Aberrante*. Madona: Hybrid Space publishing, 2008. 151 p.
3. Hemberg, M. *GENR8 – A Design Tool for Surface Generation*. Massachusetts: MIT, 2001. 90 p.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».