Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

УДК: 72
ДОИ: https://doi.org/10.24867/36FA09Krjukova

Примена неуронских мрежа у архитектонском пројектовању

Application of Neural Networks in Architectural Design

Дарја Криукова, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Студијски програм – АРХИТЕКТУРА

Кратак садржај – *У раду се разматра примена алата заснованих на неуронским мрежама у процесу архитектонског пројектовања, са освртом на плагин Raven, намењен генерисању и модификацији Grasshopper-дефиниција на основу текстуалних упита. Могућности алата испитане су кроз израду идејног решења хотела при уметничкој резиденцији у Гардиновцима, у оквиру конкурса Radical Innovation Hospitality Project. Резултати показују да Raven даје поузданије резултате када се упит формулише језиком параметарске логике него описом жељеног изгледа или референтном сликом. Са порастом сложености модела опада способност алата да самостално одржи целовиту логику структуре, што захтева активно учешће пројектанта.*

Кључне речи: *неуронске мреже, архитектонско пројектовање, параметарско моделовање, Grasshopper, вештачка интелигенција*

Abstract – *The paper examines the application of neural-network-based tools in the architectural design process, focusing on the Raven plugin, which generates and modifies Grasshopper definitions from natural-language prompts. The tool was tested through the conceptual design of a hotel within an artists' residency in Gardinovci, developed for the Radical Innovation Hospitality Project competition. Results show that Raven performs more reliably when prompts describe parametric logic rather than the desired appearance or a reference image. As model complexity increases, the tool's ability to maintain a coherent structure declines, requiring active designer involvement.*

Keywords: *neural networks, architectural design, parametric modeling, grasshopper, artificial intelligence*

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Бојан Тепавчевић, PhD, profesor.

1. УВОД

Савремена архитектонска пракса све интензивније интегрише алате засноване на неуронским мрежама, који превазилазе улогу пасивног графичког помагала и постају активни учесници процеса обликовања простора. За разлику од класичних параметарских система, заснованих на унапред дефинисаним правилима, неуронски модели добијају способност интерпретације нестандардизованих текстуалних упита и формирања нових решења на основу учења над великим скуповима података.

У раду се истражују могућности примене неуронских мрежа у процесу израде идејног архитектонског пројекта, на примеру хотела при уметничкој резиденцији у селу Гардиновци (Србија), реализованог у оквиру међународног конкурса Radical Innovation Hospitality Project, усмереног на истраживање нових формата хотелске архитектуре и иновативних приступа организацији простора. Посебна пажња посвећена је алату Raven, намењеном генерисању Grasshopper-дефиниција на основу текстуалног упита, будући да управо параметарско моделовање геометрије чини основу пројектантског процеса разматраног примера. Циљ рада је процена практичне применљивости оваквог алата и његовог утицаја на ток и квалитет пројектовања, као и идентификовање стратегије формулисања упита која даје најпоузданије резултате.

2. ПРИМЕНА НЕУРОНСКИХ МРЕЖА У АРХИТЕКТОНСКОМ ПРОЈЕКТОВАЊУ

Развој дигиталних алата у архитектури прошао је пут од алата за аутоматизовано цртање (AutoCAD, 1982), преко NURBS моделовања и параметарског пројектовања (Grasshopper, 2007), до информационог моделовања зграда (BIM). Од почетка 2020-их година овом низу придружују се алати засновани на неуронским мрежама, који за разлику од претходних, правилима заснованих метода, добијају способност интерпретације нестандардизованих текстуалних упита и учења на великим скуповима података.

Примену неуронских мрежа у архитектури могуће је сврстати у шест међусобно различитих категорија, у зависности од тога са чиме систем вештачке интелигенције остварује интеракцију: генерисање слика, генерисање и модификација геометрије, параметарско и алгоритамско пројектовање, анализа BIM података, процена и оптимизација пројектних решења, те аутоматизација пројектантских процеса. Основна разлика међу приступима не лежи у типу коришћене неуронске мреже, већ у улози коју вештачка интелигенција има унутар самог процеса пројектовања.

Генеративни модели попут Generative Adversarial Networks [1] омогућили су генерисање нових слика на

основу тренинг скупова података кроз конкуренцију генератора и дискриминатора, што је постало основа великог броја алата за архитектонску визуализацију. Развојем дифузионих модела [2], а нарочито њихове латентне варијанте [3], омогућено је знатно стабилније генерисање и веће резолуције резултата уз ниже рачунске трошкове. Слична транзиција забележена је и у домену генерисања геометрије: методе тополошке оптимизације засноване на дифузионим приступима показале су бољу структурну конзистентност и тачност у односу на класичне GAN моделе [4].

2.1. Алати за параметарско пројектовање

У домену параметарског моделовања развијени су специјализовани алати који интегришу велике језичке моделе директно у окружење Rhino/Grasshopper, чиме неуронска мрежа више не функционише само као спољашњи асистент, већ учествује у генерисању, анализи и извршавању кода унутар самог пројектантског окружења.

Raven генерише Grasshopper-дефиниције на основу текстуалног описа задатка, интерном интерпретацијом логике компоненти и аутоматским састављањем кода; корисник формулише задатак природним језиком, након чега систем формира структуру чворова и веза која се одмах поставља на радну површину програма. Ant, за разлику од тога, ради на нивоу већ постојећег параметарског модела: анализира постојећу Grasshopper шему и комуницира са њом кроз режиме Ask/Edit/Script, омогућавајући измену постојеће логике, поновно повезивање компоненти и генерисање C# скрипти. RhinoAiMCP представља шире интеграционо окружење у коме неуронска мрежа добија директан приступ објектима Rhino сцене и може извршавати операције над геометријом путем командног интерфејса, без ограничења на параметарски граф (Табела 1).

Табела 1. Поређење алата за параметарско пројектовање заснованих на неуронским мрежама

Алат	**Ниво интеракције**	**Кључна функција**
Raven	Генерисање нове Grasshopper-дефиниције	Формирање параметарске структуре на основу текстуалног упита
Ant	Уређивање постојеће дефиниције	Измена, допуна и објашњавање логике кроз режиме Ask/Edit/Script
RhinoAiMCP	Директан приступ геометрији сцене	Извршавање операција над моделом путем командног интерфејса

За практично истраживање изабран је Raven, будући да реализује директну генерацију параметарске структуре на основу текстуалног упита, што одговара раној фази идејног пројектовања, у којој је кључно брзо генерисање различитих варијанти геометрије и тестирање већег броја идеја у кратком временском периоду.

Поред генерисања геометрије, неуронске мреже примењују се и за анализу BIM података, коришћењем графовских неуронских мрежа за класификацију елемената и семантичко обогаћивање модела, као и за процену и оптимизацију пројектних решења, где се модели обучени на историјским подацима користе за предвиђање енергетске ефикасности или трошкова изградње без спровођења потпуног инжењерског прорачуна. Аутоматизација пројектантских процеса, реализована кроз алате попут Finch3D и ArkDesign.ai, омогућава генерисање планских решења на основу задатих ограничења површине, инсолације и коефицијента изграђености, уз аутоматско прилагођавање структуре при промени улазних услова.

3. ПРОЈЕКТНО ИСТРАЖИВАЊЕ: ХОТЕЛ ПРИ УМЕТНИЧКОЈ РЕЗИДЕНЦИЈИ У ГАРДИНОВЦИМА

3.1. Постава задатка

Пројекат обухвата рурални хотел намењен привременом боравку до 12 учесника уметничке резиденције у селу Гардиновци, реализован у оквиру проширења постојеће резиденције на две суседне парцеле, уз предвиђено целогодишње функционисање. Функционална структура резиденције формира се око идеје колективног становања и заједничког деловања, где кључни елементи постају заједнички простори друштвене интеракције и културних пракси.

Основна геометрија објекта развијана је у програму Grasshopper, уз коришћење додатка Raven за генерисање и модификацију параметарске структуре искључиво путем текстуалних упита, без директног учешћа пројектанта у изради визуелног програмског кода. Резултати рада евалуирани су према степену учешћа пројектанта у процесу и квалитету добијеног пројектног решења.

3.2. Ток моделовања и резултати

Почетни приступ, заснован на општем текстуалном опису објекта (нпр. захтев да се на основу задате криве конструише кров конусног облика са отворима одговарајуће намене), показао се недовољно поузданим: генерисана геометрија садржала је насумично позициониране прозорске и вратне отворе, делимично ван зидне површине, док је облик кровне конструкције одступао од принципа реалистичног архитектонског моделовања.

Прелазак на итеративни дијалог, у коме је сваки наредни упит прецизирао однос конструктивних елемената, значајно је побољшао контролу над резултатом. Уместо описа жељеног спољашњег изгледа, прецизирани су принципи изградње конструктивног оквира: два супротно закривљена снопа шипки формирала су плетену љуску облика куполе, а улазни отвор дефинисан је пресеком контура

тачно одређеног пара штапова на задатој висини, чиме је постигнута прецизна и поновљива геометрија лучног прилаза. На сличан начин, надстрешница изнад улаза формирана је ротацијом изворне ивичне криве око осе дефинисане њеним најнижим тачкама, чиме је добијен низ преклапајућих кривих спремних за лофтовање у јединствену површину прекривену истом мрежом штапова као и главна купола.

Унутрашња стаклена опна формирана је као умањена копија спољашње љуске, подељена на правоугаоне панеле дефинисаних димензија, дуж чијих су ивица постављени рамови завесног зида. У овој фази уочена је карактеристична грешка: иако су тражене димензије биле експлицитно наведене у упиту, систем је погрешно интерпретирао правце параметризације површине, услед чега су вертикални и хоризонтални кораци мреже били међусобно замењени – грешка није настала услед недостатка информација, већ услед погрешне интерпретације параметарске структуре површине.

Слична логика примењена је и приликом трасирања пешачке стазе: на основу задате водеће криве, Raven је генерисао површину ширине 2500 мм паралелну са топографским мешом терена, уз могућност прецизног подешавања вертикалног одстојања и накнадне екструзије у чврсто тело, чиме је стаза прилагођена постојећем рељефу и распореду очуване вегетације.

Посебан експеримент спроведен је ради провере способности алата да самостално интерпретира референтну фотографију купаоне конструкције, без пратећег текстуалног описа геометрије. Резултати су показали да Raven поуздано препознаје опште пропорције, силуету и правац елемената референтног објекта, али показује значајне потешкоће при реконструкцији конструктивне логике спојних чворова: уместо сложене геометрије укрштања елемената генерисана су поједностављена сферна тела, а ни накнадно додавање детаљних текстуалних упутстава и додатних референтних слика није довело до суштинског побољшања – систем је референтну слику тумачио пре свега као скуп визуелних карактеристика, а не као опис конструктивних зависности.

3.3. Резултати пројектовања

Резултат спроведеног истраживања представља идејни пројекат еко-хотела у Гардиновцима, чију функционалну структуру чини осам двоспратних смештајних јединица равномерно распоређених дуж издужене парцеле и повезаних заједничком пешачком зоном. Између јединица формиран је централни заједнички простор са језером и заједничком баштом, намењеном узгоју биљака и заједничком раду гостију. Свака смештајна јединица организована је као компактан двоетажни волумен: приземље чини дневна зона са мини-кухињом, док спрат обухвата спаваћу собу оријентисану ка унутрашњем дворишту и отворену терасу с погледом на централни простор.

3.4. Дискусија

Резултати указују да Raven најефикасније функционише као алат за генерисање параметарске логике, а не као средство за директну репродукцију визуелних референци: опис редоследа операција и правила формирања геометрије даје знатно поузданије резултате од описа жељеног изгледа или коришћења референтне слике. Са порастом сложености дефиниције опада способност алата да одржи целовито разумевање структуре модела као јединственог тродимензионалног објекта – систем га све чешће третира као скуп међусобно независних чворова и операција, због чега измене постаје неопходно локализовати директно на Grasshopper платну, означавањем конкретних група компоненти.

Ови налази показују да алати овог типа у садашњој фази развоја не замењују стручност пројектанта, већ пре свега убрзавају реализацију већ дефинисаних пројектантских решења. Истовремено, способност Raven-a да анализира постојећу Grasshopper-дефиницију и објасни принципе њеног функционисања чини га корисним и за пројектанте са мање искуства у параметарском моделовању, под условом да логика обликовања буде јасно формулисана језиком правила, а не описом коначног изгледа.

У случајевима недовољног искуства корисника у параметарском моделовању, грешке настале приликом формулисања алгоритма преносе се и на генерисану дефиницију, што указује на то да квалитет коначног резултата и даље у највећој мери зависи од пројектантске логике садржане у самом упиту, а не искључиво од могућности неуронског модела.

4. ЗАКЉУЧАК

Спроведено истраживање показало је да неуронске мреже, а посебно алати попут Raven-a, могу знатно убрзати рану фазу идејног пројектовања кроз брзо генерисање и итеративну модификацију геометрије. Кључни услов успешне примене јесте формулисање упита језиком параметарске логике – описом правила и односа између елемената – а не описом коначног изгледа објекта.

Резултат практичног дела истраживања представља идејно решење еко-хотела у Гардиновцима, при чему је ниво учешћа пројектанта остао одлучујући фактор за квалитет коначног решења. Алати овог типа тренутно убрзавају реализацију већ дефинисаних пројектантских решења, али не замењују стручност пројектанта у формулисању логике обликовања.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville, Y. Bengio, “Generative adversarial nets,” *in Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2014.

[2] J. Ho, A. Jain, P. Abbeel, “Denoising diffusion probabilistic models,” *in Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2020.

[3] R. Rombach, A. Blattmann, D. Lorenz, P. Esser, B. Ommer, “High-resolution image synthesis with latent diffusion models,” *arXiv:2112.10752*, 2022.

[4] F. Mazé, F. Ahmed, “Diffusion models beat GANs on topology optimization,” *arXiv preprint*, 2022.

Кратка биографија:



Дарја Криукова рођена је у Белгороду, Русија, 1997. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области примене неуронских мрежа у архитектонском пројектовању одбранила је 2026. год.
Контакт: dariaobmanzrenia1@gmail.com