Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

УДК: 72.012
ДОИ: https://doi.org/10.24867/36FA18Jovanovic

Генерисање архитектонске форме на угаоним парцелама применом ћелијских аутомата

Generation of Architectural Form on Corner Plots Using Cellular Automata

Миа Јовановић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Студијски програм – АРХИТЕКТУРА

Кратак садржај – *Задатак рада је да се пројектује генеративни модел за обликовање архитектонске форме стамбеног објекта на угаоној парцели применом вишестањских фазних ћелијских аутомата. У оквиру рада потребно је анализирати просторне карактеристике угаоних парцела, дефинисати правила развоја модела, имплементирати алгоритам за генерисање архитектонских варијанти и извршити евалуацију добијених решења са аспекта функционалне организације, просторне логике и могућности примене у раним фазама архитектонског пројектовања.*
Кључне речи: *ћелијски аутомати, пројектовање, фаза, алгоритам*

Abstract – *The aim of this thesis is to develop a generative model for the architectural form generation of a residential building on a corner plot using multi-state cellular automata. The research includes the analysis of the spatial characteristics of corner plots, the definition of the model's development rules, the implementation of an algorithm for generating architectural design alternatives, and the evaluation of the generated solutions in terms of functional organization, spatial logic, and their applicability in the early stages of the architectural design process.*

Keywords: *cellular automata, design, phase, algorithm*

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Дејан Ецет, ванр. проф.

1. УВОД

Генеративно пројектовање представља приступ у којем се архитектонска форма развија на основу унапред дефинисаних правила, параметара и међусобних односа просторних елемената, чиме се проширују могућности пројектантског процеса [1]. За разлику од традиционалног начина пројектовања, у којем архитекта непосредно обликује коначно решење, код генеративног приступа акценат је на дефинисању система који омогућава настанак већег броја различитих просторних варијанти. Посебна предност овог приступа огледа се у томе што сложене просторне форме настају као резултат интеракције једноставних правила, без потребе да се коначан облик дефинише унапред [1]. Предмет овог рада јесте истраживање могућности примене ћелијских аутомата у процесу генерисања архитектонске форме стамбених објеката на угаоним парцелама. Избор угаоне парцеле као модела истраживања произилази из њеног специфичног положаја и сложенијих пројектантских захтева у односу на стандардне парцеле, што је чини погодном за испитивање потенцијала генеративних метода. Двострука оријентација према улици, већа изложеност природном осветљењу и потреба за рационалном организацијом функционалних целина представљају додатне изазове који захтевају пажљиво дефинисање правила пројектовања. Циљ рада је развој модела који ће кроз дефинисана правила омогућити генерисање функционално исправних просторних решења и показати могућности примене алгоритамског пројектовања као подршке архитекти у раним фазама пројектантског процеса. Истраживање је усмерено на анализу просторних карактеристика угаоних парцела, формулисање правила која ће управљати развојем модела, као и на испитивање утицаја различитих почетних услова на коначну архитектонску форму. Очекује се да резултати рада покажу потенцијал примене вишестањских фазних ћелијских аутомата као алата који може унапредити процес доношења пројектантских одлука, омогућити брже генерисање варијантних решења и пружити додатну подршку архитекти у процесу обликовања простора.

2. ИСТРАЖИВАЧКИ РАД

Истраживачки део рада заснива се на анализи могућности примене ћелијских аутомата у процесу архитектонског пројектовања. Кроз развој и тестирање генеративног модела испитује се утицај дефинисаних правила и различитих почетних стања на формирање архитектонске форме. Добијена решења се анализирају и међусобно упоређују са аспекта функционалне организације, просторне логике и могућности примене модела у раним фазама архитектонског пројектовања.

2.1. Угаона парцела као пројектантски изазов

Угаона парцела представља специфични тип грађевинске парцеле, које остварују контакт са јавним простором преко две уличне фасаде, што омогућава бољу осветљеност, али истовремено намеће додатне функционалне и урбанистичке захтеве. Пројектовање

стамбених објеката на оваквим парцелама захтева пажљиво позиционирање дневних простора према најквалитетнијим фасадама, док се комуникације и сервисни садржаји организују у унутрашњости објекта. Посебан значај има угао парцеле, који представља највреднију просторну тачку због визуелне изложености и могућности остваривања двоструке оријентације. Управо због сложености просторних односа, угаона парцела представља погодан модел за примену генеративних метода пројектовања.

2.2. Примена ћелијских аутомата у архитектонском пројектовању

Ћелијски аутомати представљају генеративни модел заснован на мрежи ћелија које мењају своја стања према унапред дефинисаним правилима и односима са суседним ћелијама [2]. У архитектури се овај принцип може применити за развој алгоритама који аутоматски генеришу просторне организације на основу функционалних и просторних ограничења [3]. За потребе овог истраживања развијен је вишестепени модел у коме свака ћелија представља одређену функционалну целину, попут дневног боравка, кухиње, спаваће собе, комуникација или сервисних простора. На тај начин класичан математички модел прилагођен је потребама архитектонског пројектовања, при чему локална правила омогућавају настанак сложенијих просторних конфигурација. функционалних и просторних ограничења.

3. РАЗВОЈ ГЕНЕРАТИВНОГ МОДЕЛА

Модел је заснован на правилној мрежи ћелија и дефинисаном скупу функционалних и геометријских правила [4]. Посебна пажња посвећена је дефинисању међусобних односа просторних јединица, при чему су уведена правила суседства, компактности, природног осветљења, контакта са фасадом и континуитета вертикалних комуникација између етажа. Процес генерисања организован је кроз фазе, при чему се просторна структура развија постепено, а свака нова итерација представља резултат примене дефинисаних правила на претходно стање система.

3.1. Стратегија почетног стања (SEED модели)

Како би се испитао утицај почетне конфигурације на развој архитектонске форме, развијене су четири различите стратегије генерисања [5]. Seed A полази од вертикалне комуникације као основног организационог елемента, Seed B користи дневну зону као почетни генератор простора, Seed C формира организацију полазећи од угла парцеле, док Seed D користи централни део основе као почетну тачку развоја. Овако дефинисан приступ омогућио је систематично испитивање утицаја различитих почетних стратегија на процес генерисања архитектонске форме и вредновање добијених просторних варијанти према унапред дефинисаним критеријумима.

3.2. Резултати и евалуација модела

Генеративни алгоритам успешно је произвео више варијантних решења за сваку од дефинисаних почетних стратегија. Полазну основу процеса генерисања представљају различите генеративне основе (Seed), чији је концепт приказан на Слици 1. Свака генеративна основа дефинише почетни распоред кључних функционалних елемената унутар мреже ћелијског аутомата, од којег започиње даљи процес развоја модела применом дефинисаних правила. На тај начин омогућено је испитивање утицаја различитих почетних конфигурација на коначну организацију архитектонске форме и функционални распоред простора. Након формирања генеративне основе, алгоритам кроз више итерација постепено развија просторну структуру, при чему свака наредна фаза представља резултат примене правила транзиције и међусобне интеракције суседних ћелија [2]. Добијени резултати анализирани су према критеријумима функционалне организације, компактности основе, осветљености просторија, поштовања дефинисаних правила и рационалности комуникација. Анализа показује да различите почетне стратегије доводе до различитих архитектонских форми, при чему поједини модели остварују боље резултате у погледу осветљења, док други постижу већу просторну компактност или ефикаснију организацију функционалних целина. На основу спроведене евалуације издвојено је оптимално решење, које је даље разрађено и анализирано као најуспешнији пример примене предложеног генеративног модела.



Слика 1. SEED A, функционални принцип

3.3. Разрађено решење

Након спроведене евалуације свих генерисаних варијанти, за даљу разраду изабрано је решење добијено применом почетне стратегије Seed A. Ова варијанта је, у поређењу са осталим генерисаним решењима, показала најбоље резултате у погледу функционалне организације простора, компактности основе, рационалности комуникација и испуњености дефинисаних правила генеративног модела. Због тога је одабрана као најпогоднија основа за даљу архитектонску разраду и проверу могућности примене генеративног приступа у реалном процесу архитектонског пројектовања. Полазну основу представљало је решење које је алгоритам аутоматски генерисао применом вишестањског фазног модела ћелијских аутомата [5]. Добијена генеративна основа није накнадно редизајнирана нити је пројектована испочетка, већ је прихваћена као резултат рада алгоритма. На тај начин је омогућена провера у којој мери алгоритамски генерисана просторна

организација може представљати квалитетно полазиште за развој реалног архитектонског решења. Разрађена архитектонска основа приказана је на Слици 2. У наредној фази приступило се архитектонској разради добијене основе. Задржана је функционална организација коју је алгоритам формирао, док су у циљу формирања потпуног архитектонског решења дефинисани конструктивни систем, дебљине зидова, положај отвора, вертикалне и хоризонталне комуникације, као и остали елементи неопходни за реализацију објекта. Извршене интервенције нису мењале основну просторну логику генерисаног решења, већ су биле усмерене ка његовој конструктивној, техничкој и архитектонској разради.
На основу тако разрађене основе израђен је тродимензионални модел објекта, који представља визуелну и просторну проверу резултата добијеног генеративним поступком. 3D модел, приказан на Слици 3, омогућава сагледавање просторних односа, волумена и начина на који се алгоритамски генерисана организација простора преводи у реалну архитектонску форму. Циљ израде модела није био обликовање новог решења, већ провера просторне и конструктивне оправданости генеративно добијене основе. Коначни резултат процеса представља архитектонски разрађено решење објекта, приказано на Слици 4. На основу алгоритамски генерисане основе развијен је конструктивно логичан, функционално организован и архитектонски читљив објекат, који задовољава основне просторне и пројектантске захтеве. Овим је потврђено да генеративни модел заснован на ћелијским аутоматима може представљати поуздану основу за даљу архитектонску разраду и послужити као ефикасан алат за подршку архитектама у раним фазама пројектовања, при чему се коначна архитектонска вредност остварује кроз даљу интерпретацију и разраду добијеног генеративног решења. Спроведена архитектонска разрада показује да резултати генеративног процеса могу послужити као поуздана основа за даљи развој пројекта, уз минималне интервенције које се односе на конструктивну и техничку разраду. На тај начин потврђен је потенцијал примене генеративних алгоритама не само као средства за генерисање варијантних решења, већ и као полазишта за развој архитектонски реализабилних објеката.

3.4. Дискусија

Резултати истраживања потврђују да примена ћелијских аутомата може представљати ефикасан метод за генерисање функционалних архитектонских решења у раној фази пројектовања [6]. Развијени модел показује да се применом једноставних локалних правила могу добити различите просторне организације које задовољавају основне функционалне и урбанистичке захтеве.



Слика 2. Основа разрађеног модела Seed A



Слика 3. Просторни габарит модела



Слика 4. Визуелни приказ модела

Највећи допринос истраживања огледа се у повезивању генеративног алгоритма са конкретним проблемом пројектовања стамбених објеката на угаоним парцелама. Модел не представља замену за архитекту, већ алат који омогућава брзо генерисање и поређење већег броја пројектантских алтернатива, чиме се унапређује процес доношења одлука у раним фазама пројектовања.

4. ЗАКЉУЧАК

Истраживање је показало да ћелијски аутомати представљају ефикасан генеративни алат за развој архитектонске форме у раним фазама пројектовања [2]. Применом унапред дефинисаних функционалних, просторних и геометријских правила развијен је модел способан да генерише више варијантних решења за стамбене објекте на угаоним парцелама, уз истовремено поштовање основних пројектантских захтева. Резултати потврђују да избор почетног стања (Seed стратегије) има значајан утицај на процес формирања просторне организације и коначан изглед архитектонске форме. Иако су сва генерисана решења задовољила дефинисане функционалне критеријуме, међу њима су уочене разлике у степену компактности, квалитету осветљења, организацији комуникација и искоришћености потенцијала угаоне парцеле. Тиме је потврђено да различите почетне конфигурације могу водити ка различитим, али функционално валидним пројектним решењима. Највећи допринос рада огледа се у повезивању теоријских принципа ћелијских аутомата са конкретним проблемом архитектонског пројектовања. Развијени модел показује да генеративни приступ може бити корисна подршка архитекти у истраживању већег броја пројектантских алтернатива и доношењу одлука у раним фазама пројектовања, при чему алгоритам не замењује креативни процес, већ га проширује и унапређује. Даљи развој модела могао би обухватити укључивање додатних параметара, као што су конструкцијски системи, енергетска ефикасност, оријентација објекта и оптимизација према различитим урбанистичким условима. На тај начин генеративни модел могао би постати још флексибилнији алат за пројектовање различитих типологија објеката и сложенијих просторних ситуација.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] J. Frazer, *An Evolutionary Architecture*. London, U.K.: Architectural Association Publications, 1995.

[2] S. Wolfram, *A New Kind of Science*. Champaign, IL, USA: Wolfram Media, 2002.

[3] P. Coates, N. Healy, C. Lamb, and W. L. Voon, “The Use of Cellular Automata to Explore Bottom Up Architectonic Rules,” in *Proceedings of the Eurographics Conference*, 1996.

[4] J. von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata*. Urbana, IL, USA: University of Illinois Press, 1966.

[5] C. S. X. Ng, C.-H. Chen, and P. M. Sathikh, “A Procedural Approach Based on Cellular Automata for the Generation of Spatial Layout Designs,” *Automation in Construction*, vol. 166, 2024.

[6] M. Batty, *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2005.

Кратка биографија:



Миа Јовановић рођена је у Новом Саду 2002. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Архитектуре – Генерисање архитектонске форме на угаоним парцелама применом ћелијских аутомата одбранила је 2026. год.
Контакт:
mia.jovanovic444@gmail.com