Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

УДК: 72.012
ДОИ: https://doi.org/10.24867/36FA20Knezevic

Модел генеративног пројектовања стамбених комплекса полујавног типа применом ћелијских аутомата

Generative Design Model for Semi-Public Residential Complexes Using Cellular Automata

Ивана Кнежевић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Студијски програм – АРХИТЕКТУРА

Кратак садржај – *Развој дигиталних технологија и алгоритамских метода значајно је унапредио савремено архитектонско пројектовање. Посебан изазов представља пројектовање стамбених комплекса полујавног типа, које захтева усклађивање функционалне организације и просторне хијерархије. У раду је представљен модел генеративног пројектовања заснован на фазном ћелијском аутомату, развијен ради генерисања функционално организованих просторних конфигурација. Модел интегрише архитектонска правила у алгоритамски поступак и омогућава евалуацију и верификацију генерисаних варијанти кроз идејно архитектонско решење. Истраживање указује на потенцијал примене ћелијских аутомата у савременом архитектонском пројектовању.*

Кључне речи: *генеративно пројектовање, ћелијски аутомати, становање*

Abstract – *The development of digital technologies and algorithmic methods has significantly advanced contemporary architectural design. A particular challenge is the design of semi-public residential complexes, which requires balancing functional organization and spatial hierarchy. This paper presents a generative design model based on a phased cellular automaton, developed to generate functionally organized spatial configurations. The proposed model integrates architectural rules into an algorithmic process and enables the evaluation and verification of generated design variants through the development of a conceptual architectural solution. The research highlights the potential of cellular automata as a tool for enhancing contemporary architectural design.*

Keywords: *generative design, cellular automata, housing*

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

1. УВОД

Савремено архитектонско пројектовање се све више суочава са комплексним просторним и друштвеним захтевима који превазилазе могућности традиционалних, линеарних метода рада. Традиционални приступ у коме пројектант директно и интуитивно обликује форму често је ограничен у погледу броја варијанти које се могу анализирати у задатом временском оквиру. Насупрот томе, генеративно и алгоритамско пројектовање нуде парадигматску промену: уместо коначне форме, архитекта пројектује систем правила и релација унутар којих рачунарски алгоритам генерише, тестира и евалуира широк спектар просторних решења [1].

Овај рад се бави истраживањем могућности примене фазног модела ћелијских аутомата као алата за генеративно пројектовање специфичних стамбених структура, са посебним фокусом на обликовање комплекса полујавног типа. Циљ је развити флексибилан алгоритамски оквир који ће кроз итеративан процес аутоматски генерисати функционално кохерентне и просторно богато структуриране склопове, те успоставити јасну хијерархију између јавног, полујавног и приватног домена [2,3].

2. КОНТЕКСТ ПОЛУЈАВНОГ СТАНОВАЊА И УЛОГА ГЕНЕРАТИВНИХ МЕТОДА

2.1. Специфичности пројектовања полујавних стамбених комплекса

Полујавно становање представља тип просторне организације у којој се између строго приватног простора (стана) и јавног градског ткива уводи прелазна, контролисана зона намењена заједничким активностима станара [2]. Овај модел има кључну улогу у подстицању социјалне кохезије унутар заједнице, подизању степена безбедности и стварању квалитетнијег микроклиматског амбијента кроз заједничка дворишта, атријуме и терасе [4]. Међутим, пројектовање оваквих комплекса захтева истовремено решавање великог броја конфликтних параметара, укључујући оптималну инсолацију, природно проветравање, минималну дубину тракта, јасну организацију комуникација и заштићеност унутрашњег простора.

2.2. Потреба за оптимизацијом простора

Будући да промена само једног елемента (нпр. позиције вертикалног комуникационог језгра)

индукује ланчане промене у целокупној структури комплекса, генеративно пројектовање се намеће као природан избор за ову врсту изазова. Кроз дефинисање јасних локалних правила, процеси самоорганизације и емергенције омогућавају да се из једноставних просторних јединица развије сложена, ефикасна и архитектури прилагођена матрица [1].

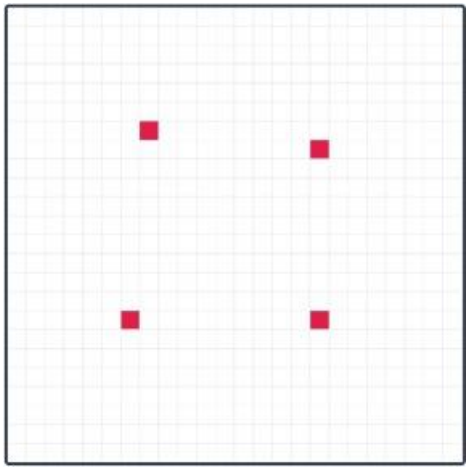
3. МЕТОДОЛОГИЈА И ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ЋЕЛИЈСКИХ АУТОМАТА

3.1. Принципи и дискретна логика ћелијских аутомата

Ћелијски аутомати (Cellular Automata) представљају дискретне, динамичке симулационе системе чији се развој заснива на локалним интеракцијама унутар правилне просторне мреже (грида) [5,6]. Свака ћелија у мрежи може заузети одређено стање из коначног скупа стања, а њена промена у следећем временском кораку (итерацији) диктирана је математичким правилима на основу тренутног стања саме ћелије и стања њених непосредних суседа. Иако су класични модели изворно бинарни и симетрични [6], у овом раду се њихова логика проширује у правцу архитектонске функционализације, где свако појединачно стање ћелије репрезентује конкретну просторно-програмску јединицу (хоризонталне комуникације, сервисне зоне, дневне групе просторија, терасе итд.).

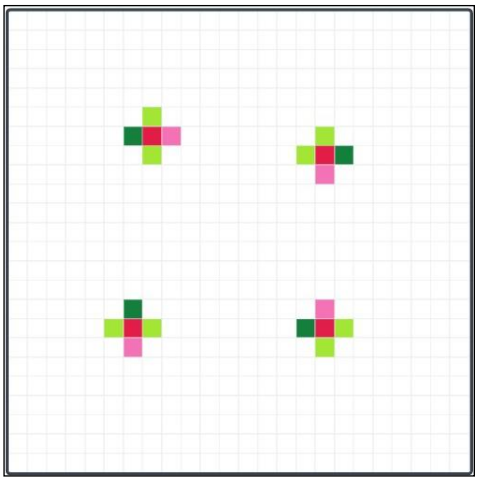
3.2. Почетна фазна транзиција и развој мреже

За разлику од традиционалних симулација у архитектури које углавном третирају само урбану морфологију [3], предложени модел користи концепт поделе правила по итеративним фазама, што директно осликава логику реалног архитектонског процеса. Како би се приказала почетна фазна транзиција система, уводи се сет раних итерација. На Слици 1 приказано је почетно стање система са дефинисаним примарним нуклеусима у тренутку T0.

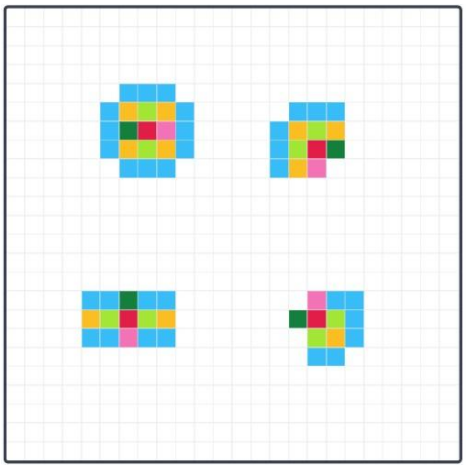


Слика 1. Почетно стање

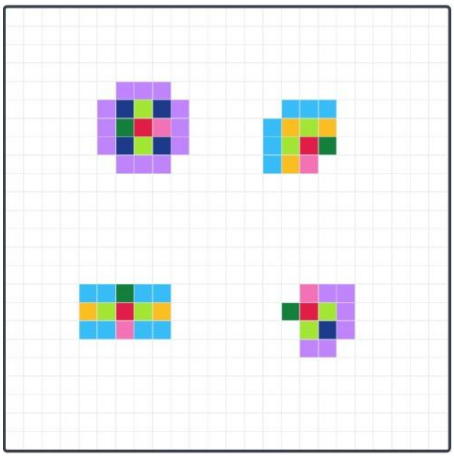
Надаље, Слика 2 илуструје прве структурне промене и везивања унутар мреже у фази итерације T1. Слика 3 приказује фазу T2 где долази до просторног ширења у складу са суседним матрицама, док Слика 4 и Слика 5 приказују итерације T3 и T4, респективно. Кроз ових првих пет корака систем стабилизује своју унутрашњу логику и формира прелиминарне границе просторних зона, чиме се обезбеђује контрола над емергентним обликовањем форми.



Слика 2. Итерација 1



Слика 3. Итерација 2

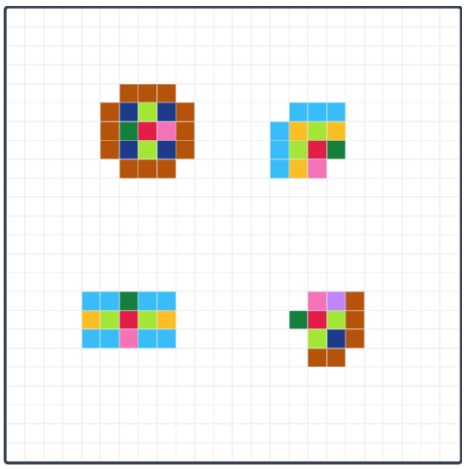


Слика 4. Итерација 3

4. РАЗВОЈ ФАЗНОГ ГЕНЕРАТИВНОГ МОДЕЛА СТАМБЕНОГ КОМПЛЕКСА

4.1. Правила трансформације ћелија (R1–R10)

Основа развијеног модела је тродимензионални грид у коме је дефинисан граф међусобних просторних релација и дозвољених суседстава.

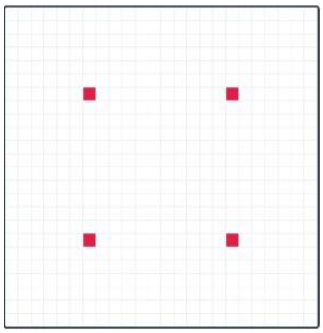


Слика 5. Итерација 4

Алгоритам је вођен скупом од десет строго дефинисаних архитектонских правила трансформације (R1–R10). Ова правила контролишу како се ћелије шире око примарних језгара, спречавају формирање превише дубоких трактова који пате од мањка природног светла, регулишу постављање отворених заједничких тераса, те осигуравају да свака стамбена јединица буде директно повезана са хоризонталним и вертикалним комуникацијама.

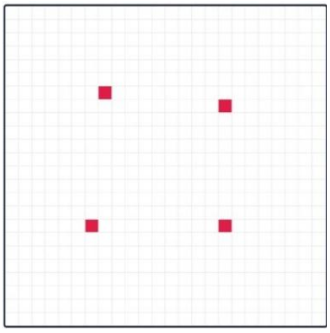
4.2. Почетни сценарији и улазни параметри

Процес генерисања је тестиран кроз три различита типа почетних сценарија како би се испитала робусност и флексибилност алгоритма. Развијена су два контролисана сценарија са унапред позиционираним комуникационим чвориштима: сценарио Seed A и сценарио Seed B. Слика 6 приказује распоред почетних елемената за контролисани сценарио Seed A у стању T0.



Слика 6. Почетно стање – SEED A

Насупрот томе, Слика 7 илуструје почетно стање за контролисани сценарио Seed B, са алтернативно постављеним тачкама раста. Поред њих, покренут је скуп симулација са потпуно насумично генерисаним улазним параметрима (Random Seed 1–10) ради испитивања понашања алгоритма под нестандардним пројектним околностима.



Слика 7. Почетно стање – SEED B

5. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА И ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА ЕВАЛУАЦИЈА

5.1. Критеријуми вредновања варијанти

Све генерисане просторне варијанте (контролисани сценарији Seed A и Seed B, као и десет насумичних симулација са Random Seed почетним стањима) прошле су кроз процес објективне квантитативне и квалитативне процене. Евалуација је спроведена кроз пет кључних пројектних критеријума који директно утичу на стамбени и просторни квалитет комплекса. Први критеријум обухватио је степен инсолације и осунчаности објеката, док се други односио на функционалну повезаност унутрашњих просторија и комуникационих токова. Трећи критеријум третирао је густину изграђене структуре и могућност природног проветравања, четврти дубину тракта објекта ради ефикасног осветљења, док је пети критеријум вредновао геометријску заштићеност и степен формираности унутрашњег дворишта као примарног полујавног простора заједнице. Свака варијанта је оцењивана у распону од 1 до 5 за сваки појединачни параметар, на основу чега је формиран укупан збир бодова за рангирање.

5.2. Резултати симулација и избор оптималног решења (Seed B)

Кроз процес квантификације оцена утврђено је да насумично генерисани сценарији (Random Seed 1–10) показују знатно већу формалну дисперзију, али и нижу просторну кохерентност, остваривши укупан резултат који варира између 16 и 21 бода. Са друге стране, контролисани сценарији остварили су доминантне вредности захваљујући унапред дефинисаном положају комуникационих чворишта. Сценарио Seed A показао је изврсне резултате у погледу дубине тракта и проветравања, завршивши евалуацију са укупно 22 бода. Као најуспешнији модел идентификован је сценарио Seed B, који је остварио максимални укупан збир од 23 бода. Ова варијанта је забележила највише оцене у категоријама функционалне повезаности просторија и формираности унутрашњег полујавног дворишта, чиме је задовољила све кључне архитектонске захтеве и изабрана за финалну пројектантску разраду.

5.3. Архитектонска разрада и просторна верификација

Одабрана ћелијска матрица сценарија Seed B је након евалуације директно преведена у конвенционални архитектонски језик. На основу генерисаног распореда функционалних ћелија материјализоване су просторне границе и формиране коначне основе објеката. Кроз ову детаљну пројектну разраду стамбеног комплекса, приказану на Слици 8, доказана је употребљивост алгоритма у реалним архитектонским оквирима. Коначна верификација модела, којом се потврђује тродимензионални квалитет укупних волумена и амбијентална вредност полујавног дворишта, извршена је кроз израду тродимензионалног рачунарског модела комплекса, што је илустровано на Слици 9. Тродимензионални приказ у потпуности оправдава избор овог сценарија кроз успешну материјализацију компактне и заједници прилагођене структуре становања.



Слика 8. SEED B – идејно решење



Слика 9. SEED B – модел

6. ЗАКЉУЧАК

Истраживање је показало да предложени фазни модел ћелијских аутомата успешно превазилази ограничења класичних математичких симулација у архитектури, омогућавајући висок степен контроле над емергентном формом [3,5]. Увођење сета правила подељених по развојним фазама T0–T4 спречило је просторни хаос и резултовало структурама које у потпуности задовољавају реалне архитектонске стандарде организације становања [1]. Вишекритеријумска евалуација се показала као кључан алат за објективизацију пројектних одлука, где је модел Seed B верификован као просторно најефикаснији. Главни допринос овог рада огледа се у дефинисању јасне методологије која успешно повезује апстрактну рачунарску логику ћелија са реалним архитектонским пројектовањем у простору. Будући правци развоја овог модела могу укључити интеграцију конструктивних система и енергетских перформанси у систем правила трансформације.

7. ЛИТЕРАТУРА

[1] K. Terzidis, *Algorithmic Architecture*. London, UK: Routledge, 2006.

[2] C. Alexander, *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1964.

[3] M. Batty, *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models and Fractals*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2007.

[4] J. H. Frazer, *An Evolutionary Architecture*. London, UK: Architectural Association, 1995.

[5] J. von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata*, A. W. Burks, Ed. Urbana, IL, USA: University of Illinois Press, 1966.

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

Кратка биографија:



Ивана Кнежевић рођена је у Новом Саду 2003. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Архитектуре – Модел генеративног пројектовања стамбених комплекса полујавног типа применом ћелијских аутомата одбранила је 2026. год. **Контакт**: ivanakn02@gmail.com