

Упоредни приступ генерисању фотореалистичних варијација параметарских форми у реалном времену применом тастатуре и гласовних команди

Comparative Approach to Generating Photorealistic Variations of Parametric Forms in Real Time Using Keyboard and Voice Commands

Слободан Пећанац, Марко Јовановић, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Студијски програм – АРХИТЕКТУРА

Кратак садржај – Рад представља упоредну анализу приступа за генерисање фотореалистичних варијација параметарских форми у реалном времену, применом класичног уноса преко тастатуре и миша или гласовних команди. Практични део, заснован је на прототипном радном току који повезује Грасхопер и Анрил Енџин преко .ЦСВ моста. Евалуација укључује мерење времена ажурирања, тачности контрола и корисничке употребљивости на примерима инстанцираних фасадних панела. Циљ је проценити који интерфејс пружа бржу, прецизнију и приступачнију презентацију параметарских варијација у архитектонској пракси.

Кључне речи: рендеровање, параметарски дизајн, софтвер, гласовне команде, интеграција

Brief abstract – *This paper presents a comparative study of two interaction paradigms for producing photorealistic, real-time variations of parametric forms: conventional keyboard and mouse input or voice commands. The practical work implements a prototype workflow linking Grasshopper and Unreal Engine via a .CSV data bridge. Evaluation metrics include refresh latency, control accuracy, and user usability, tested on instanced façade panel scenarios. The study aims to determine which interface delivers faster, more precise, and more accessible presentation of parametric variations in architectural practice.*

Keywords: *rendering, parametric design, software, voice commands, integration*

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Марко Јовановић, ванред. проф.

1. УВОД

У савременом архитектонском пројектовању, дигитални алати су постали неизоставни део креативног процеса, омогућавајући прелазак са традиционалних метода на аутоматизовану и динамичну генерацију форми. Од краја 20. века, када

су програми попут Аутокеда (енг. AutoCAD) ушли у употребу, архитектура је еволуирала од простог дигиталног цртања ка сложеним системима који интегришу програмирање, симулације и визуализацију. Бранко Коларевић истиче: „Интеграција дигиталних алата у процесе дизајнирања и производње је неопходна; без ње, потенцијал параметарског дизајна остаје неостварен“ [1]. Еволуција дигиталних приступа у архитектури може се пратити кроз три главна степена, а то су оперативни, параметарски и алгоритамски. Почетни степен, од 1980-их година, обележен је оперативним приступом, где су алати попут Аутокеда служили као дигитални продужетак ручног цртања, омогућавајући брзо креирање техничких цртежа, али уз низак ниво аутоматизације процеса рада. Следећи ниво јесте параметарски приступ, који је увео флексибилност кроз дефинисање елемената преко параметара и односа. У софтверима попут Бентли Системс (енг. Bentley Systems) или раним БИМ (енг. BIM – Building Information Modeling) системима, промена вредности аутоматски ажурира модел, што је револуционарно утицало на итерације. Ипак, овај приступ је ограничен на постојеће параметре, без могућности мењања основних инструкција. Најнапреднији степен је алгоритамски приступ, који комбинује параметре са низовима инструкција, омогућавајући генерисање мноштва варијација у односу на жељени исход пројектанта, а пратећи специфичну замисао пројектанта. Тони Котник у свом раду о алгоритамској архитектури објашњава да се овај метод разликује од параметарског по томе што омогућава интервенцију у саме процедуре, отварајући пут за перформативни и генеративни дизајн [2].

Данас, алати попут Грасхопера (енг. Grasshopper), као додатка за Рајносерос (енг. Rhinoceros) софтвер, постали су стандард, омогућавајући алгоритамски приступ применом визуелног програмирање преко чворова за креирање сложених геометрија. Ово је довело до иновација попут оптимизације фасада или урбаних симулација, где се форме прилагођавају факторима као што су структура или екологија. Међутим, овај напредак доноси и изазове у презентацији, јер брзо генерисање варијација често

доводи до неадекватне визуализације, и мања оптималног начина интеракције са параметрима.

1.1. Предмет рада

Предмет овог рада је интеграција дигиталних алата за алгоритамски дизајн са платформама за визуализацију у реалном времену, са фокусом на премошћавање јаза између генерисања форми и њиховог реалистичног приказа. Мотивација истраживања била је потреба за балансом између креативности и практичности, где се параметарске варијације могу приказати у фотореалистичном окружењу без кашњења повратне информације, односно превелике латенције, што је кључно за савремену архитектуру. На пример, у пројектима где се фасаде оптимизују за светлост или енергију, ова интеграција омогућава да се варијације тестирају у реалном времену, без потребе за дугим рендерима, што смањује време пројектовања и повећава прецизност. У сценаријима где се урбани модели симулирају, омогућава да се варијације тестирају не само визуелно, већ и интерактивно, што побољшава одлучивање у тимском раду. Поред тога, истражују се етичке импликације, јер ефикасна визуализација може спречити неспоразуме у фази презентације, где апстрактни модели често доводе до погрешних очекивања.

Ова тема је релевантна, јер се осврће на етичке и практичне аспекте дигиталног пројектовања. У ери где се пројекти све више ослањају на алгоритме, потреба за брзим визуелним повратним информацијама је критична, посебно за клијенте који нису упознати са техничким детаљима, па је потреба за алтернативном методом интеракције присутна. У наредном одељку је стога битно осврнути се на тренутна достигнућа у овом пољу, како би се на адекватан начин приступило решавању проблема који постоје у области.

1.2. Стање у области

Стање у области интеграције алгоритамског дизајна са визуализацијом у реалном времену показује растући интерес за хибридне системе, али и бројна ограничења за које је потребно осмислити иновативно решење. Истраживања у овој области се све више фокусирају на премошћавање јаза између генерисања форми и њиховог динамичког приказа, са нагласком на алате који омогућавају колаборацију и брзе итерације. На пример, може да се истакне улога Грасхопера у креирању алгоритамских модела, који се преносе на софтвере за визуелизацију у реалном времену преко алата попут Рајно компјут (енг. Rhino Compute) за рачунање базирано на клауду (енг. cloud) и ШејпДајвер (енг. ShapeDiver) који омогућава да се алгоритми прикажу у виду онлајн апликације. Овај приступ омогућава дељење варијација, али се ослања на повезаност са интернетом, што доводи до губитка флексибилности и кашњења у ажурирању. Ови радови указују на потенцијал за побољшање продуктивности, али наглашавају да се фокус често ставља на мануелни пренос модела и података, а не на аутоматско, динамичко подешавање. Такође, Виреј (енг. V-ray) плугин за Рајно софтвер са Грасхопером, омогућава фотореалистичне рендере параметарских модела, али

они нису у реалном времену, што значи да моментална визуализација промењених параметара није могућа.

Један од значајних алтернативних приступа је коришћење плагина попут Мајндеска (енг. Mindesk), који омогућава директну везу у реалном времену између Рајна са Грасхопером и Анрил Енцина, без потребе за експортом датотека. Мајндеск користи КЕД Лајв Линк (енг. CAD Live Link) технологију да синхронизује геометрију из Рајна са Анрилом, где се промене у Грасхоперу одражавају инстантно у виртуелном окружењу. Овај додатак је посебно користан за архитектонске презентације, где се параметарске варијације могу истраживати у виртуелној реалности (VR), али је потребна комерцијална лиценца и није потпуно отворен, што га чини мање доступним за ширу примену. Након увида у дате релевантне примере, може се приметити да проблем истраживања лежи у фундаменталном јазу између генерисања динамичних варијација у алгоритамским алатима попут Грасхопера и њиховог ефикасног приказа у реалном времену применом реалистичних материјала и осветљења. Традиционални радни токови се ослањају на извожење модела у друге формате (.OBJ или .FBX), што доводи до губитка параметарске флексибилности, јер свака нова варијација захтева поновно извожење из једног програма за пројектовање и увоз у програм за визуелизацију. Овај поступак успорава итерације и смањује ефикасност приликом процеса итеративне потраге за адекватним решењем. На пример, у пројектима где се фасаде оптимизују за светлост, извоз и увоз модела може трајати сатима, што ограничава креативност и повећава трошкове. Решења базирана на прорачуну путем клауда, попут ШејпДајвера или Рајно Компјута, нуде одговарајућу комплементарност, али могу да узрокују кашњење услед зависности од интернет конекције и серверског рачунања, што их чини непоузданим за офлајн примену или у сценаријима у реалном времену.

Додатно, стандардни уређаји за улазне податке попут миша и тастатуре нису увек приступачни за особе са ограниченом моториком, где гласовне команде могу да буду алтернатива.

1.3. Циљ рада и критеријуми истраживања

На основу изнетих проблема, циљ рада је успоставити хибридни приступ за приказивање варијација алгоритамског приступа у реалном времену у реалистичном окружењу, користећи стриминг података између Грасхопера и Анрил Енцина. Овај циљ укључује фазе као што су креирање параметарског модела, аутоматско ажурирање преко ЦСВ фајлова у Анреал Енцину, и компаративна анализа тастатуре као уређаја за улазне податке и интеракцију, у односу на гласовне команде које потенцијално пружају већу приступачност. Критеријуми за вредновање су: време рачунања (мери се у милисекундима), стабилност система (број инстанци без пада перформанси), и приврженост уносу информација односно приступачност (поређење гласовних команди са слајдерима по ефикасности и тачности). Ово ће омогућити квантитативно упоређивање са постојећим методама. Како би се спровело истраживање,

примењене су методе као што је метода моделовања у Грасхоперу за генерисање варијација, стриминг преко ЦСВ-а, метода симулације за приказивање фотореалистичних визуализација у Анрил Енцину, и интеграцију Сфинкс (енг. Sphinx) плагина за гласовне команде. Тестирање ће бити у виду апликације на примеру параметарске фасаде, мерећи перформансе кроз квантитативне метрике и корисничке студије у виду анкете.

Хипотеза је да ће време рачунања и освежавања података бити мање од 16 милисекунди, постижући 60 фрејмова у секунди, што је довољно за приказивање у реалном времену без латенције, уз гласовне команде као бољи избор испитаника анкете, за увођење команди и промена варијација решења финалне геометрије.

2. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Методологија овог истраживања представља оквир за развој хибридног система, који спаја алгоритамски приступ у генерисању архитектонских форми са визуализацијом у реалном времену, фокусирајући се на принципе динамичког преноса података и интерактивне контроле. Уместо на детаљним техничким упутствима, акценат је на представљању концептуалних основа, тј. параметризацији као основи за флексибилност, стримингу података као мосту за синхронизацију, и мултимодалној интеракцији кроз укључивање методе анкете за проверавање жељеног начина уноса команди од стране корисника.

2.1. Поставка параметарског модела у Грасхоперу

Цео радни ток је прво истражен на једном једноставном елементу. Елемент је произведен унутар Рајно софтвера где је задата његова почетна тачка (енг. Origin point), а његова локација и ротација су манипулисани параметрима у Грасхоперу. Центиметри су постављени као мерне јединице. Да би овај елемент у његовој параметарској позицији био приказан у фотореалистичном окружењу, у реалном времену, прво је потребно издвајање његовог бројчаног индекса, заједно са координатама локације и степенима ротације око просторних оса. Након што су ови подаци успешно издвојени преко чворова унутар Грасхопера, покреће се њихов континуални пренос, односно стриминг у табеларни формат, а то је .ЦСВ формат, који може бити прочитан у софтверима попут Ексела (енг. Excel). Сваки пут кад би се изменила нека од вредности параметара, ова табела са кључним информацијама о елементу би се ажурирала са новим вредностима параметара. Брзина формирања ажуриране верзије ЦСВ фајла је 1мс. Овим процесом, елемент је припремљен да буде пресликан у реалистично окружење архитектонске визуализације у Анрил Енцину. Након успешне визуализације једноставног елемента унутар Анрил Енцина у реалном времену, потребно је формирати и другу страну ове повезаности, за коју ће радни ток бити објашњен у следећем потпоглављу.

2.2. Рендеровање у реалном времену, у Анрил Енцину

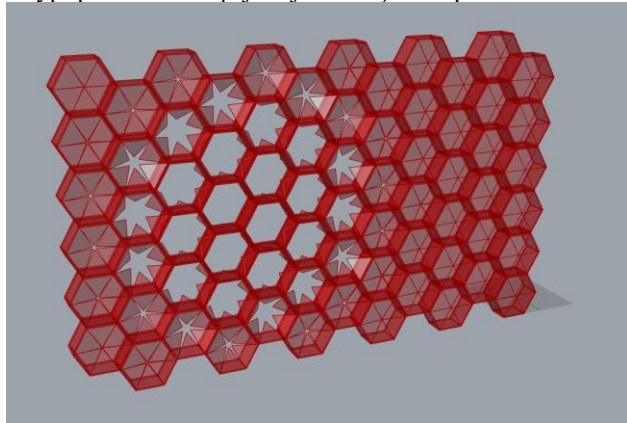
Да би се правилно увезли подаци из ЦСВ фајла, који се континуално преносе из Грасхопера, потребно је креирати структурни блупринт, који ће примити вредности из ЦСВ табела. Након тога, потребно је саставити блупринт код, који ће податке о позицији из увезене ЦСВ табеле аплицирати на увезен модел. С обзиром да Анрил Енцин користи леви картезијански координатни систем са Z осом као вертикалном, а Рајно користи десни картезијански систем са Z осом такође као вертикалном, потребно је помножити ротациони параметар Y осе са -1 и ротирати модел за 90°. Затим, потребно је у Анрил Енцин подешавањима означити локацију ЦСВ фајла, укључити посматрање измена на датој локацији и подесити време реимпортовања на минималну вредност од 1мс. Овим путем је комплетно успостављена веза између Грасхопера и Анрил Енцина у реалном времену. Померањем ротационих параметара једноставног модела у Грасхоперу, видимо директну промену у Анрил Енцину, са минималним кашњењем од 1мс. Након завршене методе једноставног модела, започета је главна анализа латенције на сложеном моделу и програмирање апликације, која ће бити пример тестиран за анкету. Апликација је осмишљена да садржи кратку игру из два дела. У првом делу игре корисник након што прочита упутство, треба да контролише кинетичку фасаду уз помоћ тастатуре. Тиме се креира отвор на одговарајућем месту, тако да светлост прође и обасја један од три предмета на поду просторије, који је у датом моменту приказан на виртуалном екрану. Након што одговарајући предмет буде обасјан 6 пута, потребно је поновити игру испочетка, али овај пут употребом гласовних команди. Након што се игра заврши, корисник је упућен да попуни анкету.

Цео процес програмирања апликације је извршен са Блупринт визуалним програмским језиком у Анрилу са минималним Ц++ кодирањем потребним за Сфинкс плагин за препознавање гласа, да би се апликација правилно билдовала. Да би се направила опција да корисник може да отвори кинетички зид на три места (лево, у средини и десно) потребно је направити три копије алгоритма унутар Грасхопера, где ће на сваком алгоритму параметри бити постављени тако да формирају ове отворе. Тиме се добијају три различита ЦСВ фајла, која се неће континуално ажурирати, већ ће се једанпут увести у Анрил Енцин. Кинетичка фасада ће се интерполирати, на основу ова три табеларна фајла и постепено отварати на жељеној локацији, притиском на типку на тастатури. После сложеног програмирања слајдера, који су симулирани тастерима, и након што је цео ентеријер са предметима које треба осветлити, измоделован и унет у сцену, било је потребно програмирати систем гласовних команди. Кинетичку фасаду је могуће контролисати командама на енглеском језику, којима се индикује који део фасаде да се отвори (Open left/center/right). Поред тога, могуће је и изговорити назив предмета на поду и фасада ће се отворити на потребном месту где се поменут предмет налази. Анкета је формирана тако да

се добије мишљење корисника о преферирању гласовних команди у односу на тастатуру. Практични део анкете састојао се од питања базираних на функционисању апликације, успешном преласку игре унутар апликације, приступачности тастатуре и гласовних команди, брзини реакције система, и успеху система да препозна гласовне команде.

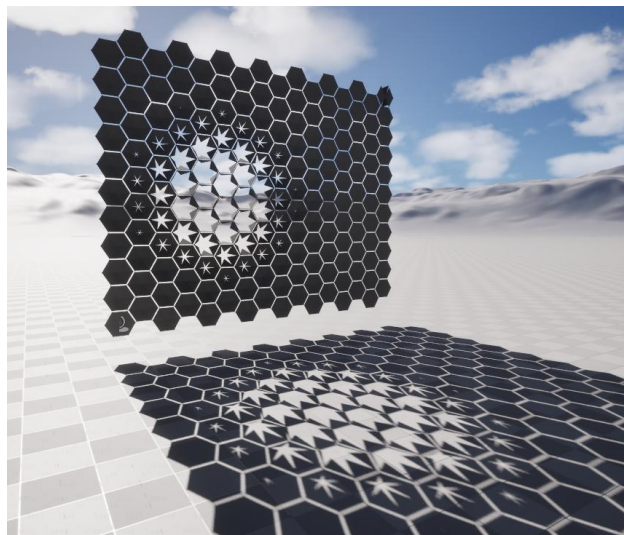
3. РЕЗУЛТАТИ

Како би се испитало на који начин број инстанци за које се прикупљају подаци, утиче на латенцију, обављено је истраживање на сложенијем моделу, кинетичкој фасади сачињеној од хексагоналних елемената. Форма овог новог модела је сачињена од укупно 200 шестоугаоних ћелија (са распоредом од 10 x 20 ћелија). Свака хексагонална ћелија је подељена на 6 брисолеја троугластог облика са омогућеним ротирањем ка спољашњој страни ове кинетичке фасаде. Ротацијом ових троугластих брисолеја би се појединачна хексагонална ћелија отворила, и тиме омогућила пролазак светлости у реалном контексту. Након формирања генеративног алгоритма за овај модел и успешног оријентисања троугаоних елемената, свака инстанца са својим бројем индекса, хуз координатама за локацију и степеном ротације за сваку осу, је пренета у ЦСВ фајл. Свако ново ажурирање овог фајла је такође извршено за 1мс.



Слика 1. Главни Грасхопер модел хексагоналне кинетичке фасаде за тестирање латенције при промени параметара [1]

Унутар Анрил Енцина, са хексагоналном мрежом од 200 шестоугаоних ћелија, приметно се види кашњење од 450 мс. Ако се изврши промена мреже, тако да се састоји од 32 x 22 ћелије, онда промена параметара у Грасхоперу изазове визуално кашњење у Анрил Енцину од 1600 мс. После тога, тестирано је на мрежи од 16 x 11 ћелија, где је латенција била приближно 300 мс. Затим је тестирано на мрежи од 8 x 4, где је латенција била око 50мс и последње 4 x 4 са кашњењем од око 20мс. Брзина реаговања ове конекције је тестирана методом снимања екрана са успореним режимом са 240 фрејма по секунди. Тестирање је извршено на рачунару са графичком картицом NVIDIA GeForce 5070 тј., процесором AMD Ryzen 7 7800X3D 8-Core, 32GB рам меморије на Виндос 11 оперативном систему.



Слика 2. Визуализација модела са мрежом од 16x11 ћелија, у реалном времену [2]

Што се тиче резултата анкете, од 19 испитаних корисника апликације, 52,6% сматра да су гласовне команде лакше за употребу, у односу на тастатуру, али такође исти проценат не би желео да користи гласовне команде у свакодневном раду. Већина испитаника, односно 57,9% даје максималну оцену на лихтеровој скали за брзину препознавања команди, док 63,2% сматра да је систем препознао њихове команде већином времена, 26,3% увек и 10,5% ретко.

4. ЗАКЉУЧАК

Хипотеза рада, да ће време рачунања и освежавања података бити мање од 16 милисекунди, је испуњена у случају једноставног модела, и комплексног модела до приближно 90 инстанци са 5 полигона. Са даљим повећавањем броја инстанци долази до приметног кашњења. Већина корисника апликације сматра гласовне команде више приступачним интерфејсом за архитектонску параметарску визуализацију у односу на тастатуру али наглашавају да коришћење тастатуре увек мора бити опција.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] B. Kolarević, "Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing", New York, Taylor & Francis, Januar 2005.
- [2] T. Kotnik, "Patterns of Interaction: Computational Design Across Scales", Singapore, Springer, 2023.

Кратка биографија:



Слободан Пећанац рођен је у Зрењанину 1997. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Архитектура – Архитектонска визуелизација и симулације одбранио је 2025.год.
Контакт: sloba9000@gmail.com