

3D-МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНІМАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ «РОЗУМНОГО ДОМУ» З АПАРАТНОЮ СИМУЛЯЦІЄЮ НА ПЛАТФОРМІ TINKERCAD

Вільчинський Є. В.

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, м. Київ

ВСТУП

Актуальність і постановка проблеми. Ринок «розумних будинків» стрімко зростає за оцінками Coherent Market Insights та Grand View Research, у 2025-2026 роках системи безпеки й автоматизації займають вже понад 49% загального ринкового обсягу [1, 2]. Паралельно зростає й попит на фахівців у цій галузі. Разом з тим навчальних матеріалів, де 3D-візуалізація поєднана з реальною апаратною логікою є одиниці, що й обумовлює практичну цінність даної роботи.

Метою даного дослідження є розробка інтегрованої моделі системи «розумного дому», що поєднує тривимірну візуалізацію та імітацію апаратної логіки шляхом створення 3D-сцени в середовищі Blender і моделювання роботи електронних компонентів на платформі Tinkercad із використанням мікроконтролера Arduino Uno.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед праць із зазначеної тематики варто відзначити практичний посібник S. Amine з Hard Surface Modeling у Blender [3] він став основним методичним орієнтиром при відтворенні корпусів пристроїв. Питання скелетної анімації та риггінгу в Blender охоплює офіційна документація Blender Foundation щодо системи Rigify [4]. Апаратна частина спирається на технічну документацію Arduino Uno [5] та datasheet датчика TMP36 від Analog Devices [6]. Ширший контекст застосування тривимірної графіки в технічних і мультимедійних застосунках розглянуто у колективній монографії «Mixed Reality and Three-Dimensional Computer Graphics» за редакцією В. R. Jovanić [7]. Проведений аналіз понад 50 джерел засвідчив, що готових рішень, де 3D-анімація і апаратна симуляція об'єднані в один навчальний продукт, у відкритому доступі знайти не вдалося і це підтверджує актуальність і новизну обраного напрямку.

Короткий опис дослідження, його методів і засобів. Робота складається з двох паралельних, але пов'язаних між собою частин. У Blender змодельовано будинок за реальним архітектурним планом, що слугував референсом для точного відтворення планування приміщень [8]. Стіни виконані екструзією куба в режимі Edit Mode, покрівля сформована операцією Merge верхніх вершин. Вікна та двері згенеровано вбудованим аддоном Archimesh, що дозволило налаштувати їх тип, розміри й деталізацію без ручної побудови кожного елемента.

Усі шість компонентів системи змодельовано з реальних комерційних аналогів методом Hard Surface Modeling [3]. Датчик руху Ajax

CombiProtect [9] складається з двох основних частин, корпусу (куб з Loop Cut під сенсор) та інфрачервоного сенсора (циліндр, злегка виступаючий над поверхнею). IP-камера Hikvision DS-2CD1341G0-I [10] будується з трьох частин: зовнішнього корпусу-циліндра з деформованою нижньою частиною (Proportional Editing, фільтр Sphere), напівсферичної основи (UV Sphere з видаленою нижньою частиною) та об'єктива (циліндр з Loop Cut). Датчик освітленості Zigbee TuYa ZSS-QY-LS-C [11] має характерний ряд отворів на лицьовій частині: вони вирізані булевою різницею масиву циліндрів (Array та Boolean Difference). Датчик температури й вологості Aqara [12] та хаб TuYa Smart [13] мають схожий квадратний корпус із заокругленими вертикальними ребрами (Bevel), відмінність криється у деталях бічної панелі хабу (USB-роз'єм і кнопка через Boolean Difference). Привід вікон Eltral KS 30/40 Easy [14] витягнутий прямокутний корпус з кронштейном, на якому Array і Boolean формує зубчасту рейку з трикутних форм. До всіх корпусів застосовано Bevel на ребрах для імітації пластикового лиття.

Анімаційний сценарій. Ключовим рішенням стало будувати анімацію не як набір ізольованих подій активації, а навколо наскрізного сценарію: персонаж входить у кімнату й проходить по ній, а система послідовно на нього реагує. Такий підхід набагато наочніший за статичні демонстрації спостерігач бачить причинно-наслідковий зв'язок.

Персонажа виконано в стилі Low Poly не більше 2 500 полігонів, плоскі грані без згладжування. Це свідоме рішення: Low Poly тримає увагу на поведінці системи, а не на самому персонажі, і суттєво скорочує час рендерингу сцени. Для анімації ходьби зібрано скелет Armature з ієрархією кісток. Прив'язку меша до скелета виконано через Rigify [4] з активацією Automatic Weights і подальшим ручним коригуванням у Weight Paint особливо в зонах колін і ліктів, де автоматичні ваги дають артефакти деформації.

Маршрут персонажа задається ключ кадрами кореневої кістки Root у режимі Pose Mode. Форма траєкторії і характер руху між ключовими точками що активують прискорення на початку, плавне уповільнення перед зупинкою, відшліфовані у Graph Editor через рукоятки Bezier-вузлів F-Curves. Цикл ходьби складається з чотирьох опорних поз, дзеркальне копіювання через Paste Pose Flipped забезпечує природну симетрію кроків. датчик руху реагує підсвічуванням зони виявлення через Spot Light, активований Driver на основі відстані між об'єктами. IP-камери плавно повертаються слідом через Constraint Damped Track, Influence якого зростає від 0 до 1 при наближенні персонажа ближче за 3,5 м.

Апаратна симуляція. У Tinkercad Circuits зібрано схему на Arduino Uno [5]. датчик руху підключено до цифрового входу D2 його сигнал HIGH при виявленні руху вмикає індикаторний світлодіод на піні D7, що імітує активацію камери. Сервопривод на піні D9 який використовує

бібліотеку Servo.h і керує приводом вікна: відкривається на 90 градусів за умови якщо якість повітря перевищує поріг 500 одиниць АЦП або вологість перевищує 800 одиниць то вал повертається на 90 градусів і вікно відкривається. Оскільки повноцінні датчики вологості й якості повітря відсутні в бібліотеці Tinkercad, їх замінено потенціометрами що є стандартною практикою при симуляції аналогових датчиків.

Датчик TMP36 підключено до аналогового входу A0. Температура вимірюється датчиком TMP36, підключеним до аналогового входу A0. Arduino Uno має десяти бітний АЦП (аналого-цифровий перетворювач) тобто діапазон напруги 0-5V ділиться на $2^{10} = 1024$ рівні (від 0 до 1023) Температура у градусах Цельсія обчислюється за формулою (1.1), яка впливає безпосередньо з характеристики датчика TMP36 при 0 градусів Цельсія його вихідна напруга становить 0.5V.

Відомо, що

$$T = (U - 0,5) \times 100 \quad (1.1)$$

$$\text{де } U = \text{вхідна напруга} \times \left(\frac{5.0}{1023}\right)$$

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ:

- **Геометрична достовірність.** Усі шість моделей відповідають вимогам: відхилення розмірів від реальних аналогів не перевищує 10%. Це перевірялося інструментом Measurement Overlay у Blender в режимі Edit Mode з подальшим зіставленням з технічними характеристиками відповідних пристроїв.

- **Анімаційний сценарій.** На вході спрацьовує перший датчик руху, конус Spot Light підсвічує зону на підлозі. При наблизенні до камери HIKVISION вона плавно повертається слідом: спостерігач бачить не просто рух, а конкретну реакцію системи. Далі активується другий датчик, потім третій. При виході персонажа з усіх зон виявлення система повертається до стану спокою.

- **Апаратна симуляція.** Логіку скетчу перевірено інтерактивно в Tinkercad: обертання потенціометра A2 понад поріг сервопривод відкриває вікно, активація PIR-тригера світлодіод вмикається, зміна потенціометра A0 LCD оновлює температуру. Усі реакції відповідають запрограмованій логіці.

- **Виявлені й усунені дефекти.** При тестуванні знайшли два баги. Перший двері відкривалися навколо неправильної осі через зміщений Origin, виправили через 3D Cursor потім Set Origin to 3D Cursor на вісь петлі. Другий після виведення «OPEN» на LCD залишалися символи «ED» від попереднього «CLOSED» (рядок «OPEN» на два символи коротший), вирішили додаванням двох пробілів після рядка.

Обидві частини системи знято паралельно на відео, що підтвердило логічну відповідність між анімаційними станами об'єктів і сигналами апаратної схеми [9-14].

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що поставлену мету досягнуто. Створено навчальне відео, яке наочно демонструє функціонування системи «розумного дому» в просторовому середовищі та її реакцію на сигнали датчиків. Візуалізацію роботи системи реалізовано за допомогою програмного середовища Blender, тоді як логічну модель імітації процесів із використанням Tinkercad.

Отримані результати підтверджують доцільність поєднання інструментів візуального моделювання та симуляції електронних систем для створення навчальних матеріалів. Такий підхід забезпечує підвищення наочності та кращого розуміння принципів роботи складних технічних систем.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні функціональних можливостей проекту, зокрема в інтеграції візуальної та логічної частин у режимі реального часу. Це може бути реалізовано шляхом використання Python та API Blender бпу API для забезпечення прямої взаємодії фізичного стенда з анімаційною моделлю. Така інтеграція дозволить створити більш складні та інтерактивні системи моделювання, наближені до реальних умов експлуатації.

ДЖЕРЕЛА

1. Smart Home Technologies Market Size, Share, Analysis, Growth, Trends, Forecast 2024–2031 // Coherent Market Insights. URL: <https://www.coherentmarketinsights.com/industry-reports/smart-home-technologies-market> (дата звернення: 04.05.2026).
2. Smart Home Market Size, Share & Trends Analysis Report 2023–2030 // Grand View Research. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-homes-industry> (дата звернення: 04.05.2026).
3. Amine S. *Hard-Surface Modeling in Blender*. Birmingham : Packt Publishing, 2023. 326 р. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=ieF9EAAAQBAJ> (дата звернення: 04.05.2026).
4. Blender Foundation. Rigify. Introduction. Main Features // Blender 3.1 Manual. URL: <https://docs.blender.org/manual/uk/3.1/addons/rigging/rigify/introduction.html> (дата звернення: 04.05.2026).
5. Arduino Uno : технічна документація. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno> (дата звернення: 04.05.2026).

6. Analog Devices, Inc. *Low Voltage Temperature Sensors TMP35/TMP36/TMP37: datasheet*. Rev. F. Norwood, MA : Analog Devices, 2010. 20 p. URL: https://arduino.ua/docs/TMP35_36_37.pdf (дата звернення: 04.05.2026).

7. *Mixed Reality and Three-Dimensional Computer Graphics* / ed. by Branislav R. Jovanić. London : IntechOpen, 2020. 190 p. URL: https://www.google.com.ua/books/edition/Mixed_Reality_and_Three_Dimensional_Comp/Rm0tEAAAQBAJ (дата звернення: 04.05.2026).

8. Farmhouse Plan #818067JSS // Architectural Designs. URL: <https://www.architecturaldesigns.com/house-plans/farmhouse-plan-with-split-bed-layout-and-laundry-access-from-primary-suite-2646-sq-ft-818067jss>.

9. CombiProtect : керівництво користувача // Ajax Systems. URL: <https://support.ajax.systems/uk/manuals/combiprotect/> (дата звернення: 04.05.2026).

10. Hikvision DS-2CD1341G0-I (2.8 мм) : IP-відеокамера купольна 4 МП. URL: <https://pipl.ua/ds-2cd1341g0-i-28mm> (дата звернення: 04.05.2026).

11. Розумний датчик освітлення Zigbee TuYa (ZSS-QY-LS-C) // Futurio (дата звернення: 04.05.2026). URL: <https://futurio.com.ua/rozumniy-datchyk-osvitlennia-zigbee-tuya-zss-qy-ls-c/>.

12. Датчик температури Aqara. URL: https://rozetka.com.ua/ua/aqara_2001002297076/p327322459/ (дата звернення: 04.05.2026).

13. Пристрій для домашньої системи автоматизації Zigbee Bridge-SA // Eclipse. URL: <https://eclipse.in.ua/pidbir/rozumnij-budinok-smartfon/pristrij-dlya-domashnoyi-sistemi-avtomatizaciyi-ewelink-wifi-1> (дата звернення: 04.05.2026).

14. Ланцюговий електропривод для вікон ELTRAL KS 30/40 EASY // Rozetka. URL: <https://build.rozetka.com.ua/ua/258075051/p258075051/> (дата звернення: 04.05.2026).

15. Abramov, V., Astafieva, M., Boiko, M., Bodnenko, D., Bushma, A., Vember, V., Hlushak, O., Zhyltsov, O., Ilich, L., Kobets, N., Kovaliuk, T., Kuchakovska, H., Lytvyn, O., Lytvyn, P., Mashkina, I., Morze, N., Nosenko, T., Proshkin, V., Radchenko, S., & Yaskevych, V. (2021). Theoretical and practical aspects of the use of mathematical methods and information technology in education and science. <https://doi.org/10.28925/9720213284km>