

Г. А. Кучук^{1,2}, Д. О. Лисиця¹, Д. М. Ірха², Д. В. Кириленко²

¹ Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

² Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ ОБ’ЄКТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Анотація. Об’єктом дослідження є процес розстановки об’єктів доповненої реальності у фізичному просторі, який обмежений у розмірах. **Предметом дослідження** є алгоритми оптимального розташування об’єктів доповненої реальності у фізичному просторі кінцевих розмірів. **Мета статті** полягає у розробці методу оптимального розташування об’єктів доповненої реальності. Отримано наступні **результати**. Визначений підхід до формування оптимальної перцептивної відстані. Розроблена математична модель, що дозволяє визначити кількісні показники двох основних критеріїв оптимальності. Запропонований підхід до визначення відстані між об’єктами AR та границями реальної площини. На цьому підході базується запропонований алгоритм оптимального розташування об’єктів доповненої реальності. **Висновки.** Запропонований метод оптимального розташування об’єктів AR, що складається з математичної моделі, визначення відстаней до границь площини реального об’єкту та відповідного алгоритму. Метод дозволяє варіювати змінами віртуального об’єкту у реальному часі.

Ключові слова: комп’ютерна система, доповнена реальність, віртуальний об’єкт, площина реального об’єкту.

Вступ

У світі спостерігається значне зростання обсягу інформації, що генерується та споживається щодня [1]. В результаті зростає потреба у більш ефективних способах обробки та візуалізації цієї інформації. Доповнена реальність (AR) – перспективна технологія, яка може допомогти вирішити цю проблему, забезпечуючи більш інтуїтивний та зручний спосіб візуалізації даних [2, 3]. Однак процес розміщення віртуальних об’єктів в оточенні користувача за допомогою AR-програм може бути пов’язаний з деякими труднощами. Одна з проблем, з якою стикаються користувачі, пов’язана з розміщенням віртуальних об’єктів у своєму оточенні [4]. Важливим моментом є необхідність забезпечити користувачам безпечний та природно-інтуїтивний досвід взаємодії з віртуальними об’єктами [5]. Це досягається за рахунок достатнього простору навколо віртуальних об’єктів, щоб користувачі могли наблизитися до них та взаємодіяти з ними з усіх боків без ризику зіткнення з реальними об’єктами чи іншими користувачами [6, 7].

Однак на сьогоднішній час існує обмежене кількість досліджень, вивчаючих і оцінюють різні методи і рішення для такого розміщення для внутрішньої та зовнішньої середовища [8–11].

Наприклад, в роботі [8] обговорюються останні дослідження методів розміщення 3D-моделей в AR. Стаття починається з огляду методів розміщення AR і рішень, запропонованих в літературі. Потім описується підхід до оцінки, який включає як якісну, так і кількісну оцінку кількох методів розміщення AR для внутрішньої і зовнішньої середовища. Автори даної статті пропонують кількісну і якісну оцінку кількох методів розміщення AR на 3D моделі. Вони також наводять обговорення вимог до точності і стабільності розміщення в деяких випадках використання в області АЕСО, аналізуючи придатність використання кожного вивченого методу розміщення. Для порівняння точності кожного методу розміщення були визначено локальні відхилення координат між реальними

точками об’єкта і їх кореспондентами. У дослідженні [9] вивчаються проблеми віддаленого співробітництва з використанням дисплеїв доповненою реальністю. Автори зазначають, що однієї з основних проблем при віддаленому взаємодії з використанням AR-дисплеїв є позиціонування віртуальних об’єктів. Автори також визначили проблемні ситуації, характерні для конкретної завдання, і запропонували рекомендації по розробці розподілених AR для полегшення позиціонування віртуальних об’єктів.

Необхідність оптимального розташування в AR-застосунках обумовлена декількома факторами, включаючи зручність і безпека користувача, реалістичність і занурення, інтерактивність, продуктивність і ефективність, а також конкретні цілі програми. Досягнення оптимального розташування включає в себе подолання кількох проблем, таких як підтримка реалізму і узгодженості, забезпечення комфортного користувацького досвіду, полегшення інтерактивності і оптимізація продуктивності. Отже, науково-технічне завдання оптимального розташування віртуальних об’єктів у системах комп’ютерного зору є актуальним. **Об’єктом дослідження** є процес розстановки об’єктів доповненої реальності у фізичному просторі, який обмежений у розмірах. **Предметом дослідження** є алгоритми оптимального розташування об’єктів доповненої реальності у фізичному просторі кінцевих розмірів. **Мета статті** полягає у розробці методу оптимального розташування об’єктів доповненої реальності.

Оптимальна перцептивна відстань

У доповненій реальності центральна увага приділяється не тільки розташуванню об’єктів щодо користувача, але й їх взаємному становищу в просторі. Це забезпечує гармонійне поєднання віртуальних елементів з реальним світом, виключаючи візуальне перекриття і підтримуючи цілісність сприйняття. Під зоною просторової нейтральності розуміється буферне простір, мінімізуюче ризик накладення віртуальних і фізичних об’єктів. Ця концепція сприяє утриманню

віртуальних об'єктів в межах безпечного і видимого простору, уникаючи створення ситуацій, які можуть порушити плавність і реалізм AR-досвіду. Цей принцип спрямований на визначення ідеального проміжку між об'єктами, щоб максимізувати зручність сприйняття і інтерактивність. Ця відстань варіюється в залежності від контексту використання та характеристик віртуальних об'єктів, забезпечуючи кожному елементу достатньо місця для взаємодії без ризику конфлікту або дискомфорту. Просторова узгодженість сприйняття підкреслює важливість відповідності між віртуальними і реальними об'єктами для створення однамнітного сприйняття простору. Дана узгодженість може бути кількісно визначена через оптимальну перцептивну відстань, яка передбачає оптимальну відстань чи розташування віртуальних об'єктів щодо користувача і інших об'єктів в фізичному просторі, що забезпечує найкраще сприйняття та взаємодію без виклику дискомфорту, порушення ілюзії присутності або візуального навантаження. Розробка ефективного AR-досвіду вимагає інтеграції цих принципів: врахування просторового розмежування і оптимального розташування об'єктів. Такий підхід дозволяє створювати інтуїтивно зрозумілі, безпечні і візуально привабливі віртуальні середовища, сприяючи природному взаємодії користувача з доповненою реальністю.

Для досягнення найкращого користувацького досвіду у доповненій реальності критично важливо забезпечити оптимальну відстань між віртуальними об'єктами і користувачем. Це відстань повинна бути визначена таким чином, щоб максимізувати зручність сприйняття і мінімізувати потенційний дискомфорт. У доповнення до цього необхідно забезпечити просторову узгодженість сприйняття, гарантуючи, що віртуальні об'єкти гармонійно інтегруються в реальне оточення, зміцнюючи тим самим загальне враження від присутності в доповненій реальності. Використання цих принципів в сукупності дозволяє створити ефективні і естетично приємні AR-сценарії, покращену взаємодію користувача з віртуальними елементами. Для побудови математичної моделі пропонується прийняти нижчезазначені необхідні фактори для віртуально розташованих об'єктів:

- тривимірні лінійні розміри (довжина, ширина, висота);

- зона просторової нейтральності навколо об'єкту, сприятлива позитивному досвіду взаємодії користувача з об'єктом.

У процесі розробки застосунку доповненої реальності розробник часто візуалізує сценарій використання, в якому віртуальний об'єкт позиціонується на горизонтальною поверхні, такий як стіл або підлогу. Щоб забезпечити безперервне взаємодія з користувачем, критично важливо, щоб доступ до цього об'єкту був забезпечений з передньої сторони. Ідеально, якби користувачі мали можливість оглядати об'єкт з різних точок зору, включаючи вид зверху. Для структурованого опису характеристик об'єкта та гарантії його комплексного сприйняття була розроблена програмна модель, детально відбиваючи ці атрибути.

Для забезпечення користувачів ефективними підказками і рекомендаціями по організації віртуальної

сцени в інтерфейсі, критично важливо провести аналіз даних, що надходять від датчиків мобільного пристрою, про віртуальні площини. Ці дані слід зіставити з габаритами об'єктів доповненої реальності і асоційованими з ними буферними зонами за низкою критеріїв.

Перший критерій, що позначається як K_1 , визначає попередні умови для розміщення віртуального об'єкта. Він є необхідною умовою для виконання наступного завдання оптимізації розміщення. Для того щоб установка об'єкта була можлива, лінійні розміри доступного фізичного простору повинні перевищувати або дорівнювати розмірам об'єкта, що розміщується. Ця попередня умова може бути сформульована через такі співвідношення для кожної з осей:

$$K_{1X} = \frac{X_0}{X_P} \leq 1; \quad K_{1Y} = \frac{Y_0}{Y_P} \leq 1; \quad K_{1Z} = \frac{Z_0}{Z_P} \leq 1, \quad (1)$$

де X_0 та Z_0 представляють лінійні розміри (ширину та глибину відповідно) віртуального об'єкта; X_P та Z_P є лінійними розмірами (шириною та глибиною, відповідно) доступної площини у просторі; Y_0 позначає лінійний розмір висоти об'єкта, а Y_P представляє доступну висоту у фізичному просторі.

Другий критерій, що позначається як K_2 є критерієм оптимальності, який оцінює, наскільки обсяг вільного простору навколо віртуального об'єкта відповідає встановленому розробником параметру просторової нейтральності. Для наочності розглянемо формування критерію K_2 на прикладі осі X (з аналогічним застосуванням до інших осей). Відстань до об'єкта, віднормована на зону просторової нейтральності, називатимемо перцептивною відстанню. Тоді перцептивна відстань K у правій частині заданого макету об'єкта може бути визначена таким чином:

$$K_+(X_+, D_+) = \begin{cases} X_+/D_+, & \text{якщо } X_+ < D_+; \\ 1, & \text{якщо } X_+ \geq D_+, \end{cases} \quad (2)$$

де X_+ є фактичною відстанню по осі x від краю об'єкта до правого краю площини сканування, а D_+ позначає задану буферну відстань для досліджуваного об'єкта. Перцептивна відстань з лівого боку може бути визначена аналогічним чином:

$$K_-(X_-, D_-) = \begin{cases} X_-/D_-, & \text{якщо } X_- < D_-; \\ 1, & \text{якщо } X_- \geq D_-, \end{cases} \quad (3)$$

Ідеальна перцептивна відстань по осі X може бути досягнута, якщо виконується така умова;

$$K_-(X_-, D_-) = K_+(X_+, D_+) = 1, \quad (4)$$

хоча це не завжди можливо.

Якщо виконано умову

$$X_P - D_+ - D_- < X_0 < X_P, \quad (5)$$

то розмір об'єкта менше розміру області, в яку цей об'єкт вбудовується, але разом з обома зонами комфорту він туди вже не поміщається.

Для досягнення збалансованої взаємодії та виключення ситуацій, коли збільшення відстані, з одного боку, призводить до зменшення його з протилежної, введемо таку цільову функцію:

$$K_2 = (K_- - K_+)^2. \quad (6)$$

Оптимальним вважається таке розміщення, яке мінімізує цю функцію. Очевидно, що мінімум K_2 досягається при виконанні такої умови:

$$K_- = K_+ \quad (7)$$

Це співвідношення є критерієм оптимальності. Перцептивні відстані K_- і K_+ , що задовольняють рівнянню 7, є оптимальними перцептивними відстанями (ОПВ).

Нехай X_P – лінійний розмір доступного вільного простору, X_O – лінійний розмір об'єкта вздовж обраної осі, $L - l$ – довжина вільного простору. Тоді із критерію оптимальності (7) можна розрахувати оптимальне розміщення об'єкта по даній осі:

$$X_- = (L - l) \cdot (D_+ / (D_+ + D_-)); \quad (3.8)$$

$$X_+ = L - X_- = (L - l) \cdot (D_- / (D_+ + D_-)). \quad (3.9)$$

Аналогічний розрахунок виконується для кожного вектора (X , Y , Z) у додатному (+) та від'ємному (-) напрямках.

Визначення відстані між об'єктами AR та границями реальної площини

Модель оптимального позиціонування об'єктів доповненої реальності включає різноманітні параметри, які виступають в якості показників адекватності поточного місця розташування для віртуального контенту з урахуванням просторової узгодженості. Місце розташування вважається ідеальним, коли границі об'єкта доповненої реальності, включаючи його буферну зону, повністю укладаються в границі просторової області. Модель, що описується, застосовує математичні методи для оцінки розмірів просторової зони, лінійних габаритів віртуального об'єкта та обсягу вільного простору навколо нього. AR-застосунок, інтегрований з фізичним двигуном, задіює ці розрахунки для знаходження балансу між вимогами просторової гармонії та обмеженнями реального світу. Основне завдання – розробити AR-взаємодію, що максимізує ефективність розміщення віртуальних елементів доповненої реальності у користувача. Це припущення веде до певної обчислювальної задачі: визначення простору між віртуальним об'єктом з огляду на його просторово-нейтральні зони та края сканованої віртуальної площини, на якій здійснюється розміщення. Для цього потрібно активувати основні функції фізичних движків, що використовуються у розробці застосунків доповненої реальності.

Віртуальні об'єкти та процес сканування площини працюють у межах тривимірного простору. Ці об'єкти пропонують потенціал для отримання та аналізу геометричних даних, безцінних ресурсу в області AR. Такі геометричні дані дозволяють створити складну сітку, взаємозалежну структурну мережу, яка визначає форму об'єкта.

Архітектура сітки в основному складається з двох фундаментальних елементів: вершин, або наріжних точок у тривимірному просторі, та трикутників

- геометричних одиниць, породжених взаємозв'язками вершин. Кожна вершина пов'язана з окремим індексом, числовим ідентифікатором, що ефективно відображає геометрію об'єкта. Трикутники, з іншого боку, виникають із зв'язків між цими індексованими вершинами. Вони в сукупності створюють видимую поверхню 3D-об'єкта, сприяючи сприйняттю масивності та форми віртуального об'єкта.

Особливу увагу слід приділяти складній геометрії віртуальних площин, створених бібліотекою AR без маркерів. У якості інструментів для аналізу обрані бібліотека ARKit і її оболонка ARFoundation. ARKit славиться своїми потужними можливостями по створенню AR-середовища, а ARFoundation виступає в якості універсального API, спрощуючи розробку AR, надаючи загальну основу для множини AR-платформ. При використанні з ігровим двигуном Unity, відомим своїм універсальним і повним набором інструментів для створення інтерактивного 3D контенту, ці ресурси утворюють тріаду для розробки AR-застосунків.

Опишемо підхід до визначення відстані. Один з можливих підходів полягає в визначенні точок перетину перпендикулярів, проведених з центру обмежувального паралелепіпеда по координатних осях, з гранями площини сканування. Такий має низку переваг. Головною з них є його простота, що зводить завдання до елементарного геометричного завдання, яке робить обчислення менше складними. Крім того, простота алгоритму дозволяє швидко його реалізувати, що дуже цінується в бізнес-застосунках, де швидкість і ефективність часто схилиють чашу ваг на користь прийняття рішення.

Тим не менше основний недолік такого підходу полягає в недостатній точності розрахунків при застосуванні до приміщень неправильної форми і сканованих ніш. Для поверхонь складної форми розрахунки відстані, як правило, не дозволяють точно виміряти просторове положення об'єкта відносно заданої поверхні. Тим не менше важливо відзначити, що частіше всього користувачі стикаються з прямокутними областями, для яких геометричний підхід надає точні значення відстані. Тому в рамках даного підходу до визначення відстані можна не звертати уваги на нестандартні поверхні. Пріоритет швидкості і простоти реалізації виправдовує цей компроміс, визнаючи, що в практичних застосунках ефективність часто перевершує ідеальну точність.

Алгоритм оптимального розташування об'єктів доповненої реальності

Алгоритм, використовуваний для систематичного розташування об'єкта доповненої реальності, в першу чергу заснований на безперервній оцінці відсканованого простору і наступному порівнянні його параметрів із заданими атрибутами віртуального об'єкта.

Послідовність дій при застосуванні даного алгоритму наведена на рис. 1.

Отримані значення коефіцієнтів служать цінними індикаторами, які можуть бути використані для візуалізації підказок у користувацькому інтерфейсі та для регулювання розміщення сцени AR.

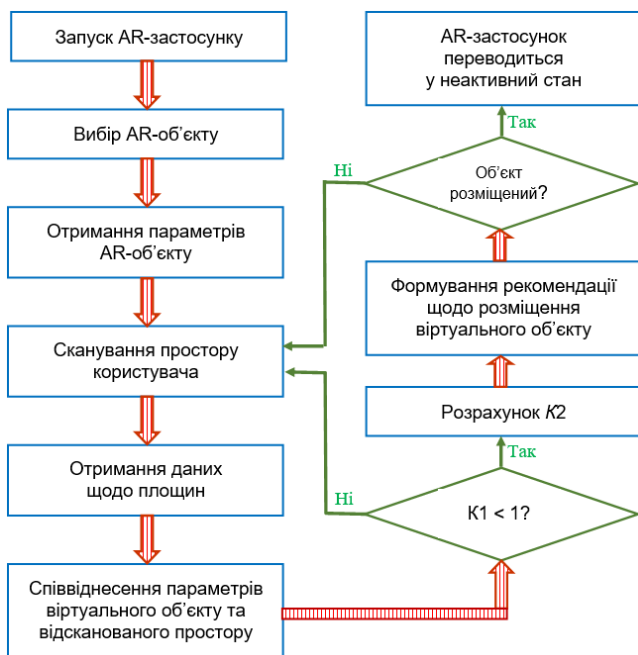


Рис. 1. Послідовність дій при використанні алгоритму розташування об'єкта доповненої реальності

Завдяки такому систематичному підходу користувачі отримують візуальне подання о просторової придатності для розміщення об'єкта, що покращує їх розуміння планування віртуальною сцени. Використовуючи оцінку алгоритмом відсканованого простору і порівняння зі властивостями віртуального об'єкта, можна досягти більше інтуїтивного і оптимізованого сприйняття доповненою реальності.

Кожен віртуальний об'єкт характеризується своїми габаритами і вимагає виділення навколо себе просторово-нейтральної зони. Ця зона виконує дві ключові функції: по-перше, вона гарантує наявність достатнього простору для того, щоб користувачі могли вільно підходити до віртуальних об'єктів і взаємодіяти з ними. По-друге, вона перешкоджає перекриттю віртуальних об'єктів між собою, підтримуючи таким чином безперервність і реалістичність сприйняття, що є критично важливим для ефективного застосування застосунків доповненої реальності.

Алгоритм, описаний далі, є узагальненням на двовимірний випадок одновимірного алгоритму розташування об'єктів. Попередній алгоритм чудово справляється з вибудовуванням об'єктів по заданій лінії в просторі, беручи до уваги як розміри, і необхідні вільну зону навколо. Однак йому не вистачає можливості заповнювати об'єктами весь доступний двовимірний простір, адже об'єкти можуть розташовуватися не тільки ліворуч і праворуч, але й далі або ближче до користувача. Новий алгоритм усуває цей недолік.

На початковому етапі роботи алгоритму в лівому нижньому кутку кожного об'єкта визначається точка прив'язки. Ця точка має першорядне значення, так як вона визначає координати розташування об'єкту. Після цього всі об'єкти упорядковуються у спадаючу послідовність в залежності від їх сумарної довжини вздовж осі Z в сукупності з розмірами вільних зон цього ж вектору, тобто в даному випадку фронтальна та задня зони просторової узгодженості.

Потім формується партія з кількох об'єктів. Формування цієї партії регулюється певним правилом. Як тільки загальна ширина вздовж осі X цих об'єктів - ця ширина включає в себе як їх лінійні розміри, так і розміри буферних зон вздовж горизонтальною осі - починає перевищувати задану ширину простору, призначеного для розміщення об'єктів, додавання нових об'єктів в партію припиняється.

У цей момент запускається алгоритм лінійного розміщення, який застосовується до всіх об'єктів в партії. Результатом цієї процедури є розташування об'єктів на першій лінії вздовж осі X. При такому розміщенні горизонтальний проміжок між об'єктами визначається параметром перцептивної відстані K. Цей параметр підтримується однаковим і постійним для всіх об'єктів, упорядкованих в лінію. Потім процес розміщення вздовж осі Z ініціюється від верхнього краю площини. За допомогою базової математичної операції – множення K на величину передньої дельта-відстані (позначається як Z^+) – встановлюється величина відступу кожного об'єкта від верхньої границі площини. Потім з решти об'єктів збирається інша партія, і для цих об'єктів повторюється процес розрахунку горизонтального проміжного відстані.

Після цього розраховується зміщення по осі Z щодо положення об'єктів в попередній лінії. Цей процес розрахунку складається з кількох етапів. По-перше, вибирається максимальний коефіцієнт K між поточною і попередньою рядком. По-друге, для кожного об'єкта в поточному ряду визначаються потенційні верхні сусіди з попереднього ряду, то є об'єкти, мають загальні області вздовж координати X. Зрештою, обчислюється підсумкове зміщення по вертикалі. При цьому приймається до уваги не тільки передня зона буферного відстані поточного об'єкта, але і нижня зона оптимального відстані об'єкта, розташованого вище, якщо такий є. Алгоритм продовжує цикл до тих пір, поки не буде досягнуто позиціонування всіх об'єктів. Важливо додати, що алгоритм обробляє об'єкти зліва праворуч для всіх ліній з непарними номерами і справа наліво для всіх ліній з парними номерами. Даний підхід дозволяє більше рівномірно розподіляти об'єкти по їх габаритів, комбінуючи більше великі з більше дрібними. Описувана циклічна операція забезпечує щодо просте у реалізації і високопродуктивне розташування віртуальних об'єктів, при забезпечуючи комфорт користувача та ефективне використання простору.

Висновки

Визначений підхід до формування оптимальної перцептивної відстані. Розроблена математична модель, що дозволяє визначити кількісні показники двох основних критеріїв оптимальності. Запропонований підхід до визначення відстані між об'єктами AR та границями реальної площини. На цьому підході базується запропонований алгоритм оптимального розташування об'єктів доповненої реальності. Запропонований метод оптимального розташування об'єктів AR, що складається з математичної моделі, визначення відстаней до границь площини реального об'єкту та відповідного алгоритму. Метод дозволяє варіювати змінами віртуального об'єкту у реальному часі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kuchuk, H. and Malokhvii, E. (2024), "Integration of iot with Cloud, Fog and Edge computing: a review", *Advanced Information Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 65–78, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.08>
2. Criollo-C Santiago, Guerrero-Arias Andrea, Guana-Moya ~ Javier, Samala Agariadne, Lujan-Mora ' Sergio. Towards sustainable education with the use of mobile augmented reality in early childhood and primary education: a systematic mapping. *Sustainability* 2024;16(3):1192. <https://doi.org/10.3390/su16031192>
3. Kuchuk, N., Kashkevich, S., Radchenko, V., Andrusenko, Y. and Kuchuk, H. (2024), "Applying edge computing in the execution IoT operative transactions", *Advanced Information Systems*, vol. 8, no. 4, pp. 49–59, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.4.07>
4. Atwood-Blaine D, Huffman D. Mobile gaming and student interactions in a science center: the future of gaming in science education'. *Int J Sci Math Educ* 2017;15:45–65. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9801-y>
5. Alvarez-Marin Alejandro, Velazquez-Iturbide JAngel. Augmented reality and engineering education: a systematic review. *IEEE Trans Learn Technol* 2021;14 (6):817–31. <https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3144356>
6. Aivelo T, Uitto A. Digital gaming for evolutionary biology learning: the case study of parasite race, an augmented reality location-based game. *LUMAT* 2016;4(1): 1–26. <https://doi.org/10.31129/LUMAT.4.1.3>
7. Ruban, I., Kuchuk, H., Kovalenko, A., Lukova-Chuiko, N. and Martovytsky, V. (2021), "Method for Determining the Structural Reliability of a Network Based on a Hyperconverged Architecture", *Studies in Computational Intelligence*, vol. 976, pp. 147–163, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-74556-1_9
8. El Barhoumi N., Hajji R., Bouali Z., Ben Brahim Y., Kharroubi A. (2022), "Assessment of 3D Models Placement Methods in Augmented Reality", *Applied Sciences*, 12 (20), pp. 106–120, doi: <https://doi.org/10.3390/app122010620>
9. Müller J., Butscher S., Feyer S. P. and Reiterer H. (2017), "Studying collaborative object positioning in distributed augmented realities", *The 16th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, Stuttgart Germany, ACM, pp. 123–132, doi: <https://doi.org/10.1145/3152832.3152856>
10. Kyza EA, Georgiou Y. Scaffolding augmented reality inquiry learning: the design and investigation of the Trace Readers location-based, AR platform. *Interact Learn Env* 2019;27(2):211–25. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1458039>
11. Laato, Samuli, Heinrich Sobke, " and Manuel F. Baer. 2024. 'Augmented Future: tracing the trajectory of location-based Augmented reality gaming for the next ten years'. 23(2):189–203. doi: <https://doi.org/10.1515/icom-2024-0018>

Received (Надійшла) 07.06.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.08.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Кучук Георгій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Heorhii Kuchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Computer Engineering and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: kuchuk56@ukr.net; ORCID Author ID: <http://orcid.org/0000-0002-2862-438X>;

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57057781300>.

Лисиця Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Dmytro Lysytsia – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Computer Engineering and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: Dmytro.Lysytsia@khpi.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-1778-4676>;

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57220049627>.

Ірха Дмитро Максимович – студент кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Dmytro Irkha – student, Department of Electronic Computers, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine;

e-mail Dmytro_Irkha@nure.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0001-5997-1704>.

Кириленко Дмитро Володимирович – студент кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Dmytro Kyrylenko – student, Department of Electronic Computers, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine;

e-mail Dmytro_Kyrylenko@nure.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0001-5902-9794>.

Method of optimal location of augmented reality objects

Heorhii Kuchuk, Dmytro Lysytsia, Dmytro Irkha, Dmytro Kyrylenko

Abstract. The object of the study is the process of arranging augmented reality objects in physical space, which is limited in size. The subject of the study is algorithms for the optimal arrangement of augmented reality objects in physical space of finite size. The purpose of the article is to develop a method for the optimal arrangement of augmented reality objects. The following results were obtained. An approach to the formation of the optimal perceptual distance is determined. A mathematical model is developed that allows you to determine the quantitative indicators of two main optimality criteria. An approach to determining the distance between AR objects and the boundaries of the real plane is proposed. The proposed algorithm for the optimal arrangement of augmented reality objects is based on this approach. **Conclusions.** A method for the optimal arrangement of AR objects is proposed, consisting of a mathematical model, determination of distances to the boundaries of the plane of the real object and the corresponding algorithm. The method allows you to vary the changes of the virtual object in real time.

Keywords: computer system, augmented reality, virtual object, plane of a real object.