

УДК 004.925.8  
DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2020.4.10

## **ВЗАЄМОДІЯ МОДЕЛЕЙ З РЕАЛЬНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ЯК СПОСІБ УДОСКОНАЛЕННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ**

**О.С. БЕЗПАЛЬКО**

**Анотація.** На відміну від чисто віртуального світу користувачеві значно складніше повірити у реальність об'єктів доповненої реальності. Через відсутність правильного освітлення, або тіней може видатися, що предмет плаває у повітрі, від'єднаний від реальних предметів навколо нього. Однією очевидною проблемою, яка існує в доповненій реальності, є те, що віртуальний об'єкт видається віддаленим від реального об'єкта, проте він все ще з'являється перед ним. Запропоновано підхід, за якого стане можливою взаємодія реальних та віртуальних об'єктів. Як реальні, так і віртуальні об'єкти можуть бути переміщені й обертатись у сцені, зберігаючи перекривання. Віртуальний об'єкт також може міститися перед реальним об'єктом або позаду нього відносно камери, яка вирішить, чи має відбуватися перекриття, чи ні. Запропоновано алгоритм, що складається з п'яти етапів та архітектури системи. Оцінка проводиться на основі п'яти визначених критеріїв. Подано результати та способи вдосконалення для майбутніх досліджень.

**Ключові слова:** взаємодія моделей, перекривання, розпізнавання образів.

### **ВСТУП**

Доповнена реальність (AR), або розширена реальність — захоплива сфера в інформатиці, що лише останнім часом набула популярності. Розширена реальність має на меті поєднувати реальний світ з віртуальним світом таким чином, щоб він видавався природним, використовуючи певний тип екрана для накладання віртуальних об'єктів на реальний світ, який захоплюється камерою в режимі реального часу. Мета полягає в тому, щоб реальні та віртуальні об'єкти в середовищі користувача безперешкодно зливалися. Щоб це було переконливо, реальні та віртуальні об'єкти повинні реально взаємодіяти. Поширений приклад — поставити віртуальну чашку на справжній стіл, який буде виглядати і вести себе як справжня чашка. Натепер багато компаній інвестують, щоб спробувати стати передовою компанією, яка використовує таку технологію. Існує безліч сфер, де використовується розширена реальність (ігри, освіта, обмін інформацією тощо). Щодня вивчається та розробляється дедалі більше випадків використання.

Дослідження проблеми в доповненій реальності обрано завдяки зростанню популярності галузі та набуттю певного досвіду, який, імовірно, стане корисним у майбутньому.

## **ПРОБЛЕМАТИКА**

**Мета роботи** — запропонувати підхід, за якого стане можливою взаємодія реальних та віртуальних об'єктів. Як реальні, так і віртуальні об'єкти можуть бути переміщені й обертаються у сцені, зберігаючи перекривання. Віртуальний об'єкт також може перебувати як перед реальним об'єктом, так і позаду нього відносно камери, яка вирішить, чи має відбуватися перекривання, чи ні. Необхідно з'ясувати чи працює перекривання в ідеалізованому середовищі (наприклад, уніфікована таблиця з малою кількістю предметів), у менш контрольованому середовищі (наприклад, на вулиці), або якщо реальні чи віртуальні об'єкти перекладаються та обертаються, а також які фактори підвищують або зменшують продуктивність системи відносно перекривання.

## **ПОВ'ЯЗАНІ РОБОТИ**

Існує багато підходів до вирішення проблеми оклюзії в межах доповненої реальності. Їх можна поділити на два типи: на основі глибини та на основі моделей.

У модельному підході іноді використовуються попередні знання про реальні об'єкти, які потім переводяться на геометричні моделі. У дослідженні, проведеному Д. Бріном [1], модель 3D-сцени вже відома. Але мати тривимірну модель, доступну в будь-який час у додатку AR, не можливо, вона може працювати лише для конкретних випадків використання.

У праці [2] у пропонованому вирішенні не використовується інформація про глибину чи реконструкцію моделі. Замість цього дозволяється користувачу спочатку визначити об'єкт для перекривання у першому кадрі, який відстежується у наступних кадрах. Користувач визначає деякі пікселі, що відповідають фоновому режиму, так, щоб алгоритм міг поділити всі пікселі на об'єктні або фонові. Це потребує тісної взаємодії з користувачем, щоб об'єкт завжди перекривав віртуальні об'єкти не залежно від того, чи реальне розміщення об'єкта за ним чи перед ним.

Щоб усунути вимогу мати попередньо виготовлену 3D-модель сцени, К. Онг [3] запропонував метод першої сегментації силуетів реального об'єкта вручну у вибраних «ключових кадрах». Їх потім використовують для автоматичної побудови приблизних 3D-комп'ютерних моделей, які маскують реальні об'єкти. Ці маски стають невидимими, хоч вони все ще можуть закрити віртуальний об'єкт. Установлення цих масок потребує ручного налаштування користувачем.

У підході, заснованому на глибині, запропонованому Шмідтом [4], використовується система бінокулярної стереокамери для обчислення щільних карт нерівномірності. Результати дослідження за допомогою цього методу є задовільними, але більшість пристроїв доповненої реальності сьогодні накладаються на одну камеру, а не на декілька, що робить цей метод для них непридатним. У майбутньому можливе звичайне встановлення систем камер для звичайних користувачів.

Спроба побудувати віртуальний 3D-об'єкт, який відповідав би реальному об'єкту без заздалегідь відомих даних про об'єкт, виявилась непростю, що спонукало дослідити контурно-орієнтований підхід. Таким чином, не потрібно знати або виявляти 3D-форму об'єкта. Вирішення, яке викорис-

товує контурний підхід, запропонував М. Бергер [5]. У цій праці автор аналізує і порівнює карту краю сцени та карти віртуального об'єкта з різних точок зору для визначення їх відносних позицій. Складність полягає в тому, що віртуальні та реальні об'єкти мають бути статичними у сцені, а це потребує перерахунку, якщо об'єкти рухаються.

Підхід, що розглядається у цій роботі, не потребує взаємодії з користувачем, крім переміщення камери для пошуку площини. Об'єкти можуть вільно переміщатися по площині, і алгоритм автоматично в режимі реального часу визначатиме розташування віртуального об'єкта — чи він за реальним об'єктом, чи перед ним, і відповідно виконуватиме перекривання.

## ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПІДХІД ТА МЕТОДИ

### Проблеми перекривання

На відміну від чисто віртуального світу, користувачу значно складніше повірити у реальність об'єктів доповненої реальності. Це зумовлено тим, що віртуальні об'єкти не виглядають правильно, коли їх застосовують до стандартних об'єктів реального світу. Ось чому деякі особливі ефекти у фільмі можуть видатися непоказними, коли в суто віртуальній сцені вони добре сприймаються. Через відсутність правильного освітлення, або тіней може видатись, що предмет плаває у повітрі, від'єднаний від реальних предметів навколо нього. Однією очевидною проблемою, яка існує в доповненій реальності, є те, що віртуальний об'єкт виглядає далі від реального об'єкта, проте він все ще виникає перед реальним об'єктом, як це видно на рис. 1. Цю проблему можна було б вирішити за ідеального перекривання. Досягнути ідеального перекривання надзвичайно складно, утім воно і не має бути ідеальним, щоб бути корисним у сучасних програмах.



Рис. 1. Приклад некоректного перекривання

Основна мета в разі перекривання — збереження правильного відображення в межах сцени додаткової реальності. Будь-які віртуальні об'єкти, що містяться за реальними об'єктами, мають ховатися частково або повністю за цим реальним об'єктом. Це підсилює глибинне сприйняття об'єкта всередині сцени і усуває будь-які сумніви щодо того, де віртуальний об'єкт насправді перебуває у сцені.

### Метод

Підхід, який пропонується в роботі, полягає у вибіркового запобіганні візуалізації частин віртуальної сцени на екрані на основі знань про реальну сцену, отриману за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору. Це робиться за п'ять кроків:

- 1) знаходження принаймні однієї горизонтальної площини у сцені;
- 2) пошук об'єктів реального світу, розташованих на виявленій горизонтальній площині;

- 3) визначення відносної відстані між реальним об'єктом та камерою;
- 4) реконструкція віртуального 2D-силуету реального об'єкта;
- 5) надання цьому силуету прозорої маски, яка перекриває будь-які віртуальні об'єкти за ним.

Найбільш важливою частиною є пошук різних предметів реального світу та перетворення їх у правильний віртуальний силует. Трудність різко зростає зі збільшенням кількості різноманітних об'єктів у сцені. Крім того, фон може складатися з різних типів будівель, кожна з яких має свої унікальні розміри та форми. Правильне визначення і відокремлення з динамічним та автоматичним створенням реалістичних масок оклюзії потребують великої обчислювальної потужності або дуже ефективного алгоритму. Додатковими обмежувальними факторами є поганий діапазон поточних пристроїв розширеної реальності і дещо низька роздільна здатність.

**Пошук горизонтальної площини та відстань до об'єкта.** ARKit має можливість виявляти горизонтальні поверхні, наприклад, столи чи підлоги. Це робиться шляхом пошуку особливостей у зображенні, знятому камерою для кожного кадру, а потім відстеженням цих функцій через кадри, одночасно зчитуючи різні датчики руху пристрою для обчислення того, як камера переміщується між кадрами. Знайдені площини можна використовувати для розміщення віртуальних об'єктів у програмі доповненої реальності. Ці площини також дають уявлення про глибину двовимірних зображень, отриманих камерою, за допомогою яких можна визначити відстань від камери до реальних об'єктів, розташованих на одній з цих площин.

Якщо силует об'єкта реального світу виявлено, його можна правильно розмістити у віртуальному світі за умови, що об'єкт розташований на виявленій горизонтальній площині. Тоді точки, де силует торкається площини, можна використати, щоб визначити відстань до камери. Цю відстань можна використовувати для встановлення відповідного силуету у віртуальному світі на правильній відстані від камери. Віртуальні об'єкти у сцені можуть чітко визначити, чи вони містяться за силуетом чи перед ним, оскільки вони мають однаковий параметр відстані.

**Пошук реальних предметів у сцені та побудова силуету.** Правильне й ефективне сегментування фону та переднього плану сцени потребує великої роботи. Метод, який пропонується в цьому дослідженні, — це перетворення зображення, знятого з камери кожного кадру, у відтінок сірого. Із зображенням сірого кольору легше працювати щодо розрізнення об'єктів на основі контрастів. Зображення розмивається і видаляється частина візуального шуму перед проведенням операції з визначення порогового значення.

Операція з визначення порогового значення сегментує зображення у сірому форматі на бінарне зображення суто чорно-білого. Порогове значення визначає значення пікселя, виходячи з його інтенсивності. Якщо інтенсивність нижча за порогове значення, то піксель стане чорним, а якщо вища — піксель стане білим. Математично це можна описати так.

Для правильного визначення потрібно знати, чи фон від переднього плану світліший, чи темніший. Алгоритм, який використовується для цього, обчислює середнє значення всіх значень інтенсивності світла і відбирає його для кількох кадрів.

Після встановлення порога зображення можуть бути застосовані додаткові морфологічні операції для видалення шуму та заповненні невеликих отворів, які можуть з'явитися на зображенні. Це робиться шляхом застосування операцій закривання та відкривання. Операцією закривання знаходяться ізо-

льовані чорні ділянки і пікселі перетворюються в білі пікселі, тоді як операцією відкривання виявляються ізольовані білі ділянки і вони перетворюються у чорні.

Щоб мати можливість створити віртуальний силует об'єкта, потрібно знайти лише контур об'єкта, оскільки об'єкт вважається повністю непрозорим. Знайти контури у двійковому зображенні просто, оскільки він буде скрізь, де чорний натрапляє на білий. Деякі об'єкти можуть після встановлення порога містити отвори всередині об'єкта. Ці отвори іноді є в самому об'єкті, наприклад, у пончику, тоді як інколи це зумовлено неправильним порогом, спричиненим відбитим світлом, або непрозорою частиною, яка має подібний колір до фону. Фільтрування цих отворів створює проблеми в першому випадку, але значно зменшує проблеми у другому, що трапляється дуже часто.

Після того, як контур знайдений, він міститиме багато вершин за рахунок порогового зображення, яке має багато нерівних країв через збільшення масштабу. Для зниження обчислювальної потужності під час побудови віртуального силуету контур спочатку має бути наближеним, щоб зменшити кількість вершин за допомогою алгоритму Дугласа–Пейкера. Після зменшення вершин проводиться триангуляція і створюється віртуальний силует. На нього наносять спеціальну текстуру, яка визначає, як буде передаватися силует, щоб зробити його невидимим, але він ще здатний перекривати інші віртуальні об'єкти.

### Архітектура системи

Пропонується використовувати ARKit як платформу для доповненої реальності, оскільки вона була однією з найбільших платформ з постійними оновленнями, або ж використовувати AR Core Google.

Unity пропонується як двигун для побудови системи. Unity пропонує простий у користуванні інтерфейс і дуже потужні інструменти для оброблення всіх віртуальних об'єктів та створення необхідного користувацького інтерфейсу.

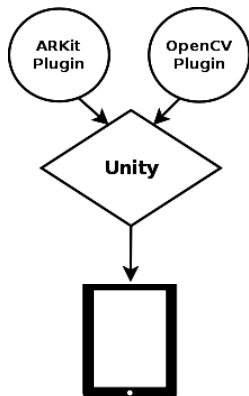


Рис. 2. Архітектура запропонованої архітектури

OpenCV — бібліотека програмного забезпечення для комп'ютерного зору. Вона містить алгоритми для оброблення зображень, які можна застосовувати для отримання великої кількості різної інформації зі сцени. Крім того, матимемо не лише механізм оброблення відео чи зображень, а і механізм автоматичного виявлення перекривання об'єктів, використовуючи плагін для OpenCV в Unity.

Запропоновану архітектуру показано на рис. 2, а спосіб оброблення одного кадру — на рис. 3. Спочатку ARKit аналізує кадр і порівнює його з попередніми кадрами для знаходження площин. Далі OpenCV обробляє кадр для виявлення силуетів, які Unity використовує для створення віртуальних сіток, що відповідають силуетам.

### Обмеження

Пропонується підхід насамперед для роботи в ідеалізованому середовищі, де об'єкти та фон добре визначені. Це означає, що в приміщенні рівномірне освітлення, коли предмети, що перекриваються, не надто схожі на фон.

Зроблено це з метою спрощення дослідження через зменшення змінних, які потрібно враховувати, оскільки враховувати всі можливі змінні надто складно і це потребує спеціалізованої команди. Дія у зовнішніх умовах все ще буде оцінена. Головне завдання роботи — пропозиція концепції, а не продукт.

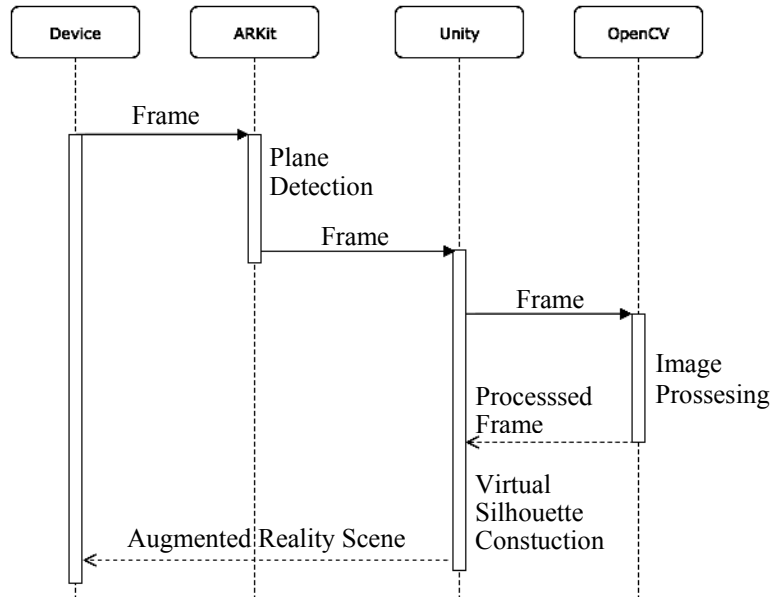


Рис. 3. Спосіб оброблення одного кадру

## РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Передусім слід зазначити, що система перебуває на початковому етапі розроблення і працює лише в тестовому режимі. Утім головною метою роботи є не розроблення готового додатка, а висвітлення існуючої проблеми і пропозиція можливої архітектури та алгоритму роботи для її вирішення.

### Умови експериментів

Експерименти проводилися як у приміщенні, так і на відкритому повітрі. Поверхні, що використовуються в приміщенні, — це однакові столи з різними кольорами, як світлими, так і темними, на яких розміщувались реальні предмети. Об'єкти були непрозорими або блискучими, або матовими для визначення ефекту, коли на об'єкт відбивається освітлення. Об'єкти мали різні розміри, форми та кольори. Освітлення змінювалося від прямого світла, спричиняючи нерівномірне освітлення, до непрямого світла, яке рівномірно освітлює сцену.

На відкритому повітрі експерименти проводилися на сусідній вулиці під прямими сонячними променями і в тіні. Поверхнями, на яких проводились експерименти, були асфальт, бруківка, трава тощо. Використовувані об'єкти — це звичайні речі, такі як машини, дерева і т.ін.

### Оцінювання

Критерії для оцінювання системи в кожному експерименті:

- 1) чи працює перекривання за призначенням, коли камера статична;

- 2) чи мерехтить віртуальний об'єкт;
- 3) чи зберігається перекривання із переміщенням камери;
- 4) чи перекривання коректне лише тоді, коли віртуальний об'єкт розташований за реальним об'єктом, а не попереду;
- 5) чи додавання прямого світла негативно впливає на сцену.

Переміщення віртуального об'єкта перед реальним об'єктом має означати, що він більше не перекривається, а переміщення його назад за реальний об'єкт повинно змусити його знову перекриватися.

### Експерименти

Проведено шість пробних тестів. Продемонструємо найкращий і найгірший випадки.

Експеримент з найкращими результатами проведено в приміщенні на чорному столі з білими предметами для перекривання (рис. 4). Освітлення рівномірне і непряме. Перекривання працює тут за призначенням. Немає візуального мерехтіння, а переміщення камери по сцені зберігає перетинання. Переміщення віртуального об'єкта за реальний об'єкт або перед ним усе ще зберігає коректне перекривання. Додавання прямого світла не мало негативного впливу на оклюзію. Якщо один з білих предметів перекривався білою стіною, це призводило до того, що вся стіна стає перекривальним об'єктом.



Рис. 4. Приклад найкращого функціонування системи

Експеримент з найгіршим результатом проводився на вулиці біля машини (рис. 5). Перекривання ледве спрацювало за призначенням, маючи незначну проблему від тіней дерев, коли камера була статичною під певним кутом. Об'єкт мерехтів, а переміщення камери зіпсувало перекривання.



Рис. 5. Приклад найгіршого функціонування системи

Переміщення віртуального об'єкта перед автомобілем не дозволило належним чином відділити автомобіль від віртуального об'єкта. Додавання прямого освітлення не мало ефекту, оскільки сонячне світло було надто сильним для створення помітної різності.

Загальні результати шести експериментів можна бачити в таблиці. Результати демонструють, що алгоритм працює в приміщенні краще порівняно із зовнішнім середовищем щодо критеріїв, які використовувались для оцінювання

#### Результати експериментів

Номер експеримента	Статичне перекривання	Мерехтіння	Рух камери є коректним	Перекривання коректне, якщо модель за об'єктом	Вплив прямого світла відсутній
1	Так	Ні	Так	Так	Ні
2	Так	Ні	Так	Так	Так
3	Ні	Ні	Ні	Ні	Так
4	Іноді	Так	Ні	Ні	Так
5	Іноді	Так	Ні	Ні	Так
6	Ні	Так	Ні	Ні	Так

#### ДИСКУСІЯ ТА ПІДСУМКИ

Етап оброблення зображень, що стосується відокремлення переднього плану від фону, можна вдосконалити. Виявлення об'єктів на передньому плані є важливою частиною системи, і якщо цю частину вдосконалити, то систему можна застосовувати в більш складних середовищах з більш точним перекриванням. Однак це є великою проблемою, яку не легко вирішити, коли камера рухома, а це означає, що фон не буде статичним. Це було б більш можливим з додатковим обладнанням, таким як подвійне установа камери, яка забезпечує два дещо різні перегляди однієї сцени кожного кадру. Обчислення різностей між переглядами може дати більше інформації про те, яка частина сцени є фоном, а яка переднім планом.

Частина системи пошуку відстані покладається на ARKit та одну з його виявлених площин. Це можна зробити окремо від ARKit, щоб дозволити пошук відстані навіть тоді, коли площину не виявлено. Із додатковим обладнанням, наприклад подвійними камерами, або інфрачервоним датчиком відстані, це можна реалізувати без особливих ускладнень. Алгоритм, що визначає, чи фон переважно білий, чи переважно чорний, за середньої інтенсивності світла, імовірно можна покращити. За наявності більшої інформації про те, яка частина зображення на передньому плані, а яка є фоном, цей алгоритм може стати більш продуктивним.

#### ВИСНОВКИ

Перекривання працює за призначенням, коли реальні об'єкти розташовані перед віртуальним об'єктом, що перекривається, а реальні об'єкти за віртуальним об'єктом не включають у себе сам віртуальний об'єкт. Нерівномірний рух камери може спричинити в алгоритмі стрибки вперед і назад між тим, що він виявляє як об'єкти для перекривання, і тим, що він визначає як фон. Це може зумовити ефект мерехтіння на віртуальному об'єкті. Переміщення камери навколо сцени може спричинити збій перекривання через зміни у фоні та передньому плані, через що алгоритм іноді працює лише з певних ракурсів у середині сцени. Зміна освітлення сцени може впливати на перекривання.



## ЛІТЕРАТУРА

1. D.E. Breen, R.T. Whitaker, E. Rose, and M. Tuceryan, “Interactive occlusion and automatic object placement for augmented reality”, *Computer Graphics Forum*, vol. 15, no. 3, pp. 11–22, 1996.
2. Y. Tian, T. Guan, and C. Wang, “Real-time occlusion handling in augmented reality based on an object tracking approach”, *Sensors*, vol. 10, no. 4, pp. 2885–2900, 2010.
3. K.C. Ong, H.C. Teh, and T.S. Tan, “Resolving occlusion in image sequence made easy”, *The Visual Computer*, vol. 14, pp. 153–165, Oct 1998.
4. J. Schmidt, H. Niemann, and S. Vogt, “Dense disparity maps in real-time with an application to augmented reality”, in *Sixth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 2002 (WACV 2002). Proceedings*, pp. 225–230, Dec 2002.
5. M. Berger, “Resolving occlusion in augmented reality: a contour based approach without 3d reconstruction”, in *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 91–96, June 1997.

Надійшла 21.06.2020

## INFORMATION ON THE ARTICLE

**Oleksandr S. Bezpalko**, ORCID: 0000-0001-7595-6179, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine, e-mail: bos0x0mail@gmail.com

**INTERACTION OF MODELS WITH REAL OBJECTS AS A WAY TO IMPROVE AUGMENTED REALITY / O.S. Bezpalko**

**Abstract.** Unlike a purely virtual world, it is much more difficult for the user to believe in the reality of augmented reality objects. Due to the lack of proper lighting or shadows, the object may appear to be floating in the air, detached from the real objects around it. One obvious problem with augmented reality is that a virtual object appears remote from the real object, but it still appears in front of it. An approach is proposed that will allow the interaction of real and virtual objects. Both real and virtual objects can be moved and rotated in the scene, preserving overlaps. A virtual object can also be placed in front of or behind a real object relative to the camera, which decides whether or not to overlap. The proposed algorithm consists of five stages and the system architecture. The evaluation is based on five defined criteria. Results and ways of improvement for the future research are presented.

**Keywords:** model interaction, overlap, pattern recognition.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОДЕЛЕЙ С РЕАЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ КАК СПОСОБ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ / А.С. Безпалько**

**Аннотация.** В отличие от чисто виртуального мира пользователю значительно сложнее поверить в реальность объектов дополненной реальности. Из-за отсутствия правильного освещения, или теней может показаться, что предмет плавает в воздухе, отсоединен от реальных предметов вокруг него. Одной очевидной проблемой, которая существует в дополненной реальности, является то, что виртуальный объект кажется отдаленным от реального объекта, однако он все еще появляется перед ним. Предложен подход, при котором станет возможным взаимодействие реальных и виртуальных объектов. Как реальные, так и виртуальные объекты могут быть перемещены и вращаться в сцене, сохраняя перекрытия. Виртуальный объект также может находиться перед реальным объектом или позади него относительно камеры, которая решит, должно происходить перекрытия или нет. Предложен алгоритм, который состоит из пяти этапов и архитектуры системы. Оценка производится на основе пяти определенных критериев. Представлены результаты и способы совершенствования для будущих исследований.

**Ключевые слова:** взаимодействие моделей, перекрытия, распознавания образов.