

Яковенко В. О., Ульяновська Ю.В., Олещук А. О.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ 3D ВІЗУАЛІЗАЦІЇ З ЕЛЕМЕНТАМИ AUGMENTED REALITY ДЛЯ СЛАБКИХ ТА ПОТУЖНИХ ПРИСТРОЇВ

У статті розглядається прикладна задача створення програмного модуля для візуалізації тривимірних моделей. Наведено процес відстеження тривимірних об'єктів з використанням датчика гіроскопа або акселерометра. Метою роботи є дослідження можливості створення такого додатку AR який зміг би працювати на пристроях, які не мають у своєму розпорядженні усіх компонентів для ідеального відображення додаткової реальності та порівняння роботи такого додатку на низькопродуктивних пристроях та високопродуктивних. Отримані результати продемонстровані.

Ключові слова. Додаткова реальність, 3D візуалізація, програмування мобільних додатків.

Актуальність дослідження. Протягом останнього десятиліття Додаткова реальність (AR–AugmentedReality) привернула інтерес як до промисловості, так і до наукових кіл. AR доповнює реальний світ користувача за допомогою віртуального вмісту. Різні види бізнесу та постачальники послуг продовжують впроваджувати інноваційні послуги для розробки нових додатків AR. Віртуальна реальність (VR) вже підтверджена як ефективна, безпечна, доступна і мотивуюча модальність зворотного зв'язку для експериментів ВСІ. Доповнена реальність (AR) посилює фізичний світ, накладаючи інформаційний, контекстно-обумовлений, комп'ютерний контент [1].

Системи доповненої реальності об'єднують віртуальний та реальний світи, вони інтерактивні в реальному часі і інтегрують тривимірні об'єкти у віртуальне середовище. AR розширює можливості сприйняття користувача в реальному світі і його взаємодію з об'єктами, надаючи інформацію, яку користувач не може виявити особисто. Щоб отримати ці результати, можна використовувати спеціальні пристрої, наприклад такі як мобільний пристрій. Покращення в мобільних технологіях вбудованих камер, датчиків, обчислювальних ресурсів роблять телефони одним з кращих девайсів для AR.

Розглядаючи всі визначення різних дослідників за минулий час можна зробити висновок, що AR [2-4]:

- 1) об'єднує реальні і віртуальні об'єкти в реальному середовищі,
- 2) є інтерактивною в режимі реального часу,
- 3) реєструє реальні і віртуальні об'єкти один з одним,
- 4) запускає і / або відображає розширене уявлення світу на мобільному пристрої.

В ідеалі користувач сприймає реальні і віртуальні об'єкти які співіснують в одному і тому ж просторі.

Теоретичний аналіз дослідження. На момент написання цієї статті було ідентифіковано щонайменше 12 різних областей де використовуються додатки AR. Ці області включають в себе добре зарекомендовані області, такі як медичні, військові, виробництво, розваги, візуалізація і робототехніка. Вони також включають в себе оригінальні і нові домени, такі як освіта, маркетинг, геопростір, навігація і планування маршрутів, туризм, міське планування і цивільне будівництво. Надалі аналізуються недавні дослідні проекти, які були проведені у кожній області. Хоча вони не вичерпно охоплюють всі сфери застосування технології AR.

На сьогоднішній день існує багато підходів до використання технології доповненої реальності в освіті. Такі мобільні навчальні системи можна умовно розділити на три основні групи: 1 група візуалізує 3d зображення для наочного представлення навчального матеріалу. 2 група використовує технологію доповненої реальності для розпізнавання і маркування реальних об'єктів. 3 група побудована на основі взаємодії віртуального об'єкту побудованого комп'ютером (смартфоном) з людиною в режимі реального часу. [5]

Один із додатків AR в медичній галузі - це ультразвукове зображення [6]. Використовуючи оптичний детектор, лікар ультразвукової діагностики може переглядати об'ємне зображення плоду, накладеного на живіт вагітної жінки. Зображення виглядає так, як якщо б воно знаходилося всередині живота. Відносно недавно Wenetal. запропонували спільну хірургічну систему, керуючись ручними жестами і підтримувану хірургічним полем, заснованим на доповненій реальності [7]. Дітер Шмальстіг [8] побудував навігаційну систему на базі AR. Система підтримує пошук шляхів і вибір реальних об'єктів. Коли користувачі обирають елемент у реальному світі, віртуальна інформація накладається на реальний об'єкт.

Додаткові переваги, характерні для військових користувачів, можуть бути навчанням за великомасштабним бойовим сценаріями і імітувати дії противника у реальному часі, як в Battlefield Augmented Reality System (BARS) створену Джулієм і ін. [9].

AR - корисний метод візуалізації для накладення комп'ютерної графіки у реальному світі. Для взаємодії з візуалізацією в [10] була представлена система AR на основі бачення. Пристрій GeoScore було розроблено для підтримки деяких додатків, таких як місто, ландшафт і архітектурна візуалізація в [11]. AR візуалізація для лапароскопічної хірургії була розглянута в [12].

Додаткова реальність була вперше використана для реклами в автомобільній промисловості. Деякі компанії друкували спеціальні листівки, які автоматично розпізнавалися веб-камерами, в результаті чого на екрані показувалася тривимірна модель рекламованого автомобіля [13].

Незважаючи на кількість проектів і досліджень, багато з існуючих систем AR покладаються на платформи, які є важкими і непрактичними для мобільного середовища [14]. Krevelen [15] також згадують

відсутність переносимості в деяких системах AR через обчислювальних і енергетичних обмежень потужності. Крім того, існують технічні проблеми в області комп'ютерного зору, такі як сприйняття глибини, які були покращені в останніх реалізаціях продуктів Smart-glass, Microsoft Kinect.

Типова система AR включає мобільні обчислювальні платформи, програмні середовища, підтримку виявлення та відстеження, відображення, бездротовий зв'язок і управління даними. Існують також випадки, коли мобільні користувачі взаємодіють з додатком за допомогою зовнішніх контролерів [16]. П. Джайн і ін. У своїй роботі в проєкті OverLay обговорюють вимоги функціонування системи MAR [17].

На основі проведеного аналізу літературних джерел можна зробити висновок що дослідники повинні проєктувати функції, які дозволяють користувачам здобувати базові компетенції, пов'язані з дисциплінами STEM та сферами обслуговування. Актуальним практичним застосуванням технологій AR є використання її у розробці мобільних додатків. Але проблема в тому, що мобільні пристрої які мають всі компоненти для стабільної та коректної роботи AR, являють собою незначний відсоток ринку, тому актуальною практичною задачею слід вважати дослідження, спрямовані на розповсюдження AR на інші типи девайсів.

Метою статті є дослідження можливості створення такого додатку AR який зміг би працювати на пристроях, які не мають у своєму розпорядженні усіх компонентів для ідеального відображення додаткової реальності та порівняння роботи такого додатку на низькопродуктивних пристроях та високопродуктивних.

Розробка програмного модуля для візуалізації 3D моделей

З першого прототипу AR на мобільний пристрій, мобільні технології зробили великий прогрес у всіх аспектах: вбудовані камери, вбудовані датчики, потужні процесори і спеціалізоване графічне обладнання. Вбудована камера відмінно підходить для зручного відображення AR. Вбудовані датчики також полегшують відстеження позиції. Однак, незважаючи на швидкий розвиток мобільних телефонів, продуктивність деяких моделей в даний момент обмежена. Більшість мобільних телефонів оснащені відносно не великою пам'яттю і крихітним кешом. Вбудована камера має обмеження у вигляді вузького поля зору і наявністю білого шуму через низьку оптику. Датчики акселерометра або гіроскопа іноді і зовсім відсутні.

Процес розробки програмного додатку.

Схема розвитку системи ділиться на дві важливі частини: внутрішню і зовнішню, кожна з яких описує технологічний потік, який був розроблений в ході роботи. Перший процес на внутрішньому сервері включає створення додатка Augmented Reality з використання багатоплатформного інструмента - Unity з камерою яка підтримує функції гіроскопа або акселерометра, доступні на смартфоні. Для створення 3-мірних і анімованих моделей використовувалось програмне забезпечення ZBrush, де результати, отримані при виготовленні 3-мірної моделі та анімації, експортувалися як файл obj.

Другий процес внутрішньої частини полягає в тому, щоб об'єднати функції камери з 3-мірної моделлю. Пропоноване злиття є взаємопов'язаним співвідношенням між відстеженням акселерометра і 3-мірними моделями.

Останнім етапом внутрішньої частини є створення програми - файл пакета (файл APK). Файли APK створюються для встановлення додатків, які були створені для безпосереднього використання на смартфонах Android.

Процес на інтерфейсі - це коли APK-файл був встановлений на смартфон або планшет з операційною системою Android.

Основним процесом на інтерфейсі програми є відстеження тривимірних об'єктів з використанням датчика гіроскопа або акселерометра.

Процес створення можна побачити на малюнку (рис. 1).

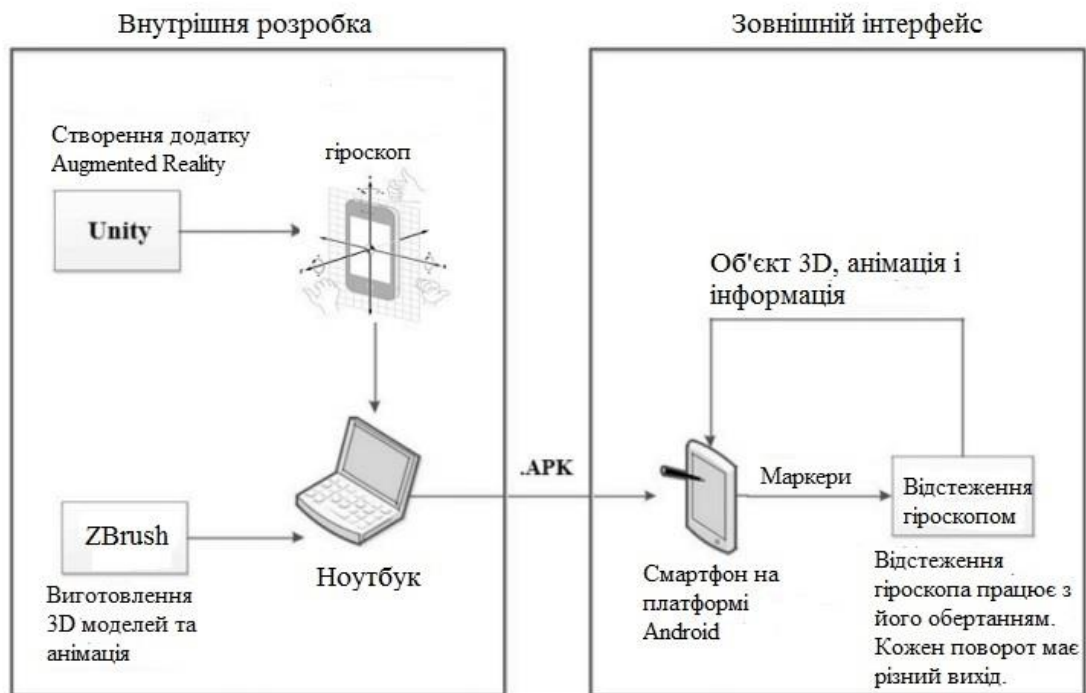


Рис 1. Схема розробки системи

Для створення модуля на основі маркерної системи обробки існують технології як повністю безкоштовні, так і безкоштовні для некомерційних розробок. Найбільш популярними є такі AR SDK, як Vuforia, EasyAR, Wikitude, ARToolKit, Kudan, Maxst, Xzing і NyARToolkit. Компанія THINKMOBILES, що займається розробкою мобільних додатків, провела порівняльний аналіз за значених вище засобів розробки додатків додаткової реальності [18].

Результати дослідження компанії THINKMOBILES представлені у таблиці 1. Як можна спостерігати, Wikitude має вищий рейтинг, ніж Vuforia, що пояснюється більш широким функціоналом (використання SLAM і даних геолокації), проте Vuforia володіє більш кращими характеристиками виявлення і спостереження за маркером. Щодо інших AR Software Development Kit – Vuforia є лідером рейтингу.

Таблиця 1.

Порівняння AR SDK за різними параметрами

	Wikitude	ARKit	ARcore	Vuforia	MaxST	DeepAR	EasyAR	ARToolKit	Xzing
Мак відстань виявлення маркера/ стеження за маркером (м)	2.4 / 5	1.5 / 5	1.0 / 3	1.2 / 3.7	0.5 / 0.9	0.7 / 5	0.9 / 2.7	3 / 3	0.5 / 1
стійкість розпізнавання нерухомого маркера	6	9	9	10	7	8	7	8	4
стійкість розпізнавання рухомого маркера	6	7	6	6	2	7	3	6	3
Мінімальний кут для розпізнавання (Градус)	10	30	50	30	50	35	35	10	45
Мін. відсоток видимості частково загородженого маркеру	100%	50%	75%	20%	50%	10%	10%	100%	25%
Розпізнавання 2D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Розпізнавання 3D	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓
Можливість використання	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-

Геолокації									
Розпізнавання міток, що зберігаються у хмарі (CloudRecognition)	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
Використання методу одночасної локалізації та побудови карти	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-
Підсумковий рейтинг	8.0	7.5	7.7	7.7	5.2	4.7	4.4	2.8	3.1

Для вирішення поставленої в роботі мети будемо використовувати комплект програмного забезпечення AR Software Development Kit (SDK) Wikitude, бо на відміну від нього Vuforia не підтримується на Пристрої 1. У середовищі розробки кожен віртуальний продукт пов'язаний з певним маркером. Алгоритми в AR SDK можуть фіксувати геометричні ознаки з конкретного маркера який відповідає певному продукту чи тривимірній моделі. Потім маркер служить посиланням для відображення відповідної моделі на екрані.

Безмаркерная технологія - це відносно нова технологія додаткової реальності, яка динамічно розвивається. В її основі знаходяться особливі алгоритми розпізнавання, за допомогою яких на навколишній ландшафт, знятий камерою, накладається віртуальна «сітка». На цій сітці, програмні алгоритми знаходять опорні точки, за якими визначають точне місце, до якого буде «прикріплена» віртуальна модель.

Проведені дослідження ставили за мету визначити, чи можливо створити такий додаток AR який зміг би працювати на пристроях, які не мають у своєму розпорядженні усіх компонентів для ідеального відображення додаткової реальності і випадку наявності такої можливості розробити програмний додаток та порівняти ефективність його роботи на низькопродуктивних пристроях та високопродуктивних.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити які мінімальні компоненти потрібні для стабільної роботи AR-додатку та чи є аналоги тим компонентам, які необхідні для стабільної роботи AR.

Для створення самого додатку були обрані два мобільних пристрої: SonyG3112 (далі - Пристрій 1), як низькопродуктивний телефон без гіроскопа, та Huawei PSmart Plus (далі - Пристрій 2), як високопродуктивний пристрій.

Щоб зробити порівняння роботи AR на Пристрої 1 та Пристрої 2, був розроблений програмний модуль.

У першу чергу потрібно проініціалізувати SDK Wikitude: у активну сцену додати клас WikitudeCamera та InstantTracker. При запуску сцени клас WikitudeCamera автоматично проініціалізується, але для класу InstantTracker необхідно створити клас-обробник, який буде ініціалізувати його та змінювати навколишнє середовище сцени в залежності від отриманих ним параметрів. Початок програмного рішення ініціалізації має вигляд

```
public InstantTracker Tracker;

public void Initialize()
{
    Tracker.SetState(InstantTrackingState.Tracking);
}
```

Наступним кроком є підключення до подій InstantTracker один із своїх методів, а саме – OnStateChanged

```
public void AddListenerToTracker()
{
    Tracker.OnStateChanged.AddListener(OnStateChanged);
}
```

У події OnStateChanged було реалізовано відображення інтерфейсу користувача в залежності від отриманих параметрів від InstantTracker.

```
public void OnStateChanged(InstantTrackingState state)
{
    if (state == InstantTrackingState.Tracking)
    {
        //Відображення інтерфейсу користувача
    }
}
```

```

else
{
    // Приховування інтерфейсу
    // Видалення наявних 3D моделей

    try
    {
        Tracker.SetState(InstantTrackingState.Initializing);
    }
    catch (Exception ex)
    {
        Debug.LogError(ex.Message);
    }
}
}

```

Для початку користування програмою, користувач повинен направити камеру смартфона на поверхню, так щоб горизонтальна лінія, зеленого кольору, була розташована горизонтально відносно поверхні на котрій буде віртуально розміщено 3D об'єкт, та натиснути на кнопку «Initialize» для фіксації поверхні. Щоб редагувати положення та розмір сітки (наблизити її, чи віддалити), використовується регулятор. Після фіксації, лінія зеленого кольору змінює колір на помаранчевий (рис. 1).

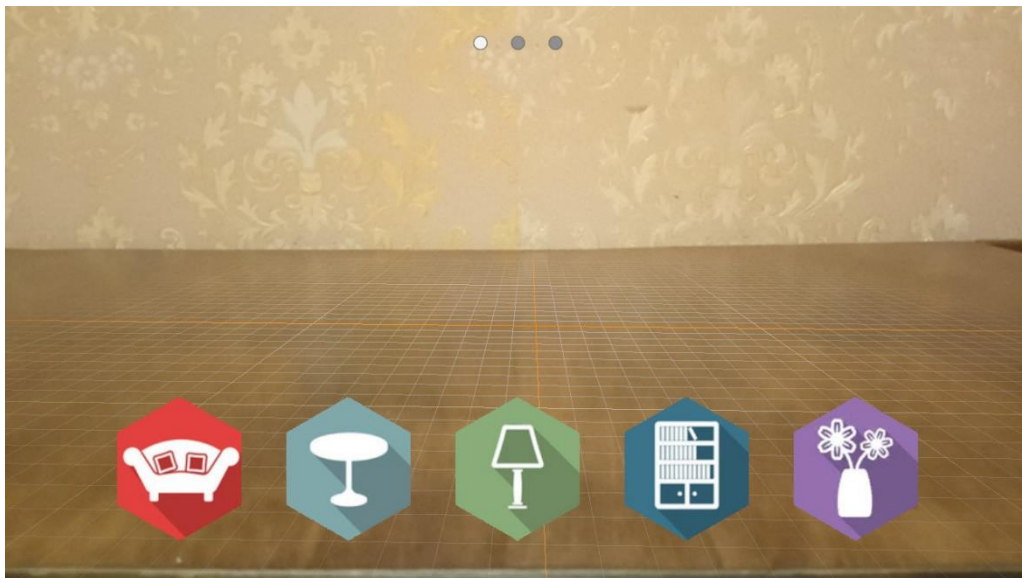


Рис. 1. Головна сцена після фіксації поля

Після інсталювання програмного модуля на мобільних пристроях було проведене тестування в ході якого досліджувались два фактори.

Перший - наскільки чітко та коректно відображається та фіксується поле.

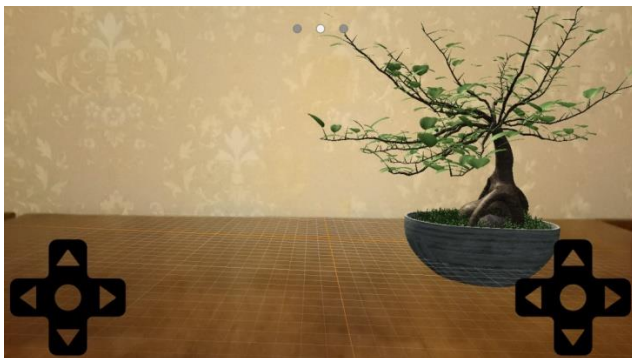
На рис. 2 проілюстровано роботу розробленого додатку: додано 3D модель на головну сцену. Було визначено, що при встановленні віртуальної сітки, на якій повинні розташовуватися тривимірні об'єкти виникають труднощі в її фіксації у рівному, горизонтальному положенні. Зазначений недолік тягне за собою наслідки неправильного розташування і відображення віртуальних об'єктів. Через це з об'єктами складно взаємодіяти.



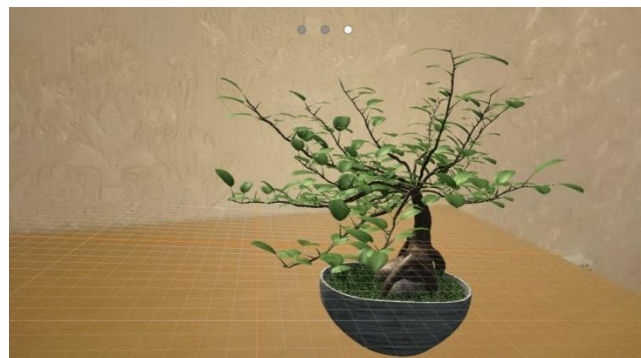
Рис. 2 Відображення тривимірної моделі на віртуальному полі

Даний недолік з'являється через те, що на Пристрої 1 розташований датчик акселерометр, який на відміну від гіроскопа, який вимірює положення в трьох напрямках - X, Y і Z, вимірює положення мобільного пристрою тільки у двох напрямках, по осі X і Y. Дане відхилення не спостерігалось при тестуванні розробленого AR додатка на Пристрої 2, так як він має обидва датчика, акселерометр і гіроскоп. Це дозволяє встановлювати сітку більш рівно та збалансовано відносно горизонтальної осі X.

Передбачено декілька режимів роботи з доповненою реальністю. У режимі перегляду сцени передбачена можливість оглядати тривимірну модель за допомогою різнофункціонального інтерфейсу користувача та встановлює модель на екран, за допомогою відповідної системи керування, що надає динамічний огляд доповненої реальності у русі (рис.3(a)), а також користувач може роздивитися модель без зайвих компонентів на екрані смартфона(рис. 3 (б)).



а)



б)

Рис. 3 Кінцевий вигляд віртуального середовища на пристрої.

Другий фактор, який підлягав дослідженню - який максимальний кут відхилу мобільного пристрою від нульової точки.

Після встановлення віртуального поля, на якому будуть розміщуватися тривимірні моделі, нульовою точкою вважається фіксований, поточний стан телефону у просторі, і на основі цього створюється точка відліку зміни положення пристрою у просторі. Під час тестування куту відхилу, обидва пристрої показали майже однаковий результат: $\sim 160^\circ$. Тобто, при відхилі більше ніж на 160° на екрані мобільних пристроїв зображення віртуального об'єкта зникає і більше не фіксується на колишньому місці.

Висновок. У роботі був представлений огляд області мобільної додаткової реальності, в тому числі області застосування, проблеми, компоненти, вимоги і сучасні системи.

Було досліджено можливість створення додатку AR для низькопродуктивних пристроїв, які не мають необхідних функціональних компонентів для ідеального відображення додаткової реальності.

Наведено результати розробки програмного модуля для візуалізації 3D моделей і проведено порівняння його роботи на пристроях, які не мають у своєму розпорядженні усіх компонентів та високопродуктивних пристроях. Результати показали що відображення моделей у віртуальному середовищі все ж таки залежить від вбудованих датчиків у смартфон, від них в першу чергу залежало правильне, рівне встановлення віртуальної сітки і моделей на ній у подальшому.

За результатами роботи можна зробити висновок, що розроблений додаток доповненої реальності на обох пристроях показав задовільний результат. Він добре розпізнає навколишнє середовище та правильно розміщує 3D моделі у ньому.

Подальшими дослідження у цій галузі є розробка більш досконалого користувальницького інтерфейсу для візуалізації віртуальних об'єктів у реальному середовищі. Сьогоднішнє поширення сучасних смартфонів та вдосконалення їх апаратної частини, надає можливість для розробки інноваційного, дійсно корисного додатка з використанням додаткової реальності. Успішним додатком Augmented Reality є система, яка надає можливість користувачеві зосереджуватися на самому функціоналі системи та реалізує взаємодію з пристроєм у натуральному та соціально прийнятному вигляді, а також надає користувачеві нову небезкорисну інформацію.

Література

1. Zeng X, et al. A feasibility study on SSVEP-based interaction with motivating and immersive virtual and augmented reality. [Електронний ресурс] / X. Zeng, G. Zhu, L. Yue, M. Zhang, Sh. Xie // Journal of Healthcare Engineering.- 2017.- Vol. 2017, Articl ID 6819056 : [http // www.hindawi.com](http://www.hindawi.com). <https://doi.org/10.1155/2017/6819056>
2. Reitmayr G., Schmalstied D. Mobile collaborative augmented reality / G. Reitmayr, D. Schmalstied // Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality.- 2001.- 29-30 Oct., p. 114–123. [https:// DOI: 10.1109/ISAR.2001.970521](https://doi.org/10.1109/ISAR.2001.970521)
3. Kock T. The future directions of mobile augmented reality applications [electronic resource] / T. Kock // Study Tour Pixel 2010 - University of Twente. <https://www.interactief.utwente.nl/studiereis/pixel/files/indepth/TiesDeKock.pdf>
4. Recent advances in augmented reality. / R. T. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer and etc. // IEEE Computer Graphics&Applications, 2001, vol. 21, issue: 6, pp. 34– 47.
5. Шабелюк, О. В. Використання технології доповненої реальності в дистанційному освітньому процесі / О. В. Шабелюк // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія : Фізико-математичні науки. - 2014. - Вип. 2. - С. 215-218.
6. Bajura M., Fuchs H., Ohbuchi R. Merging virtual objects with thereal world: Seeing ultra sound imagery with in the patient. / M. Bajura, H. Fuchs, R. Ohbuchi. // ACM SIGGRAPH Computer Graphics.- 1992.- vol. 26.- no. 2.- p. 203–210.
7. Handgesture guided robot-assisted surgery based on a direct augmented reality interface / R. Wen, W.-L. Tay and etc. // Comput Methods Programs Biomed.- 2014. – vol. 116(2).- p. 68-80. <http://doi:10.1016/j.cmpb.2013.12.018>.
8. Schmalstieg D., Schall G., Wagner D. Managing complex augmented reality models / D. Schmalstieg, G. Schall, D. Wagner and etc. // IEEE Computer Graphics and Applications.-2007.- vol. 27, no. 4.- p. 48–57. <http://doi:10.1109/mcg.2007.85>
9. Information filtering for mobile augmented reality / S. Julier, M. Lanzagorta, Y. Baillet and etc. // IEEE Computer Graphics and Applications.-2002.- vol. 22, issue 5, p. 12–15. <http://doi:10.1109/mcg.2002.1028721>
10. Qi W. A vision-based augmented reality system for visualization interaction / W. Qi // Ninth International Conference on Information Visualisation (IV'05). - 6-8 July 2005 p. 404–409. <http://DOI:10.1109/IV.2005.15>
11. Brenner C., Paelke V., Haurert J., Ripperda N. The geoscope-a mixed-reality system for planning and public participation [electronic resource] / C. Brenner, V. Paelke, J. Haurert, N. Ripperda // 25th Urban data management symposium.- 2006.- https://www.researchgate.net/publication/240802353_THE_GEOSCOPE_-_A_MIXED_REALITY_SYSTEM_FOR_PLANNING_AND_PUBLIC_PARTICIPATION
12. Hugues O., Fuchs P., Nannipieri O. New augmented reality taxonomy: Technologies and features of augmented environment / O. Hugues, P. Fuchs, O. Nannipieri. // Handbook of Augmented Reality.- Springer- 2011.- pp. 47–63.
13. Spies R., Ablaßmeier M., Bubb H., Hamberger W. Augmented Interaction and Visualization in the Automotive Domain / R. Spies, M. Ablaßmeier, H. Bubb, W. Hamberger // Human-Computer Interaction. Ambient, Ubiquitous and Intelligent Interaction 13th International Conference, HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009. - Proceedings, Part III. - p 211-220
14. Vertand S., Vasiu R. Integrating linked data in mobile augmented reality applications / S. Vertand, R. Vasiu // International Conference on Information and Software Technologies ICIST 2014: Information and Software Technologies. – p. 324-333.
15. F. van Krevelenand D.W., Poelman R. Augmented reality: Technologies, applications, and limitations / D.W.F. van Krevelenand, R. Poelman // The International Journal of Virtual Reality.- 2010. – vol. 9(2).- p. 1-20.
16. Schurg T. Development and evaluation of interaction concepts for mobile augmented and virtual reality applications considering external controllers / T. Schurg.- Submitted to the Department of Computer Science at RWTH Aachen University. - 2015. – 108 p. [http://doi: 10.13140/RG.2.1.1689.0328](http://doi:10.13140/RG.2.1.1689.0328)
17. Jain P., Manweiler J., Roy Choudhury R. Overlay: Practical mobile augmented reality / P. Jain, J. Manweiler, R. Roy Choudhury // Proceedings of the 13th Annual International Conferenceon Mobile Systems, Applications, and Services. ACM, 2015.- p. 331–344.

18. Best augmented reality SDK for AR development for iOS and Android in 2017 [Электронный ресурс]:- Блог компании Thinkmobiles. – Режим доступа: <https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review/>

References

1. Zeng X, et al. A feasibility study on SSVEP-based interaction with motivating and immersive virtual and augmented reality. [Электронный ресурс] / X. Zeng, G. Zhu, L. Yue, M. Zhang, Sh. Xie // Journal of Healthcare Engineering.- 2017.- Vol. 2017, Article ID 6819056 : [http // www.hindawi.com.https://doi.org/10.1155/2017/6819056](http://www.hindawi.com.https://doi.org/10.1155/2017/6819056)
2. Reitmayr G., Schmalstieg D. Mobile collaborative augmented reality / G. Reitmayr, D. Schmalstieg // Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality.- 2001.- 29-30 Oct., p. 114–123. [https:// DOI: 10.1109/ISAR.2001.970521](https://doi.org/10.1109/ISAR.2001.970521)
3. Kock T. The future directions of mobile augmented reality applications [electronic resource] / T. Kock // Study Tour Pixel 2010 - University of Twente. <https://www.interactief.utwente.nl/studiereis/pixel/files/indepth/TiesDeKock.pdf>
4. Recent advances in augmented reality. / R. T. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer and etc. // IEEE Computer Graphics&Applications, 2001, vol. 21, issue: 6, pp. 34– 47.
5. Shabelyuk O. V. Vykorystannya tehnologiyi dopovnenoyi realnosti v dystancijnomu osvithnomu procesi / O. V. Shabelyuk // Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriya : Fyzyko-matematychni nauky. - 2014. - Vyp. 2. - P. 215-218.
6. Bajura M., Fuchs H., Ohbuchi R. Merging virtual objects with thereal world: Seeing ultra sound imagery with in the patient. / M. Bajura, H. Fuchs, R. Ohbuchi. // ACM SIGGRAPH Computer Graphics.- 1992.- vol. 26.- no. 2.- p. 203–210.
7. Handgesture guided robot-assisted surgery based on a direct augmented reality interface / R. Wen, W.-L. Tay and etc. // Comput Methods Programs Biomed.- 2014. – vol. 116(2).- p. 68-80. [http://doi:10.1016/j.cmpb.2013.12.018](http://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.12.018).
8. Schmalstieg D., Schall G., Wagner D. Managing complex augmented reality models / D. Schmalstieg, G. Schall, D. Wagner and etc. // IEEE Computer Graphics and Applications.-2007.- vol. 27, no. 4.- p. 48–57. [http://doi:10.1109/mcg.2007.85](http://doi.org/10.1109/mcg.2007.85)
9. Information filtering for mobile augmented reality / S. Julier, M. Lanzagorta, Y. Baillet and etc. // IEEE Computer Graphics and Applications.-2002.- vol. 22, issue 5, p. 12–15. [http://doi:10.1109/mcg.2002.1028721](http://doi.org/10.1109/mcg.2002.1028721)
10. Qi W. A vision-based augmented reality system for visualization interaction / W. Qi // Ninth International Conference on Information Visualisation (IV'05). - 6-8 July 2005 p. 404–409. [http://DOI:10.1109/IV.2005.15](http://doi.org/10.1109/IV.2005.15)
11. Brenner C., Paelke V., Haurert J., Ripperda N. The geoscope-a mixed-reality system for planning and public participation [electronic resource] / C. Brenner, V. Paelke, J. Haurert, N. Ripperda // 25th Urban data management symposium.- 2006.- https://www.researchgate.net/publication/240802353_THE_GEOSCOPE_-_A_MIXED_REALITY_SYSTEM_FOR_PLANNING_AND_PUBLIC_PARTICIPATION
12. Hugues O., Fuchs P., Nannipieri O. New augmented reality taxonomy: Technologies and features of augmented environment / O. Hugues, P. Fuchs, O. Nannipieri. // Handbook of Augmented Reality.- Springer- 2011.- pp. 47–63.
13. Spies R., Ablaßmeier M., Bubb H., Hamberger W. Augmented Interaction and Visualization in the Automotive Domain / R. Spies, M. Ablaßmeier, H. Bubb, W. Hamberger // Human-Computer Interaction. Ambient, Ubiquitous and Intelligent Interaction 13th International Conference, HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009. - Proceedings, Part III. - p 211-220
14. Vertand S., Vasiu R. Integrating linked data in mobile augmented reality applications / S. Vertand, R. Vasiu // International Conference on Information and Software Technologies ICIST 2014: Information and Software Technologies. – p. 324-333.
15. F. van Krevelenand D.W., Poelman R. Augmented reality: Technologies, applications, and limitations / D.W.F. van Krevelenand, R. Poelman // The International Journal of Virtual Reality.- 2010. – vol. 9(2).- p. 1-20.
16. Schurg T. Development and evaluation of interaction concepts for mobile augmented and virtual reality applications considering external controllers / T. Schurg.- Submitted to the Department of Computer Science at RWTH Aachen University. - 2015. – 108 p. [http://doi: 10.13140/RG.2.1.1689.0328](http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1689.0328)
17. Jain P., Manweiler J., Roy Choudhury R. Overlay: Practical mobile augmented reality / P. Jain, J. Manweiler, R. Roy Choudhury // Proceedings of the 13th Annual International Conferenceon Mobile Systems, Applications, and Services. ACM, 2015.- p. 331–344.
18. Best augmented reality SDK for AR development for iOS and Android in 2017 [Электронный ресурс]:- Блог компании Thinkmobiles. – Режим доступа: <https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review/>

В статье рассматривается прикладная задача создания программного модуля для визуализации трехмерных моделей. Приведен процесс отслеживания трехмерных объектов с использованием датчика гироскопа или акселерометра. Целью работы является исследование возможности создания такого приложения AR который смог бы работать на устройствах, которые не имеют в своем распоряжении всех компонентов для идеального

отображения дополнительной реальности и сравнения работы такого приложения на низкопродуктивных устройствах и высокопроизводительных. Полученные результаты продемонстрированы.
Ключевые слова. Дополнительная реальность, 3D визуализация, программирование мобильных приложений.

The article deals with the application task of creating a software module for visualizing three-dimensional models. The process of tracking three-dimensional objects using a gyroscope or accelerometer sensor is given. The purpose of the work is to explore the possibility of creating such an AR application that could work on devices that do not have all the components to perfectly reflect the additional reality and compare the work of such an application on low-performance devices and high-performance. The results are shown.

Keywords. Additional reality, 3D visualization, mobile application programming.

Відомості про авторів:

Яковенко Вадим Олександрович – д.т.н., професор кафедри інформаційних систем та технологій Університету митної справи та фінансів, контактний телефон: 097-677-66-81; e-mail: yakovenko@ua.fm

Ульяновська Юлія Вікторівна – к.т.н., доцент кафедри інформаційних систем та технологій Університету митної справи та фінансів, контактний телефон: 067-975-51-15; e-mail: yuliyauyv@gmail.com

Олещук Анастасія Олександрівна – студент кафедри інформаційних систем та технологій Університету митної справи та фінансів, контактний телефон: 050-638-87-27; e-mail: anastasia.10.20@ukr.net