

ОСОБЛИВОСТІ UI/UX АРХІТЕКТУРИ В ДОДАТКАХ ДОПОВНЕНОЇ (AR) ТА ВІРТУАЛЬНОЇ (VR) РЕАЛЬНОСТІ: ВІДСТЕЖЕННЯ ЖЕСТІВ ЗАМІСТЬ КЛАСИЧНОГО КЛІКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено специфіку проектування архітектури користувацьких інтерфейсів (UI/UX) для систем доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності. Особливу увагу приділено зміні парадигми взаємодії при переході від класичного графічного інтерфейсу (GUI) до просторового (Spatial UI). Проаналізовано інженерні виклики та методи заміни традиційної події «клік» на безконтактне відстеження жестів (Gesture Tracking), визначено ключові архітектурні патерни для обробки просторових подій та мінімізації ергономічних помилок.

Ключові слова: людино-машинна взаємодія, доповнена реальність, віртуальна реальність, просторовий інтерфейс, відстеження жестів, UI/UX архітектура, закон Фіттса.

Abstract

The paper analyzes the specifics of designing user interface (UI/UX) architecture for augmented (AR) and virtual (VR) reality systems. Particular attention is paid to the interaction paradigm shift during the transition from classical graphical user interface (GUI) to spatial interface (Spatial UI). The engineering challenges and methods of replacing the traditional "click" event with contactless gesture tracking are analyzed, and key architectural patterns for spatial event handling and ergonomics error minimization are defined.

Keywords: human-computer interaction, augmented reality, virtual reality, spatial UI, gesture tracking, UI/UX architecture, Fitts's law.

Вступ

Стрімкий розвиток апаратних рішень для роботи з просторовими обчисленнями (Spatial Computing), таких як сучасні гарнітури змішаної реальності та мобільні пристрої з сенсорами глибини, вимагає докорінного перегляду підходів до інженерії інтерфейсів. Традиційні патерни проектування програмного забезпечення, орієнтовані на мишу або тачскрін (WIMP-парадигма), виявляються неефективними в умовах тривимірного простору. Однією з найважливіших технологічних трансформацій є відмова від дискретного фізичного чи екранного «кліку» на користь природних інтерфейсів користувача (NUI), зокрема системи безконтактного відстеження жестів рук (Hand Tracking). Метою цієї роботи є аналіз та систематизація особливостей архітектурної побудови UI/UX шару в AR/VR додатках за умов використання систем трекінгу жестів, а також визначення закономірностей адаптації базових законів людино-машинної взаємодії до тривимірного простору.

Результати дослідження

Перехід від класичного маніпулятора до розпізнавання жестів за допомогою комп'ютерного зору змінює саму природу вхідних даних для програмної системи. На відміну від точних координат X та Y екранного курсора, трекінг рук оперує тривимірним масивом «кісток» та суглобів долоні, що генерує безперервний потік просторових координат з певним рівнем шуму та ймовірнісних похибок. З точки зору архітектури ПЗ, заміна «кліку» на жест вимагає впровадження проміжних шарів фільтрації та інтерпретації даних. Замість класичного патерну *Observer*, який просто слухає подію `onClick`, архітектура AR/VR додатків базується на складніших конвеєрах обробки подій, що включають шар сирих даних, шар аналізу та фільтрації (наприклад, із застосуванням фільтра Калмана для згладжування тремтіння рук), шар розпізнавання жестів та шар просторового променювання (Raycasting).

Комплексний порівняльний аналіз технічних характеристик обох парадигм взаємодії наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз характеристик подій взаємодії в GUI та Spatial UI

Параметр порівняння	Класичний клік (WIMP / GUI)	Просторовий жест (NUI / Spatial UI)
Природа вхідного сигналу	Дискретний (координати X , Y , статус кнопки)	Безперервний (3D-вектор суглобів долоні)
Рівень шуму даних	Абсолютно нівельований (детермінований)	Високий (залежить від освітлення та сенсорів)
Шари обробки в ПЗ	Безпосередній виклик події onClick	Послідовний конвеєр від фільтрації до розпізнавання та рейкастингу
Зворотний зв'язок	Фізичний (тактильний клік миші/екрана)	Синтетичний (динамічний аудіовізуальний фідбек)

Сучасні стандарти проектування просторових інтерфейсів наголошують, що найменший жест, такий як зведення великого та вказівного пальців (Pinch), потребує чіткого математичного детермінування меж та областей взаємодії [1].

Важливим аспектом проектування просторового UX є подолання проблеми відсутності тактильного зворотного зв'язку (Haptic Feedback). Оскільки користувач «клікає» по порожньому простору, архітектура інтерфейсу повинна компенсувати це посиленням візуальним та аудіо-фідбеком: зміною форми об'єкта, підсвічуванням або просторовим звуком під час наближення руки до елемента керування. Дослідження практичної реалізації таких систем у кросплатформних фреймворках (наприклад, Mixed Reality Toolkit) показують, що архітектура взаємодії має будуватися навколо тривимірних колайдерів та променів-інтеракторів, які забезпечують безперервний зворотний зв'язок [2]. Особливим інженерним викликом є усунення проблеми "Midas Touch" (дотик Мідаса), коли будь-який випадковий рух руки або фіксація погляду розпізнається системою як активна команда. Для нівелювання цього ефекту в архітектуру ПЗ закладаються часові затримки (Dwell-time) або багаторівневі моделі підтвердження наміру користувача [3]. Окрім цього, класичний закон Фіттса, який визначає час досягнення цілі залежно від її розміру та відстані, у тривимірних просторах доповненої реальності набуває додаткової координати глибини (Z). Для мінімізації втоми користувача, відомої як ефект «горилової руки» (Gorilla Arm syndrome), архітектура UI має динамічно адаптувати положення елементів у зоні комфортного досягнення, що детально описано в сучасних ергономічних рекомендаціях для розробників ПЗ [4].

Висновки

Проектування UI/UX архітектури для AR/VR з інтеграцією Hand Tracking замість класичного кліку зміщує фокус розробки ПЗ з дискретної обробки подій на безперервний аналіз просторових даних. Інженерам програмного забезпечення необхідно закладати в архітектуру додатків системи інтелектуальної фільтрації шуму сенсорів, використовувати багаторівневі моделі підтвердження жестів та компенсувати відсутність фізичного дотику динамічними аудіовізуальними методами зворотного зв'язку, що дозволить створювати ергономічні та надійні інтерфейси майбутнього [5].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Apple Inc. Designing for Spatial Input. Apple Developer Documentation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/spatial-input> (дата звернення: 15.05.2026).
2. Microsoft. MRTK3 Interaction Architecture and Hand Tracking. Mixed Reality Documentation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk3-overview/> (дата звернення: 18.05.2026).

3. Jacob R. J. K. What You Look at is What You Get: Eye Movement-Based Interaction Techniques. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/97243.97246> (дата звернення: 12.05.2026).
4. Google AR & VR. Designing Spatial Interfaces: Ergonomics and Comfort in XR. Google Developer Guides. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developers.google.com/ar/design> (дата звернення: 20.05.2026).
5. Bowman D. A., et al. 3D User Interfaces: New Directions and Perspectives. *IEEE Computer Graphics and Applications*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/journal/mcg> (дата звернення: 22.05.2026).

Ступак Аліна Сергіївна — студентка групи ЗПІ-25б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця. e-mail: alinastupak383@gmail.com

Науковий керівник: **Майданюк Володимир Павлович** – к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com.

Stupak Alina S. – student of group 3SE-25b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alinastupak383@gmail.com

Supervisor: **Volodymyr Maidaniuk** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.