

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

Тема наукової роботи: ЗАСОБИ ДРОТОВОГО ТА БЕЗДРОТОВОГО
УПРАВЛІННЯ У ВІДЕОІГРАХ

Виконав	_____	В. М. Левенець
Керівник роботи	_____	Ю. О. Кумченко
Нормоконтроль	_____	Д. І. Кузнецов
Завідувач кафедри	_____	А. І. Купін

Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Ступінь вищої освіти
Спеціальність

магістр
123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової комісії

_____ А. І. Купін

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____

керівник роботи _____,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 20__ року № ____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 100 сторінок, 70 рисунків, 11 таблиць, 34 використаних джерела.

Кваліфікаційна робота магістра складається з трьох розділів.

Перший розділ було присвячено визначенню поняття ігрових контролерів, областей та сфер їх використання. Проведено опис характеристик ігрових контролерів за якими вони відрізняються. Розглянуто тему підтримки ігрових контролерів для людей з обмеженими можливостями.

У другому розділі було розглянуто методи досліджень взаємодії користувача з контролером, що входять до стандарту ISO 9241-9 галузі HCI. Використано модель Макнамара та Кіраковські для дослідження індексу продуктивності Фіттса, індексу складності, пропускну здатності, часу переміщення, частоти виникнення похибки чотирьох типів контролерів. Описано обмежене і необмежене фізичне моделювання у відеоіграх. Розглянуто симуляцію руху часток і твердого тіла, виявлення зіткнень, моделювання реалістичних твердих об'єктів з застосуванням обмежень рівності та нерівності

Третій розділ присвячений застосуванню емуляторів ігрових контролерів. Визначено поняття емулятора може для вирішення відсутності підтримки між різними видами обладнання. У рамках кваліфікаційної роботи використано ПЗ емуляторів для імітації різних типів ігрового введення: vJoy Driver, Steering Wheel, Xbox360CE, WifiMouset a VoiceAttack.

					КНУ.РМ.123.22.11.Р					
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ			Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Левенець									
Перевірив	Кумченко									
Н.контроль	Кузнєцов							КІ-21м		
Затвердив	Купін									

ABSTRACT

Explanatory note: 100 pages, 70 figures, 11 tables, 34 used sources.

The master's qualification work consists of three sections.

The first section was devoted to the definition of the concept of game controllers, areas and areas of their use. A description of the characteristics of game controllers by which they differ is carried out. The topic of supporting game controllers for people with disabilities is considered.

In the second chapter, the research methods of user interaction with the controller included in the standard ISO 9241-9 of the field of HCI were considered. The McNamara and Kirakovsky model was used to study the Fitts performance index, complexity index, throughput, travel time, and error rate of four types of controllers. Constrained and unrestricted physics modeling in video games is described. Simulation of particle and solid motion, collision detection, simulation of realistic solid objects using equality and inequality constraints are considered

The third section is devoted to the use of game controller emulators. The concept of an emulator can be defined to solve the lack of support between different types of equipment. As part of the qualification work, emulator software was used to simulate various types of game input: vJoy Driver, Steering Wheel, Xbox360CE, WifiMouse, and VoiceAttack.

6
ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Пристрої управління у відеоіграх і симуляторах.....	11
1.1 Ігрові контролери	11
1.2 Геймпад	16
1.3 Клавіатура та миша	19
1.4 Ігрове кермо	25
1.5 Трекери для очей	27
1.6 Контролери віртуальної реальності	30
1.7 Контролери для людей з обмеженими можливостями	35
Висновки за розділом.....	40
2 Оцінка взаємодії контролерів і ігрове моделювання.....	41
2.1 Оцінка взаємодії користувача з контролером	41
2.2 Необмежене фізичне моделювання у відеоіграх	58
2.3 Обмежене фізичне моделювання у відеоіграх	64
2.3.1 Обмеження рівності в динаміці тіл	65
2.3.2 Обмеження нерівності в динаміці тіл	69
2.4 Динаміка на основі імпульсів	71
Висновки за розділом.....	74
3 Застосування емуляторів ігрових контролерів	75
3.1 Загальне поняття емулятора.....	75
3.2 Емулятор ігрового керма на основі драйвера vJoy	75
3.3 Емулятор геймпада Xbox360CE	83
3.4 Емулятор миші і клавіатури WirelessMouse.....	86
3.5 Управління голосовими командами VoiceAttack	91
Висновки за розділом.....	94
Висновки	95
Список використаних джерел	98

					КНУ.РМ.123.22.11.3			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Левенець							
Перевірив	Кумченко							
Н.контроль	Кузнецов					КІ-21м		
Затвердив	Купін							

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ПК – персональний комп'ютер;
 ОС – операційна система;
 ЦП – центральний процесор;
 ПЗ – програмне забезпечення;
 ІЧ – інфрачервоний;
 ОДЗ – область допустимих значень;
 ППЗ – пропускна здатність;
 ЧП – час переміщення;
 API – Application Programming Interface (прикладний програмний інтерфейс);
 VR – Virtual Reality (віртуальна реальність);
 AR – Augmented Reality (доповнена реальність);
 IoT – Internet of Things (інтернет речей);
 DoF – Degrees of Freedom (ступені свободи);
 HCI – Human-Computer Interaction (людино-машинна взаємодія);
 FA – Feeder Application (додаток введення).

ВСТУП

Індустрія комп'ютерних ігор розвинулася в величезну галузь зі значними щорічними доходами в кілька мільярдів доларів. Зростання популярності віртуальних розваг відбулося завдяки доступності та широкому розповсюдженню комп'ютерних технологій, та розвитку мережі Інтернет. Завдяки цьому комп'ютерні ігри доступні для кінцевого користувача і використовуються для проведення в них вільного часу для розваг, навчання, знайомств тощо.

Для того, щоб пограти користувачеві необхідно мати персональний комп'ютер або ігрову консоль та власне копію самої гри, а з широким розповсюдженням мережі Інтернет заради отримання гри навіть не потрібно виходити з дому, для придбання її фізичної копії. Більш того, користувач не повинен знати всіх аспектів гри для того, щоб в неї грати, більшість ігор навчають користувача по ходу гри, що дуже зручно.

Презентаційні можливості ігрових платформ різко зросли за останні двадцять років, і велика частина пов'язаних з ними досліджень була зосереджена на аспектах управління у відеоіграх. Ігровий контролер і те, як цей контролер підтримується в грі, можуть мати значний вплив на ігровий досвід гравця. Важливо, щоб гравці відчували контроль над інтерфейсом гри та пов'язаними елементами керування грою. Володіння системою управління є важливою частиною більшості ігор.

Традиційно відеоігри розроблялися для роботи зі стандартизованими специфічними для платформи контролерами, наприклад, кожна ігрова консоль має відповідний стандартизований дизайн контролера. Після проведених досліджень в області відеоігор, було визнано, що управління є однією з найскладніших областей, в яких можна впроваджувати інновації. Більшість ігор використовують консервативний підхід і дотримуються рекомендацій щодо контролерів, рекомендованих для своїх цільових платформ. Комп'ютерні ігри останнім перестали позиціонуватися, як програми для відпочинку і розваг. На сьогоднішній день завдяки використанню ігрових технологій, створюються спеціальні комплекси для симуляції різних видів діяльності, що служать для навчання фахівців в різних сферах.

					КНУ.РМ.123.22.11.ВС			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив	Левенець				ВСТУП	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Кумченко							
Н.контроль	Кузнецов					КІ-21м		
Затвердив	Купін							

Актуальність роботи. Ігровий контролер і те, як він підтримується в грі, має значний вплив на ігровий досвід гравця. Останнім часом зростає кількість досліджень HCI, зосереджених на вплив контролерів, на досвід користувача. В рамках кваліфікаційної роботи проведено дослідження функціональності, зручності використання та користувацького досвіду різних типів контролерів для оцінки контролера в відеоіграх. Це дослідження підкреслює не тільки потребу в кращому розумінні користувацького досвіду з ігровими контролерами, але також потребу у вдосконаленні дизайну, ергономіки, продуктивності та пропускну здатності сучасних контролерів.

Методи введення в іграх продовжують покладатися на керування двома руками за допомогою геймпада або клавіатури та миші для одночасного керування рухом та діями камери. Ручне введення створює значну перешкоду для людей з обмеженими можливостями. У кваліфікаційній роботі представлено альтернативні контролери, що дозволяють керування в відеоіграх спеціальними методами введення.

Актуальність роботи полягає в тому, що все більше розробників додають підтримку нових та інноваційних контролерів у свої ігри. Включення підтримки нових контролерів в ігри дає можливість покращити ігровий досвід, увімкнувши стилі взаємодії, які неможливі за допомогою стандартних контролерів. Підтримка контролерів має бути ретельно спланована та розроблена, а також оцінена їхня продуктивність.

Зараз дуже актуально використовувати підтримку всіх типів контролерів у розроблюваних іграх, включаючи стандартні та альтернативні, щоб покращити користувацький досвід і дати можливість користувачам з різними можливостями насолоджуватися відеоіграми.

В сучасних ігрових платформах реальна симуляція стала важливою технологією. Кваліфікаційна робота також стосується проблеми динаміки твердого тіла. Представлено способи реалізації концепцій руху твердих тіл: динаміка тіл абсолютно не обмежених в русі – фізичне моделювання без зіткнень; рух з дією зовнішніх сил на тверде тіло – моделювання руху тіла у відповідь на обмежувальні сили; проблема обмеження руху, для заборони взаємопроникнення тіл; динаміка руху тіл на основі імпульсів. Наведено фізичні обчислення відповідних сил та імпульсів між контактуючими тілами.

Використання апаратного або програмного забезпечення, яке наслідую функціональність іншої комп'ютерної системи – емулятора. Емулятори використовуються для вирішення відсутності підтримки між різними видами обладнання.

У рамках кваліфікаційної роботи емулятор стосується програмного забезпечення, яке використовується для того, щоб імітувати альтернативний тип ігрового контролера для гри на ПК або хмарному сервісі. Представлено емулятори різних типів контролерів: vJoy Driver, Xbox360CE, Wireless Mouse.

Мета і завдання дослідження. Основною метою дослідження є оцінка взаємодії користувачів з контролерами, використання фізичного моделювання в відеоіграх, застосування емуляторів ігрових контролерів.

Серед головних завдань дослідження є такі: визначити основні параметри оцінки взаємодії з контролерами; розрахувати динаміку твердих тіл; розглянути необмежене та обмежене фізичне моделювання в відеоіграх; розглянути динаміку руху на основі імпульсів; протестувати емуляторів контролерів для комп'ютера.

Об'єкт дослідження – процеси дротового та бездротового управління у відеоіграх з використанням контролерів.

Предмет дослідження – методи, моделі та засоби дротового та бездротового управління у відеоіграх.

Методи досліджень: за допомогою системного аналізу, емпіричного спостереження, аналітичних методів, методу порівняння та експерименту проведено збір даних та оцінку параметрів взаємодії різних типів ігрових контролерів з користувачем.

Наукова новизна одержаних результатів. Вдосконалено метод визначення послідовності дослідження впливу контролерів на функціональність, зручність використання та користувацький досвід.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження можна доповнювати та використовувати для розробки контролерів і відеоігор, які будуть підтримувати альтернативні контролери, що сприятиме покращенню зручності використання та користувацького досвіду.

Апробація роботи. Основні положення і результати магістерської роботи розглянуто на XIV всеукраїнській науково-практичній WEB конференції аспірантів, студентів та молодих вчених «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі» KICM-2021 на базі Криворізького національного університету.

1 ПРИСТРОЇ УПРАВЛІННЯ У ВІДЕОІГРАХ І СИМУЛЯТОРАХ

1.1 Ігрові контролери

Ігровий контролер – це пристрій введення, що використовується для керування відеогрою. Контролер зазвичай підключається до ігрової консолі або комп'ютера. Ігровий контролер це будь-який пристрій, призначений для відеоігор, що може отримувати та передавати вхідні дані (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Пристрої введення у відеоіграх

Також існують контролери спеціального призначення, такі як кермо для водіння в іграх, моделі зброї для використання в симуляторах тощо (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Спеціальні контролери для ігор і симуляторів

					КНУ.РМ.123.22.11.01.ПУВС			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПРИСТРОЇ УПРАВЛІННЯ У ВІДЕОІГРАХ І СИМУЛЯТОРАХ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Левенець							
Перевірив	Кумченко							
Н.контроль	Кузнецов					КІ-21м		
Затвердив	Купін							

Ігровий контролер являється пристроєм введення, оптимізованим для використання у відеоіграх. Вони не стандартизовані за конфігурацією та функцією, тому можуть мати різну форму, розмір, призначення тощо. Деякі ігрові контролери розташовуються на робочому столі. Інші закріплюються на поверхні, або їх просто тримають обома руками й безпосередньо ними маніпулюють. Ігровими контролерами можуть виступати джойстик, геймпад, кермо, штурвал для польоту, ножні педалі або інші модифіковані під певні потреби контролери [1].

Таблиця 1.1 – Опис характеристик ігрових контролерів

Характеристика	Опис
Тип контролера	Контролери з джойстиками, досі популярні й найбільше підходять для гри в симулятори польоту. Деякі з них незначно придатні для водіння, бойовиків і спортивних ігор. Контролери керма, багато з яких включають ножні педалі, ідеально підходять для ігор водіння і деяких симуляторів польоту, але погано підходять для інших ігор. Контролери геймпадів підходять для екшн-ігор, зокрема шутерів від першої особи, спорту та аркадних ігор.
Кількість осей	Ось – це лінія, проведена через центр контролера, яка визначає напрямки, у яких можна рухатися, маніпулюючи елементами керування. Усі контролери мають ось X (переміщення збоку в бік) і ось Y (рух вперед і назад). Деякі контролери мають ось Z (рух вгору та вниз). Залежно від типу контролера, третя та/або четверта ось також можуть використовуватися для керуванням штурвалом або кермом.
Дросель	Дросель – це спеціальний пристрій введення, присутній на більшості джойстиків і деяких ігрових панелях. Дросель використовується для керування швидкістю автомобіля та може бути слайдером, колесом, педаллю або змінним перемикачем, залежно від контролера.
Тип відповіді	Рух уздовж осі можна відстежувати двома способами. Пропорційна реакція забезпечує більш точне керування, оскільки невеликі рухи ручки призводять до невеликих поступових рухів на екрані.

Продовження таблиці 1.1

Характеристика	Опис
	Непропорційна реакція – будь-який рух елемента керування вздовж осі призводить до повного руху по цій осі, що забезпечує швидшу реакцію за рахунок точного керування. Деякі контролери можна програмувати, щоб дозволити вибір між пропорційним і непропорційним режимами.
Кількість кнопок	Усі контролери мають різну кількість кнопок, деякі є перемикачами з миттєвим увімкненням, що можуть використовуватися, щоб стріляти зі зброї, а інші виконують функції ввімкнення/вимкнення.
Аналоговий стік	Стік, зазвичай знаходиться на головці джойстика, де ним легко керувати великим пальцем. Стік – це поворотний перемикач (чотиристоронній, іноді восьмисторонній), який дозволяє швидко змінювати напрямлення камери. Якщо стік не потрібен для руху камери, його можна налаштувати для додавання чотирьох додаткових кнопок.
Фізичний зворотний зв'язок	Останні ігрові контролери високого класу мають технологію зворотного зв'язку, яка використовує маленькі сервоприводи, вбудовані в сам ігровий контролер, щоб забезпечити фізичний зворотний зв'язок під керуванням ігрового програмного забезпечення. Добре реалізований фізичний зворотний зв'язок значно покращує атмосферу гри, що підтримує його.
Програмованість	Усі ігрові контролери містять драйвери DirectInput або сумісні зі стандартними драйверами ОС Windows. Контролер, сумісний з DirectInput, можна запрограмувати для будь-якої відеогри, сумісній з цією технологією. Однак вона надає лише базові функції, тому багато контролерів постачаються з власним програмним забезпеченням для програмування, яке забезпечує розширену функціональність.

Продовження таблиці 1.1

Характеристика	Опис
Налаштування функцій	Програмовані ігрові контролери дозволяють перевизначати функції кнопок, щоб одна і та сама кнопка могла виконувати різні дії під час гри в ігри різних жанрів.
Збереження профілів	Багато сучасних ігрових контролерів можуть використовуватися з різними іграми. Однак оптимальна конфігурація контролера для однієї гри може бути менш бажаною для іншої. Контролери можуть зберігати кілька наборів налаштувань, які називаються макросами або профілями, що дозволяє швидко завантажувати налаштування, які найбільш підходять для певної гри, замість того, щоб щоразу перепрограмувати контролер вручну. Більшість таких контролерів мають попередньо визначені налаштування [2].

На сьогодні використання ігрових контролерів дуже поширено. Для огляду масштабності, використано дані сервісу цифрового розповсюдження відеоігор Steam. Серед всіх користувачів, 48 мільйонів використовують контролер у відеогрі, причому близько 10% щоденних сесій вони грають за допомогою контролера.

На рисунку 1.3 зображено кількість гравців, що використовують різні типи контролерів в період 2020-2021 років. Графік відображає різноманітність контролерів, що мають повну підтримку в більшості ігор та є частим вибором.

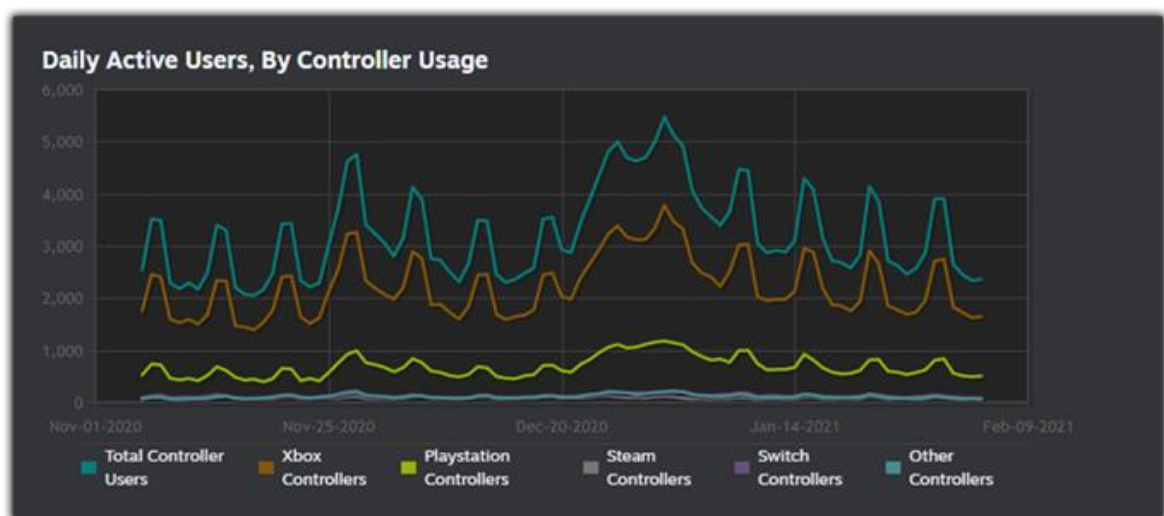


Рисунок 1.3 – Кількість гравців залежно від типу контролера

Звичайно, використання контролера не розподіляється рівномірно між усіма типами ігор. У ігри жанру RTS важко грати з будь-яким контролером, через обмеженість функціоналу, використання контролеру в них менше 1%. У спортивних іграх і файтингах більше 70% сеансів грають за допомогою контролера, а такі як ігри гонки та скейтинг можуть мати понад 90% гравців, які використовують контролер. У більшості пригодницьких ігор від 3-ї особи 40-50% гравців використовують контролер, а шутери від першої особи налічують 7-8%.

У таблиці 1.2 наведено розподіл використання контролерів за типом та відсоток сесій з контролерами які використовують сервіси Steam Input.

Таблиця 1.2 – Кількість сесій з різними типами контролера

Тип контролеру	Загальна кількість сесій	Відсоток сесій	Сесії з сервісами Steam Input	Відсоток сесій Steam Input
Всі типи	379 410	-	167 828	44%
Xbox controller	256 110	68%	44 694	17%
PlayStation controller	80 234	21%	80 140	99%
Steam controller	8 834	2%	8 834	100%
Switch controller	14 472	4%	14 443	99%
Інші типи	13 446	4%	13 403	99%

З отриманих даних видно, що більшість сесій (68%) проводяться з використанням контролерів Xbox, які підтримуються більшістю відеоігор. Розробникам досить легко додати підтримку контролера Xbox тому, що вона вбудована в багато ігрових движків. Але лише невеликий відсоток (17%) сесій Xbox використовує сервіси Steam Input через те, що більшість гравців дотримуються стандартного функціоналу контролера Xbox, вбудованого в ігровий движок.

Проте 21% використання контролерів припадає на контролери PlayStation, і майже всі (99%) цих сесій обслуговуються сервісами Steam Input. Це означає, що відеогра покладається на Steam для підтримки контролерів PlayStation через емуляцію або інтеграцію Steam Input API [3].

Контролери використовуються для керування рухом або діями елементів у відеоіграх або симуляторах. Керований елемент залежить від жанру гри, але типовим буде ігровий персонаж.

Існують два види контролерів: дротові і бездротові. Кожен має свої переваги і недоліки. Наявність бездротового контролера означає, що в консолі або ПК, що використовується, задіяно менше портів. Однак наявність бездротового контролера означає, що необхідно встановлювати з ним з'єднання, що може викликати додаткові незручності, ніж просте дротове підключення. На додаток дротовий контролер може отримувати живлення від системи, тоді як бездротові контролери повинні перезаряджатися або мати змінний акумулятор. Тому після тривалих сесій потрібна підзарядка або система ротації для акумуляторів, щоб грати скільки завгодно.

1.2 Геймпад

Геймпад – це тип ігрового контролера, який тримають обома руками і часто використовується для відеоігор разом із консоллю або ПК. Геймпади, як правило, мають набір кнопок дій, якими керують великим пальцем правої руки, і контролер напрямку, який керується лівою [4]. Зовнішній вигляд геймпада зображено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Вигляд сучасних геймпадів

Геймпад, мабуть, найбільш недооцінений компонент ігрових консолей. Без нього консоль є безсилим блоком апаратного введення для дисплею. Отже, незважаючи на функціонал ігор наступного покоління, саме геймпад являється важливим засобом для ігрового досвіду. Ігровий контролер втілює саму суть ігрового середовища; вводить інтерфейс взаємодії з користувачем.

Більшість сучасних ігрових контролерів є різновидом геймпада. Деякі поширені доповнення до стандартного геймпада включають плечові кнопки, розміщені вздовж верхніх країв, центрально розташовані кнопки запуску,

вибору та режиму, а також внутрішній мотор для забезпечення вібровіддачі. Це дозволяє йому керувати рухом ігрових елементів у трьох вимірах, за допомогою багатьох кнопок для виконання швидких дій. Завдяки простоті використання та точності геймпадів, вони поширилися від традиційних консолей, де вони виникли, до комп'ютерів як пристрою введення [5].

Загалом геймпад налічує 13 кнопок, 2 тригери та 2 джойстики – стіки. Для кнопок швидкого доступу використовується комбінація мембранних контактів розміщених на платі, а також впаяних мікроперемикачів для інших кнопок. Набір елементів управління на моделі геймпаді зображено на рисунку 1.5.

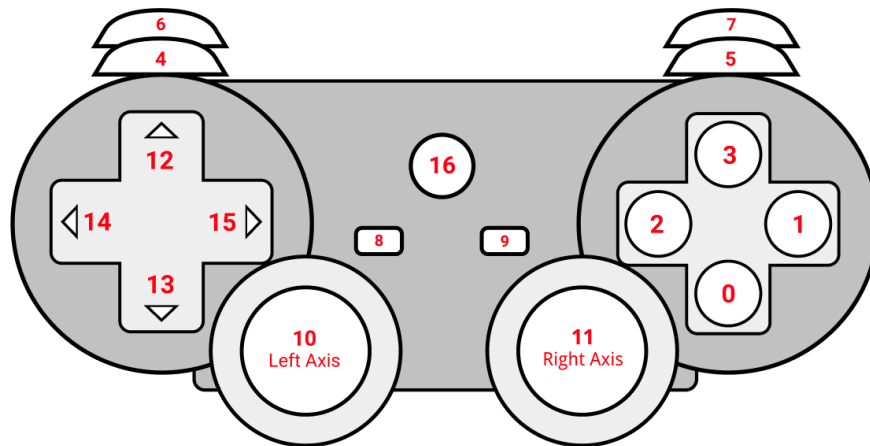


Рисунок 1.5 – Модель геймпада з елементами управління

Набір кнопок розміщений справа зазвичай керується великим пальцем правої руки, а регулятором напрямку – лівої. Контролер напрямку традиційно був чотиристоронньою цифровою хрестовиною (альтернативно D-pad), але більшість сучасних геймпадів також включають один або більше аналогових стіків.

Плечові кнопки (англ. bumpers) і тригери, розташовані вздовж країв верхньої панелі. Плечові кнопки LB/RB зазвичай цифрові та виконують функцію увімкнення/вимкнення, а тригери LT/RT зазвичай аналогові. Розташовані по центру кнопки: «Start», «Select» і «Home». Аналогові тригери чутливі до тиску і в відеогрі можуть використовувати силу натискання, щоб контролювати інтенсивність певної дії [6]. Набір елементів управління на геймпаді Xbox One S зображено на рисунках 1.6, 1.7.

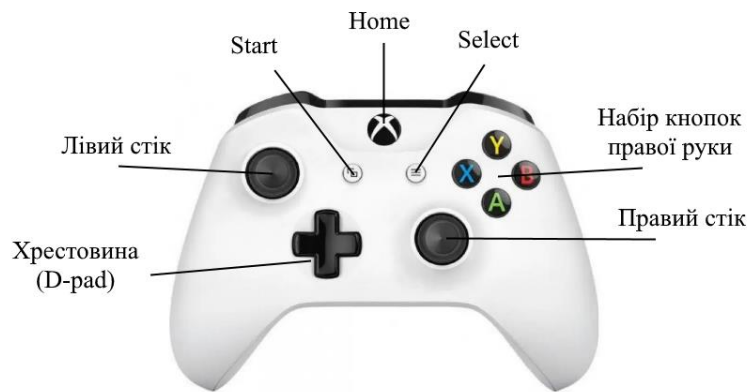


Рисунок 1.6 – Елементи управління на передній панелі геймпада



Рисунок 1.7 – Елементи управління на задній панелі геймпада

Геймпади також можуть мати можливість програмування, за допомогою якої можна запрограмувати його для імітації введення з клавіатури. Такий функціонал було додано, щоб компенсувати відсутність підтримки геймпада в деяких комп'ютерних іграх [7]. Програмне забезпечення для програмування зображено на рисунку 1.8.

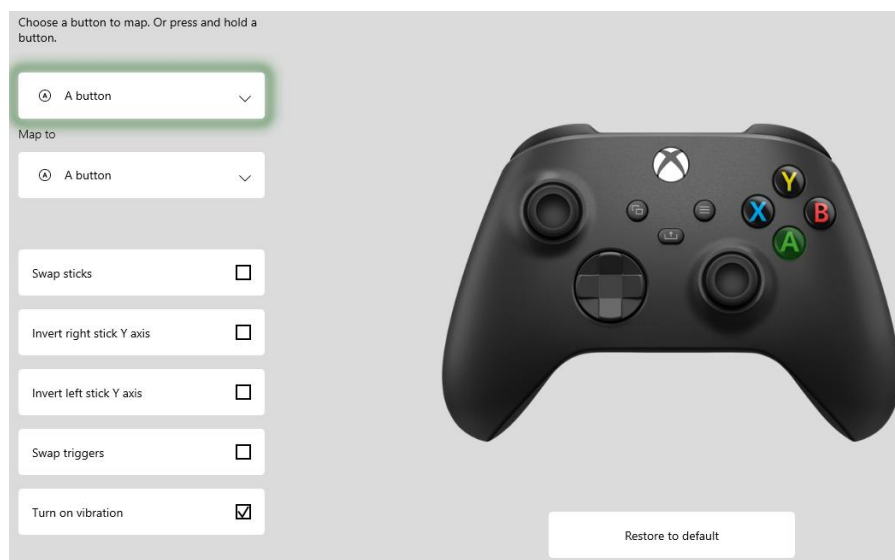


Рисунок 1.8 – Програмування елементів управління геймпада

Враховуючи кількість рухомих і м'яких гумових частин у геймпадах, можна очікувати, що після тривалого використання деякі кнопки з часом стануть менш чутливими через пом'якшення гумових частин, які з'єднують зовнішню кнопку з інтегральною схемою. Зовнішні корпуси джойстиків можуть тріснути, якщо використовувати їх занадто часто. Це головна проблема всіх дешевих ігрових контролерів.

Ігрові контролери змінюються та вдосконалюються з кожним поколінням консолей. Зростаюча кількість осей і кнопок, яких вимагають відеоігри та симулятори, лишили багато ігрових контролерів непридатними. Кінець певного покоління консолей зазвичай означає і кінець покоління певного виду ігрових контролерів [8]. Зміну поколінь контролерів наведено на рисунку 1.9.

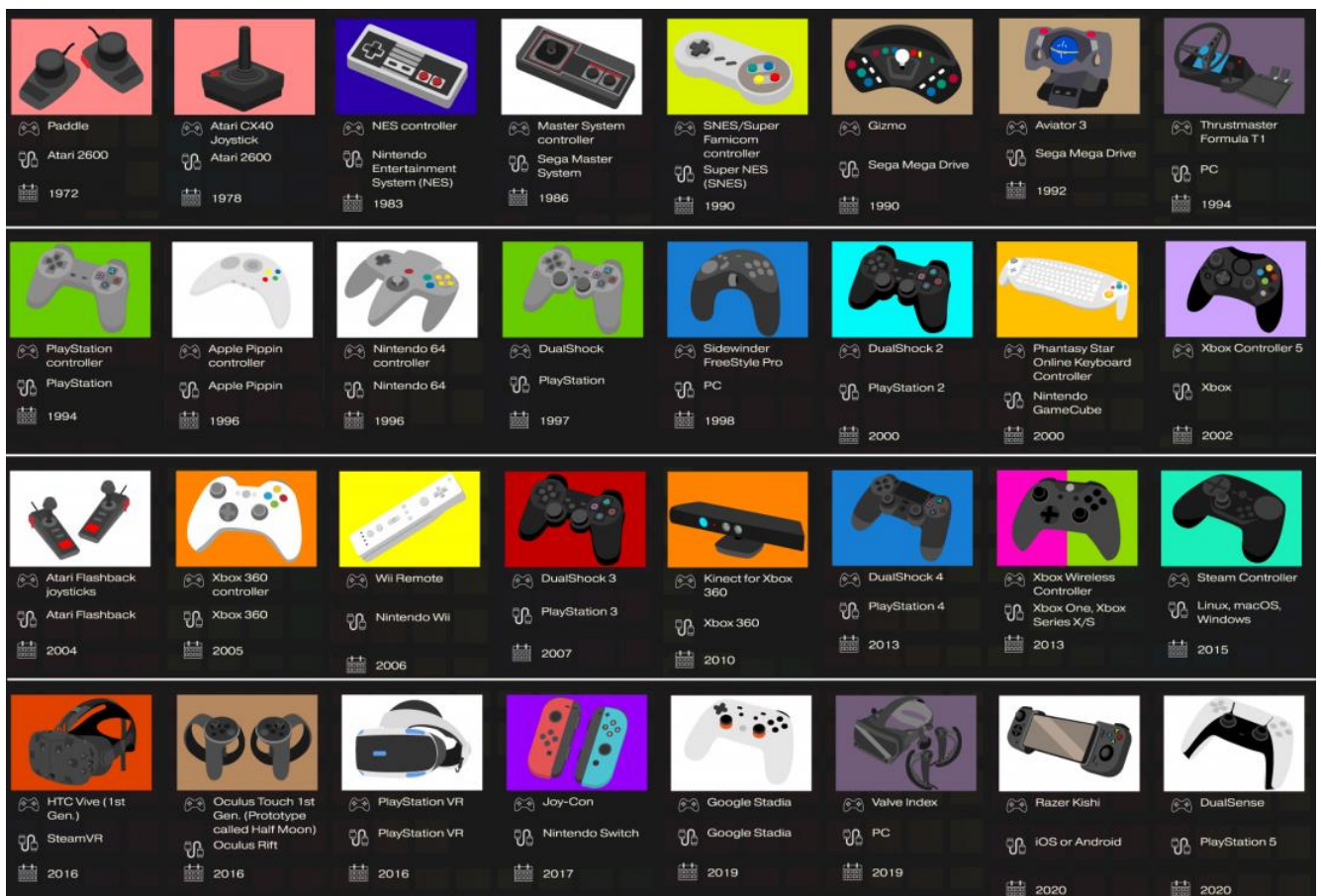


Рисунок 1.9 – Покоління ігрових контролерів 1972-2020 рр.

1.3 Клавіатура та миша

Клавіатура – одна з найважливіших частин комп'ютера, яка використовується для введення команд, тексту, числових даних та інших типів даних шляхом натискання клавіш. Хоча клавіатура спочатку не була

розроблена для відеоігор, на відміну від геймпадів, все одно було внесено багато змін у її базовий дизайн, щоб він краще підходив для ігор [9]. Зміни в дизайні клавіатури наведено на рисунках 1.10, 1.11.



Рисунок 1.10 – Стандартна комп'ютерна клавіатура



Рисунок 1.11 – Ігрова комп'ютерна клавіатура Logitech

Ігрова клавіатура зазвичай більш компактна та має RGB-підсвітку, до якої необхідно звикнути при переході з стандартної. Дана клавіатура, безумовно, краще розроблена для відеоігор, що значно покращує досвід користувача. Головна увага приділяється тому, щоб швидкість реакції від натискання клавіш була максимально швидкою та точною, що дуже важливо у відеоіграх. Поряд з деякими іншими функціями, ця клавіатура має добре розроблений пристрій інтерфейсу для ігор та інших задач, на розвиток яких знадобилося багато років. Це показує значний вплив відеоігор на дизайн різноманітних комп'ютерних технологій.

Вибираючи між ігровою та звичайною клавіатурами, слід враховувати кілька ключових факторів. По-перше, ігрові клавіатури зазвичай мають більше функцій і можливостей налаштування, ніж звичайні клавіатури. Це може бути як плюсом, так і мінусом, оскільки це може зробити ігрові клавіатури дорожчими та ускладнити використання для щоденних завдань.

По-друге, ігрові клавіатури часто мають кращу якість збірки та довговічніші перемикачі клавіш, ніж звичайні клавіатури. Це може бути великою перевагою для геймерів, яким потрібна клавіатура, яка прослужить роки інтенсивного використання. Також ігрові клавіатури зазвичай мають кращу підтримку програмного забезпечення, ніж звичайні клавіатури. Це може бути великим плюсом для геймерів, які хочуть мати можливість налаштувати свою клавіатуру відповідно до своїх потреб [10].

З розвитком змагальних відеоігор зростає попит на ігрові клавіатури та ігрові миші. Отримання ідеальних параметрів для пристроїв введення однозначно вплине на продуктивність роботи, а також користувацький досвід.

Ігрова клавіатура є важливою частиною комп'ютера, яку потрібно мати для гри в відеоігри. Клавіатури бувають різної якості та дизайну. Більшість стандартних клавіатур швидко зношуються від частих ігрових сесій [11]. Тому існує ряд факторів, які необхідно враховувати, при виборі ігрової клавіатури:

1. Розмір клавіатури – розмір клавіатури залежить від рівня комфорту користувача. Якщо потрібна цифрова панель на клавіатурі, то знадобиться повнорозмірна клавіатура. Однак клавіатура без цієї панелі, підходить для розміщення на обмеженому просторі та дозволяє тримати мишу ближче.

2. Технологія клавіатури – існує дві основні технології: мембранні та механічні клавіші. Геймери віддають перевагу механічним клавіатурам перед завдяки їх швидкості та довговічності. У механічних клавіатурах сила спрацьовування залишається постійною, що підвищує точність при натисканні клавіш. У мембранній клавіатурі сила спрацьовування є змінною і вони набагато зручніші при натисканні.

3. Підсвітка клавіш – не всі ігрові клавіатури мають підсвітку. Є два види підсвічування: RGB та LED. Клавіатури з LED підсвічують клавіші одним кольором, тоді як підсвітка RGB дозволяє змінювати колір.

4. Тип підключення – бувають дротові або бездротові клавіатури. Бездротові клавіатури використовують Bluetooth, для підключення, тоді як дротові клавіатури підключаються безпосередньо до комп'ютера через USB кабель. Бездротова клавіатура вимагає підзарядки акумулятора, а також може мати легку затримку введення.

5. Якість зборки – клавіші можуть бути виготовлені з PBT або ABS пластику. Геймери віддають перевагу ковпачкам PBT, тому що вони більш стійкі до зношення, не стають глянцевиими та фізично міцніші.

6. Ціна – клавіатури з додатковими функціями дорожчі, ніж без них. Залежно від потреб користувача можна вибрати, які функції потрібні [12].

Таблиця 1.3 – Порівняння ігрових клавіатур

Назва	Розмір, см	Технологія клавіатури	Підсвітка	Тип підключення	Ціна, \$
Logitech G213	45x22	Мембранна	RGB	USB	40
HyperX Alloy	44x13	Механічна	RGB	USB	60
Ducky One 2	33x15	Механічна	RGB	USB	150
Motospeed GK82	35x13	Механічна	LED	Bluetooth	62
Logitech K780	38x16	Мембранна	-	Bluetooth	123

При виборі кращої клавіатури найважливішим параметром була наявність підсвітки для роботи вночі, а також наявність бездротового підключення. Клавіатури Logitech K780 та Motospeed GK82 мають можливість бездротового підключення до ПК, що робить їх зручними у використанні. Але Logitech K780 не має підсвітки і має зависоку ціну. Працювати в темряві з такою клавіатурою буде неможливо, тому найкраща ігрова клавіатура з необхідними параметрами та невисокою ціною – Motospeed GK82.

Комп'ютерна миша – це пристрій введення, який використовується з комп'ютером. Переміщення миші допомагає переміщати курсор до різних елементів на екрані. Елементи можна переміщувати або вибирати, натискаючи кнопки миші [9].

Звичайна миша використовує оптичні сенсори для зміни положення курсора. Вона оснащена лише трьома кнопками: правою кнопкою, лівою кнопкою та кнопкою прокрутки. Ці кнопки виконують лише функції, які закріплені ними заводом-виробником.

Звичайна миша не має модульних частин, і користувач не може збільшити або зменшити вагу миші відповідно до його вимог. Звичайні миші використовуються лише для базових задач серфінгу та перегляду. При появі необхідності використовувати їх для відеоігор технології миші стали вдосконалюватися, щоб покращити користувацький досвід.

Вигляд звичайної комп'ютерної миші наведено на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Звичайна комп'ютерна миша

Ігрова миша використовує лазерні сенсори для досягнення високої роздільної здатності, збільшення чутливості ігрової миші. Вона не обмежується трьома кнопками, як у звичайної миші, а може мати велику кількість кнопок, яким користувач може призначати власні функції.

Новітні ігрові миші складаються з модульних частин, наприклад, залежно від розміру руки за допомогою цих частин можна підібрати відповідний розмір миші. Також можна регулювати вагу ігрової миші, яка може мати різні модульні частини, при знятті яких зменшується вага.

Ігрові комп'ютерні миші нерідко мають різні режими DPI, тобто швидкість, з якою курсор переміщується на екрані відносно реального руху. Це дозволяє користувачу відчувати себе комфортніше у виборі, яку швидкість курсору вони хочуть мати у відеоіграх. Також в ігровій миші присутні різні типи підсвітки [13]. Сучасну ігрову мишу зображено на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Ігрова комп'ютерна миша Logitech

Комп'ютерну мишу слід обирати залежно від стилю гри користувача та її зручності у використанні. Геймери можуть грати в ігри за допомогою звичайної миші, але досвід від гри буде гіршим, ніж при використанні ігрової.

На ринку існує багато видів ігрових комп'ютерних мишок, і те, що найкраще може підійти користувачеві також залежить від типу ігор, та їх особистих уподобань [11]. Загальні фактори на які слід звернути увагу, при виборі ігрової комп'ютерної миші:

1. Стиль гри – вимоги до ігрової миші залежать від типу гри. Відеогра, визначатиме функції, які мають бути найважливішими для ігрової миші. Наприклад, для RTS і ММО знадобляться додаткові кнопки, яким можна призначити альтернативні функції і макроси. Для FPS в свою чергу, необхідна висока точність та швидке відстеження положення.

2. Тип сенсора – визначення найкращого датчика для залежить від ваших уподобань користувача. Існують лазерні та оптичні сенсори. Оптичні сенсори надають користувачу швидке відстеження положення. Крім того, на відміну від лазерної миші, оптична не схильна до затримок.

4. Додаткові кнопки – більшість ігрових мишок мають додаткові кнопки, які можна запрограмувати для виконання різних функцій у грі. Кількість кнопок може коливатися від двох до дванадцяти, а розташування кнопок буде різним залежно від моделі.

5. Чутливість – показник DPI (Dots per Inch), CPI (Counts per Inch), це одиниця для вимірювання чутливості миші або того, наскільки рухається курсор після переміщення миші на дюйм. Вищий показник DPI означає, що миша більш чутлива, і легкий рух перетворюється на різкий курсору на екрані. Менший показник DPI дозволяє точніше націлюватися, оскільки невеликі рухи миші ледве реєструються.

6. Частота запитів – миша повідомляє комп'ютеру дані, про її позицію. Вона робить це до кількох разів на секунду. Вища частота запитів означає, що комп'ютер швидше реагуватиме на рухи миші. Але чим вище частота запитів миші тим інтенсивнішим буде навантаження для ЦП, що може спричинити затримку в системі.

7. Максимальна швидкість відстеження – стосується того, наскільки швидко можна рухати мишу, зберігаючи точне відстеження її руху, вимірюється в дюймах на секунду. Чим нижчий показник DPI, тим меншою буде максимальна швидкість відстеження.

8. Стил ь захоплення – ігрова миша може бути двосторонньою або ергономічною. Двостороння миша створена для легкого використання незалежно від того, яка рука домінуюча. Ергономічні миші створені з урахуванням правої руки та мають форму, щоб зручно розмістити руку.

9. Тип підключення – існують варіанти дротових і бездротових ігрових мишок. Дротові миші передають сигнали набагато швидше, ніж бездротові, тому затримка мінімальна. Бездротова миша запровадить затримку, буде викликати поганий користувацький досвід в напружених іграх із швидким рухом.

10. Вага – більшість користувачів віддають перевагу легшим мишам, але деякі комп'ютерні миші постачаються з невеликими вагами, які можна додавати або знімати за потреби, щоб змінити масу миші.

11. Підсвітка – затребувана функція в ігрових аксесуарах. Миші містять світлодіоди, вбудовані в корпус у різних місцях, щоб надати привабливого та естетичного вигляду системі. Більшість ігрових мишок мають RGB-підсвітку [14].

Порівняння ігрових мишок наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Порівняння ігрових комп'ютерних мишок

Назва	Вага, г	Чутливість, DPI	Підсвітка	Тип підключення	Ціна, \$
Logitech G Pro	80	16000	LED	Bluetooth	137
Razer Viper	74	20000	RGB	Bluetooth/USB	150
SteelSeries Rival 3	86	8500	RGB	USB	40
Pro X Superlight	63	25400	-	Bluetooth	183
Xtrfy M42	67	16000	RGB	USB	93

При виборі кращої ігрової миші найважливішим параметром була можливість бездротового використання, невелика вага та підсвітка для гри вночі. Ігрові миші Logitech G Pro, Razer Viper та Logitech Pro X Superlight мають бездротове підключення, але Pro X Superlight не має підсвітки, Logitech G Pro не має вбудованого акумулятора та працює від батарейок. Отже, найкраща бездротова ігрова мишка з необхідними параметрами – Razer Viper.

1.4 Ігрове кермо

Ігрове кермо – це пристрій введення для використання в відеоіграх пов'язаних з керуванням авто. Зазвичай вони комплектуються великим контролером у вигляді керма, набором педалей, а також елементами керування передачею. Кермо і педалі, дозволяють користувачеві точно керувати кутом повороту авто та керувати прискоренням і гальмуванням, що відображає реальне керування автомобілем в симуляції, на відміну від використання клавіатури або геймпаду. На відміну від звичайного керма, ігрові часто мають кнопки, розташовані на панелях джойстика, щоб для них можна було назначити декілька додаткових функцій [15]. Зображення ігрового керма для ПК наведено на рисунку 1.13.



Рисунок 1.3 – Комп'ютерне ігрове кермо

Використання ігрового керма додає більш природний контроль в гоночних іграх або симуляторах водіння і допомагає набути навичок реального водіння граючи. Досвід гри з ігровим кермом також допомагає зміцнити м'язову пам'ять, що покращує навички водіння на дорозі.

Купуючи ігрове кермо для необхідно звертати увагу на низку факторів, зокрема чи є у відеоігор для яких воно купується підтримка даного контролера. Лише якщо в грі є авто чи перегони, це не гарантує, що вона сумісна з кермом. Ігрове кермо також має бути сумісним із симуляторами водіння. Тому спочатку необхідно визначити характеристики відеоігор і визначити їх сумісність з контролером.

Далі необхідно оцінити якість зборки самого керма, від якої буде користувацький досвід. Кермо повинно мати міцне кріплення до столу та витримувати силу повороту в момент обертання. Кріплення також мають швидко та легко зніматися.

Саме кермо має бути відповідного розміру та добре сидіти в руці. Товсте колесо з обробкою зі шкіри, замші або шкірозамінника сприяє зчепленню та зменшує втому під час тривалого використання. Також необхідно перевірити набір кнопок на лицьовій панелі для взаємодії з меню та іншими функціями при водінні [16]. Зображення якісного набору ігрового керма Logitech наведено на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Професіональне набір керма Logitech G923

Основна перевага ігрового керма перед геймпадами і клавіатурою – точність керування. Кермо має значно більший хід і рухається лише по одній осі, що забезпечує більшу точність. Показником для визначення точнішого керування є градуси обертання – показують наскільки колесо обертається від упору до упору. Як правило, більше градусів означає більшу точність, приблизно від 900° до 1080°, що підходить для більшості відеоігор і

симуляторів. Однак не рідкість, коли дешеве кермо має лише 270° обертання.

Важливі також і педалі. Комплекти ігрового керма включають педалі, принаймні газу та гальма, а іноді і педаль зчеплення. Треба обирати важкий педальний короб із високою якістю зборки, який не ковзає й не ламається під час натискання на педалі.

Вибір правильного ігрового керма дозволить отримати кращий користувацький досвід від відеоігор і симуляторів. Важливе також програмне забезпечення для налаштування сили віддачі, мертвої зони керування, тиску на педалі, а також функцій набору кнопок [17].

1.5 Трекери для очей

Відстеження рухів очей людей – це концепція, яка тривалий час захоплювала увагу людей. Найчастіше цю технологію зображають, як частину майбутнього. Технологією айтрекінгу дуже зацікавлені розробники відеоігор, вони починають додавати в ігровий процес програмне забезпечення з застосуванням відстеження погляду.

Раніше трекери для очей коштували десятки тисяч доларів і були дорожчим обладнанням. Трекери очей для відеоігор тепер можуть дозволити собі купити звичайні користувачі.

Айтрекінг – це сенсорна технологія, яка може виявляти присутність людини та стежити за тим, на що вона дивиться в режимі реального часу. Технологія перетворює рухи очей у потік даних, який містить таку інформацію, як положення зіниці, вектор погляду для кожного ока та точку погляду. По суті, ця технологія декодує рухи очей і перетворює їх на дані.

Технологія айтрекінгу застосовується для досліджень, спрямованих на знаходження недоліків у взаємодії машини з людиною та подальше її вдосконалення, а також для вимірювання характеристики руху очей та фізичних характеристик ока, наприклад: час погляду, розмір зіниці, відбиток роговиці ока тощо.

Айтрекер – пристрій, що записує рух очей користувача, коли той дивиться на екран монітору, об'єкт або навколишнє середовище. Зараз існує кілька видів айтрекерів: розташовуються на голові людини, перед респондентом під монітором, одягаються якості окулярів.

В процесі айтрекінгу пристрій підсвічує очі респондента інфрачервоним світлом, а потім записує відбиття світла від сітківки ока. Цей процес дає айтрекеру можливість знайти центр зіниці користувача, а також

проаналізувати відбиття світла від роговиці ока. Точка, в яку спрямовано погляд людини, визначається з положення центру зіниці відносно до відбитка роговиці. При русі головою, дивлячись в одну точку, відношення між відбитком роговиці та центром зіниці залишається таким самим [18].

Сучасні трекири для очей складаються з двох компонентів. Першим є відеокамера, чутлива до інфрачервоного світла, а другим є освітлювач, за допомогою якого створюється відбиток в оці людини. Камера фокусується на очах і записує відбиток в набір даних. Потім ПЗ розраховує координати погляду та передає їх, наприклад, курсору ПК. Трекер використовує довжину хвилі, невидиму для людини, але відбивається оком. Джерело ІЧ світла не шкідливе для людини [19]. Принцип роботи екранних і носимих айтрекерів наведено на рисунках 1.14, 1.15.

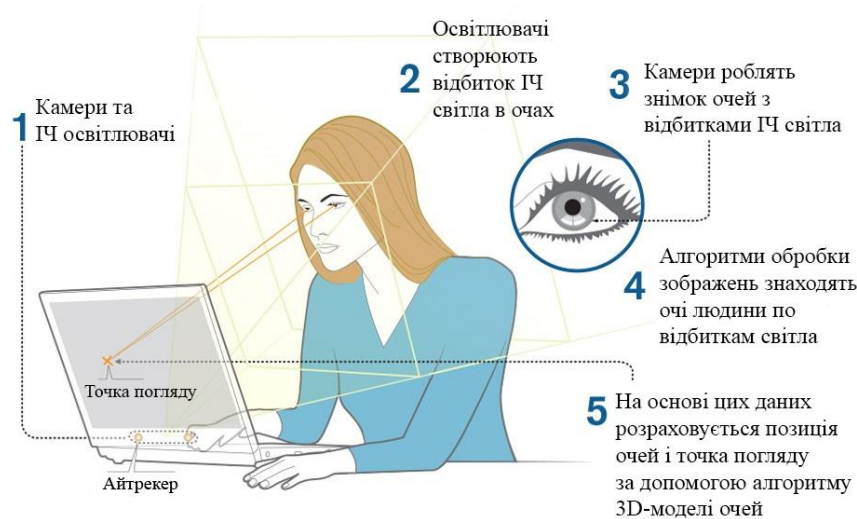


Рисунок 1.14 – Принцип роботи екранних айтрекерів

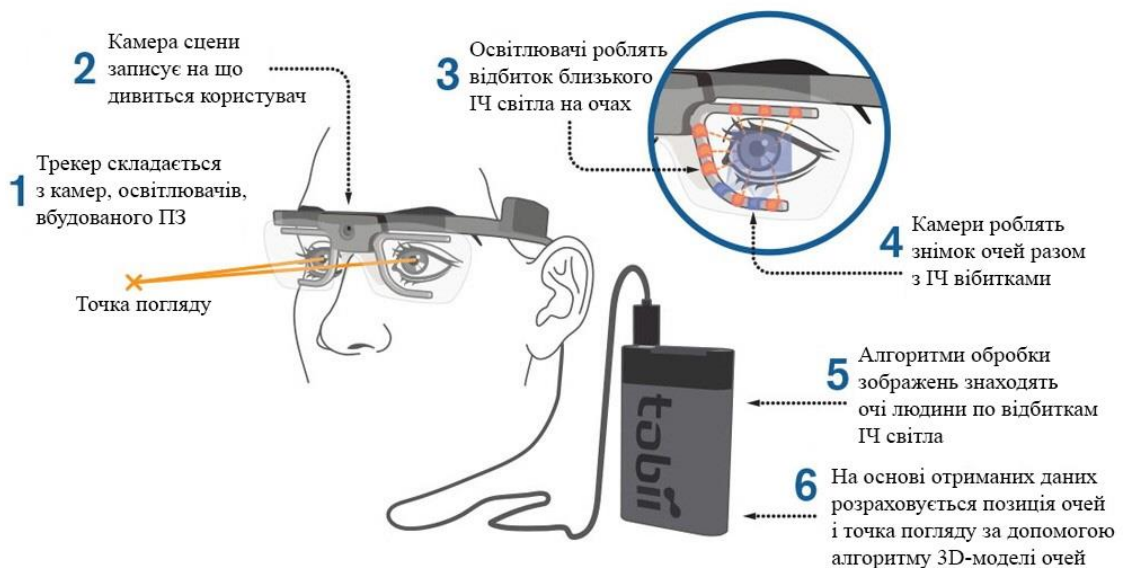


Рисунок 1.15 – Принцип роботи носимих айтрекерів

Ця дуже перспективна технологія налічує декілька конкуруючих виробників: Tobii, Steelseries та Eye Tribe. Зараз також починають з'являтися ноутбуки, що поставляються вже з вбудованими трекерами для очей [18]. Всі айтрекери відрізняються за технічними характеристиками, які наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики айтрекерів різних виробників

Айтрекер	Tobii Eye Tracker 5	SteelSeries Sentry	Eye Tribe
Частота дискретизації зображення	133 Гц	40 Гц	60 або 30 Гц
Підтримуваний розмір екрана	15"-27" або 30"	0,5"-27"	24"
Сенсор	IS 5 Tobii NIR (850 нм)	3 NIR LEDs (750-1400 нм)	2 NIR LEDs (750 нм)
Відстеження голови	CNN / 6DoF	-	-
Вимоги до ОС	Windows 10/11	Windows 8/8.1	Windows 7/8, Android, Mac OSX
Підключення	USB 2.0/3.0	USB 3.0	USB 3.0
Ціна	260\$	200\$	199\$

Виходячи з аналізу технічних характеристик найкращим вибором на ринку наразі є Tobii Eye Tracker 5 (рис. 1.16), лише за невелику переоплату користувач отримує підтримку моніторів різного розміру, високу частоту дискретизації зображення з якісним сенсором вбудованим в трекер, роботу ПЗ з новими ОС, а також відстеження погляду при русі головою.

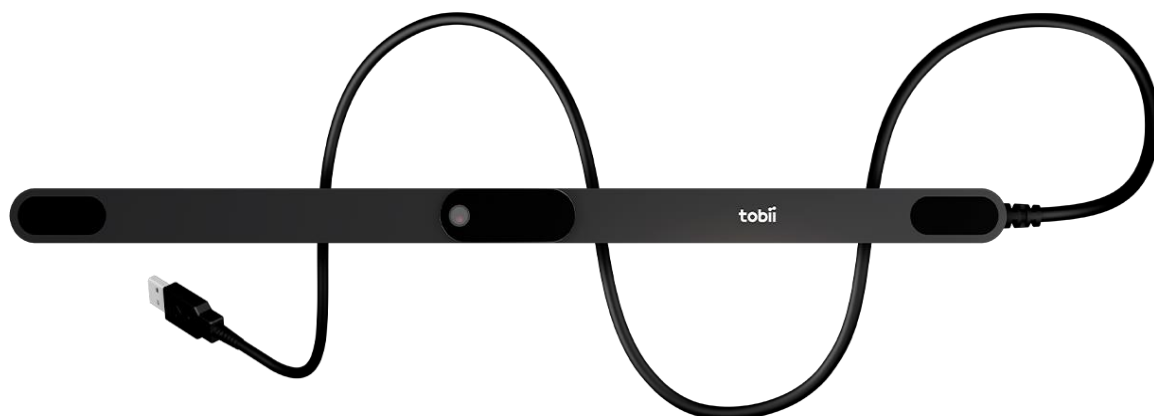


Рисунок 1.16 – Трекер для очей Tobii Eye Tracker 5

Незважаючи на перспективність технології пристроям все ще бракує популярності або переконливого варіанту використання, який є вагомою причиною для людей, щоб постійно користуватися технологією айтрекінгу.

Найпростіша механіка, яку можна пов'язати з очами – це використання їх як курсору, подібно до того, як використовується миша.

Варіантами цієї механіки в відеоіграх є: вибір та розміщення шахових фігур, переміщення прицілу зброї в шутерах від першої особи тощо. Коли користувач дивиться на точку в навколишньому середовищі, ігровий персонаж дивиться в цьому ж напрямку, що дозволяє більш природно досліджувати оточення. Відеоігри включають в механіки погляду, включаючи прицілювання, кидання предметів, пошук укриття тощо. Також трежер для очей може виступати в ролі заміни курсору миші для користувачів з обмеженими можливостями.

Одним з найцікавіших аспектів використання погляду як методу введення є те, що він виходить далеко за межі надання явних команд іграм.

По-перше, очі відіграють важливу роль у соціальних взаємодіях між людьми, і це можна включити в ігри.

По-друге, очі розкривають багато про наші когнітивні процеси, які можуть використовуватися штучним інтелектом відеоігри для адаптації ігрового процесу. Наприклад, дослідники трекінгу очей дізналися, як використовувати погляд гравців, щоб зробити висновок про їх стратегії в іграх, щоб передбачити їх наступні дії і змінити розповідь в інтерактивній розповіді. Це майже дає відеоіграм здатність читати думки, що може дуже вразити гравців.

По-третє, трежері для очей можуть надати користувачам потужний інструмент аналітики, щоб вони оцінили та покращили свою продуктивність. Наприклад, гравці можуть записувати свої рухи очей протягом сеансу гри, а потім переглядати відео, щоб перевірити, чи звертали вони увагу на потрібні ділянки в потрібний час. Теплова карта точок погляду також може дати гравцям знімок їх загальної візуальної уваги та виділити області, які потребують більшої концентрації [20].

1.6 Контролери віртуальної реальності

Гарнітура віртуальної реальності дозволяє бачити віртуальне середовище, а VR контролери дозволяють з ним взаємодіяти. Після підключення контролерів до консолі та гарнітури вони використовуються для підняття, переміщення і взаємодії з віртуальними об'єктами. Контролери VR

					КНУ.РМ.123.22.11.01.ПУВС	Арк.
Арк.	№ документа	Підпис	Дата			

зазвичай тримаються в обох руках і складаються з кнопок і сенсорних панелей, які можна використовувати для взаємодії з віртуальним середовищем. Контролери VR широко використовуються в відеоіграх віртуальної реальності, оскільки вони дають можливість відчувати реалістичну взаємодію, знаходячись вдома. Контролери допомагають реєструвати рухи рук і пальців у віртуальному середовищі. Вони перетворюють механічні рухи рук та тіла на цифрові рухи у вибраному віртуальному світі [21]. Використання VR контролерів наведено на рисунку 1.17.



Рисунок 1.17 – Використання VR контролерів

Існує багато різних типів, марок і характеристик контролерів, що відрізняються за вартістю, ступенем переміщення, часом роботи акумулятора, точністю відстеження та ергономікою. Більшість гарнітур віртуальної реальності вже містять VR контролери в наборі.

Основні характеристики, якими відрізняються VR контролери:

– Точність відстеження – виявлення рухів рук і пальців у віртуальній реальності вимагає високої точності, де при виконанні складного проектування у VR-симуляції одна помилка може зіпсувати результат роботи. Різні контролери використовують різні системи відстеження з різним ступенем точності.

– Якість зборки – симуляції можуть тривати від кількох хвилин до декількох годин, тому якість зборки контролера дуже важлива. Дешевий пластиковий контролер призводить до низької довговічності, також погано спроектовані контролери можуть випадати з рук, особливо під час інтенсивних сесій віртуальної реальності.

– Ергономіка – добре спроектовані контролери просто приємно тримати у руках мають відмінний користувацький досвід. Розташування кнопок функцій, форм-фактор, розподілу ваги, кожен з цих чинників впливають на подальший користувацький досвід при використанні контролера.

– Тривалість роботи батареї – ємність акумуляторів визначає, як довго контролери можуть використовуватися без необхідності їх заряджання. Деякі контролери потребують підзарядки після кількох годин використання, тоді як інші можуть забезпечити десятки годин гри.

– Свобода руху – дротова гарнітура, підключена до консолі або ПК, часто забезпечує кращу продуктивність, але обмежує переміщення кімнатою і також це може бути небезпечно через наявність дротів при ходьбі. Деякі системи віртуальної реальності мають бездротові контролери, що забезпечують високий ступінь свободи.

Більшість контролерів віртуальної реальності мають набір кнопок, тригерів і аналоговий стік для великого пальця, який дозволяє брати, штовхати, кидати та пересувати віртуальні об'єкти. Наприклад, натискання тригера на контролері перетворюється на натискання на спусковий гачок віртуальної зброї, тоді як використання аналогового стіка дозволяє ходити у віртуальному середовищі. Розміщення елементів управління на VR контролері зображено на рисунку 1.18.



Рисунок 1.18 – Елементи управління на VR контролері

Для того, щоб контролери могли точно відстежувати рухи рук, гарнітурі віртуальної реальності потрібно знати положення контролерів, відносно положення самої гарнітури. Дві найпоширеніші системи відстеження для контролерів на даний момент – це Lighthouse tracking та Inside-out tracking.

Система Lighthouse tracking використовується гарнітурами Valve Index і HTC Vive Pro, і для цього у ігровій зоні необхідно встановити принаймні дві базові станції.

Базові станції служать опорними точками для гарнітури та контролерів. Кожна базова станція містить ІЧ-маячок і два лазерних випромінювачі, тоді як кожен контролер має кілька ІЧ-фотодатчиків. Маячок станції випромінює імпульс синхронізації 60 разів на секунду, тоді як один із його лазерів посиляє широкий промінь через всю кімнату. Як тільки контролери виявляють імпульс, вони починають відлік, доки на один із їхніх датчиків не потрапить лазерний промінь. На основі часу досягнення лазера на датчика система визначає, де знаходиться контролер. Принцип роботи системи Lighthouse tracking наведено на рисунку 1.19.

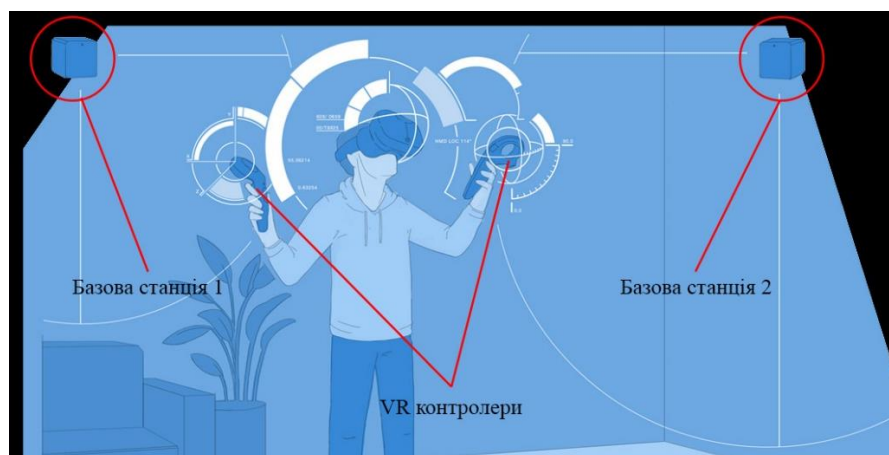


Рисунок 1.19 – Система Lighthouse tracking

Система Inside-out tracking працює зовсім інакше. Кожен контролер має набір ІЧ світлодіодів, розташованих на кільцях контролера. Камери, розташовані на гарнітурі, виявляють світлодіоди та постійно знімають їх. На основі цих зображень дана система відстеження визначає положення контролерів у просторі за допомогою тріангуляції. Гарнітуру і контролери, які використовують систему Inside-out tracking зображено на рисунку 1.20.

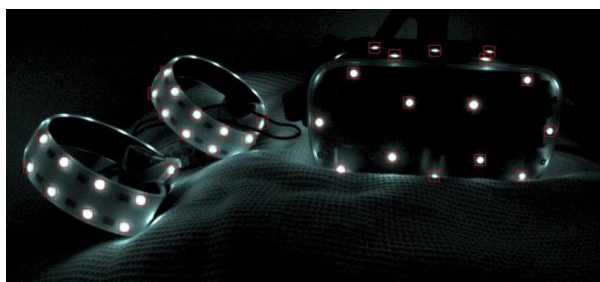


Рисунок 1.20 – Гарнітура і контролери Inside-out tracking

Перевагами системи Lighthouse tracking є підвищена точність відстеження та спрощена передача даних, систему відстеження Inside-out дешевше впровадити та вона не вимагає придбання та налаштування зовнішніх базових станцій [21].

Майбутні контролери керування рухами у віртуальній реальності спрямовані на більш точне відстеження, а сам досвід стане плавним і природним. Різні компанії пропонують різні рішення, щодо вдосконалення засобів керування у VR. Більшість пропонують оптимізувати існуючі контролери, зробивши їх більш легкими та точними, але компанія Facebook разом з CTRL-labs вже працюють над більш інноваційними рішеннями – VR/AR браслети, вони вважають, що найкращі контролери – це наші руки і мозок.

Браслет Tabsi закріплюється на зап'ясті руки та має кілька переваг над звичайними контролерами. Вони забезпечують розумний дизайн свободи з точки зору ваги, розміру та потужності. Також браслети залишають руки вільними, що особливо важливо для VR, оскільки вони дозволяють рукам безперешкодно маніпулювати, як фізичним так і віртуальним середовищем. Гаджет декодує електричні сигнали в м'язах зап'ястя, дозволяючи гарнітурі VR або ПК зрозуміти, що саме намагається зробити рука. Приклад роботи браслету Tabsi наведена на рисунку 1.21.



Рисунок 1.21 – Використання браслету Tabsi у VR

Tasbi може здійснювати різні взаємодії з віртуальним світом. Вібротактильний зворотний зв'язок може симулювати контакт пальців із віртуальними кнопками чи іншими типами інтерфейсів користувача, тоді як стискання може передати вагу або жорсткість, віртуального об'єкта яким

маніпулює користувач. Стискання та вібрація можуть ще більше сприяти відчуттю присутності та дистанційній соціальній взаємодії, наприклад рукостисканню або дотику. Також браслет забезпечує захоплюючий зворотний зв'язок під час ігор та навчання [22].

1.7 Контролери для людей з обмеженими можливостями

Апаратне забезпечення для відеоігор пройшло тривалу еволюцію пристроїв ручної роботи до сучасних консолей масового виробництва. Ця еволюція супроводжувалася все більш спеціалізованими механізмами взаємодії. На сьогоднішній день взаємодія з іграми зазвичай здійснюється за допомогою стандартних пристроїв. Ці пристрої можуть бути загального або спеціального призначення. Але на жаль, з маркетингових міркувань пристрої для ігрової взаємодії зазвичай не розробляються з урахуванням вимог людей з обмеженими можливостями.

Обмеження можливостей людини визначається як обмеження фізичного функціонування. Це обмеження може стосуватися мобільності, швидкості або витривалості. Користувач із обмеженнями мобільності чи швидкості може зіткнутися з проблемами під час взаємодії з відеогрою. Наприклад, він може бути не в змозі надати певні введення або їх комбінації через нездатність одночасно натискати кілька кнопок або своєчасно переміщати палець між двома положеннями. Ці обмеження можуть зробити ігровий досвід неприємним і незбалансованим.

Тим не менш, за останні роки було розроблено ряд контролерів для геймерів обмеженими можливостями. Вони зазвичай є варіаціями стандартних контролерів, де інновація спрямована на те, щоб зробити стандартні відеоігри доступними для гравців з обмеженими можливостями. Як наслідок, спільним атрибутом багатьох із цих контролерів є те, що вони намагаються зробити доступними всі стандартні дії більш спрощеними та доступними, часто без запровадження нових моделей взаємодії [23].

Stickless – ключова особливість впливає з назви, тобто Stickless створює спеціальні контролери для людей, яким важко використовувати контролери зі стіками. Замість нього є кнопки, які виступають у ролі заміни. Налаштування функцій кнопок, кольору, та форми – це геніальна ідея, яка робить його легко доступним і привабливим альтернативним контролером. Вони підтримуються рядом пристроїв: PS4, Xbox One, Wii U, Nintendo Switch і ПК. Контролер Stickless наведено на рисунку 1.22.



Рисунок 1.22 – Альтернативний контролер Stickless

Більш доступний, ніж Stickless, контролер компанії Evil Controllers. Яка безпосередньо працює з користувачем, щоб створити унікальний контролер. Компанія не займається попереднім виготовленням контролерів; замість цього вона працює з кожним клієнтом окремо, щоб розробити контролер, який відповідає їх потребам.

Після консультації, Evil Controllers працює з клієнтом над розробкою свого контролера. Користувач може надсилати фотографії та відео, щоб вони краще розуміли обмеження можливостей користувача. Потім вони допомагають налаштувати ПЗ, щоб контролер, підтримувався ПК або консоллю та виконував всі основні функції. Приклад модифікованого контролера Evil наведено на рисунку 1.23.



Рисунок 1.23 – Модифікований контролер Evil для людей з певними обмеженими можливостями

Quadstick – це ротовий контролер, розроблений для того, щоб паралізовані люди могли грати у відеоігри та брати участь у соціальних ігрових спільнотах. Він був розроблений та фінансувався через краудсорсингову кампанію на Kickstarter.

Доступні три версії: FPS, яка оснащена джойстиком, чотирма датчиками sip/puff (вдоху/видоху) та датчиком положення губ. Original, який пропонує ті ж функції, що й FPS, але з дешевшим джойстиком. Singleton, що є простішою версією, призначеною для тих, хто хоче працювати з ПК, але не використовувати Quadstick для відеоігор.

Елементи керування відображаються, що спрощує налаштування ігрового процесу, а користувачі можуть швидко змінювати функції різних датчиків у відеогрі.

Quadstick контролер працює працює безпосередньо з PlayStation 3/i Nintendo Switch, а також з ПК Windows і Mac. З використанням перехідника він також буде сумісний із PS5 і Xbox One. Елементи управління контролера наведено на рисунку 1.24.

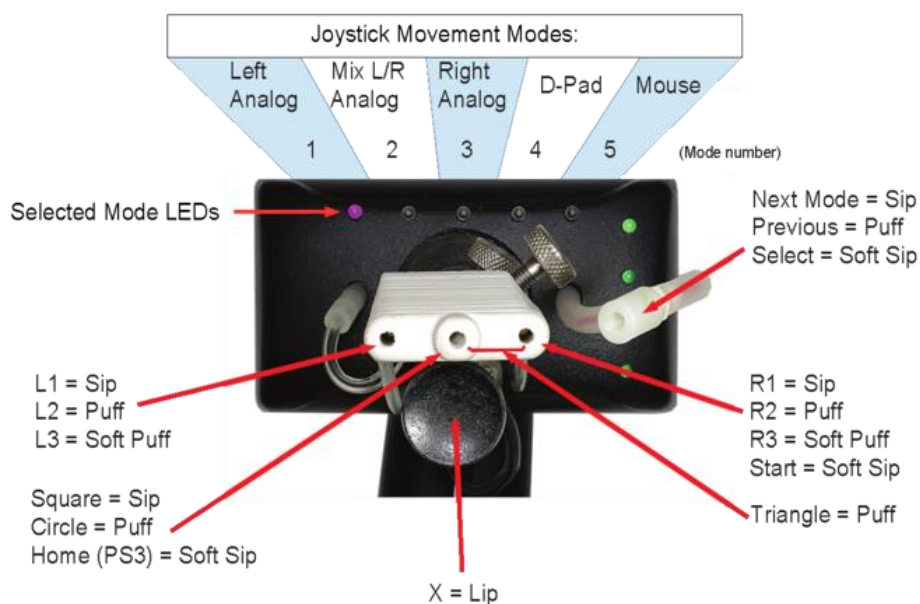


Рисунок 1.24 – Елементи управління контролера Quadstick

VoiceAttack – не є фізичним контролером; натомість це програмне забезпечення Windows, призначене для покращення ігор за допомогою голосових команд. Це робить його доступним варіантом для гравців з обмеженими можливостями, для якого необхідний лише мікрофон.

ПЗ унікальне тим, що воно призначене не тільки для відеоігор, а також для управління іншими функціями ПК. Наприклад, паралізовані люди, можуть використовувати голосові команди, щоб запустити програму або виконати дію

у відеогрі. ПЗ має велику кількість параметрів команд, які користувач може адаптувати для під власні потреби.

Технологія розвивається за допомогою своєї спільноти і також використовується з концепцією IoT. ПЗ VoiceAttack застосовується також, щоб допомогти людям з обмеженими можливостями відповідати на телефонні дзвінки, відкривати двері, замовляти доставку додому тощо. Зображення екрану команд і дій наведено на рисунку 1.25.

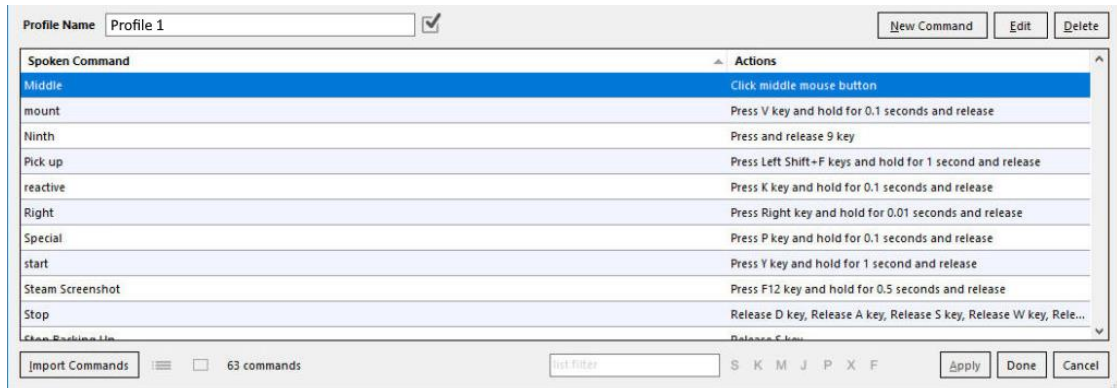


Рисунок 1.25 – Екран команд і дій ПЗ VoiceAttack

Корпорація Microsoft активно випускає доступні контролери для своїх пристроїв, у тому числі і адаптивні контролери Microsoft Xbox.

Одноручні контролери Xbox – це остання інновація компанії, яка стає більш доступною для людей з обмеженими можливостями. Ключовою відмінністю є опущений аналоговий джойстик, який також виконує роль ручки. Контролер також має ергономічний вторинний аналоговий тригер і бездротове підключення. Ці модифікації дозволяють отримувати доступ до кожної кнопки та тригера за допомогою однієї руки. Зображення одноручного контролера наведено на рисунку 1.25.



Рисунок 1.25 – Одноручний контролер Xbox

Jouse+ – це альтернативний контролер для використання з ПК та мобільними пристроями. Це USB-джойстик із ротовим керуванням оснащений технологією plug-and-play із високою підставкою для джойстика та кріпленням на столі. Зображення контролера Jouse+ наведено на рисунку 1.26.



Рисунок 1.26 – Альтернативний контролер Jouse+

Цей контролер унікальний тим, що ним можна по-різному керувати. Варіанти включають рот, щоку, підборіддя або язик, що робить його доступним для людей з різними обмеженими можливостями. Jouse+ підтримує ПК з ОС Windows, Mac і Linux, а також пристрої Android і Apple.

Завдяки різноманітним варіантам кріплення Jouse+ також можна оснастити обладнанням таким, як: мікрофони, додаткові перемикачі та камери [24].

Висновки за розділом

У першому розділі було розглянуто поняття ігрового контролера. Області та сфери їх використання. Проведено опис характеристик ігрових контролерів за якими вони відрізняються.

Для огляду масштабності використання ігрових контролерів виконано аналіз бази даних Steam, що відображає кількість сесій користувачів, з використанням різних контролерів для гри в 2020-2021 рр. Визначено два типи контролерів: дровові та бездротові. Наведено їх переваги та недоліки.

Виконано опис геймпада, клавіатури та миші, ігрового керма. Наведено їх характеристики та елементи управління. Розглянуто різні покоління геймпадів, комп'ютерних клавіатур і мишей та зміну їх базового дизайну для більш зручного використання у відеоіграх і симуляторах. Визначено основні фактори при виборі ігрових клавіатур і мишок та виконано порівняльний аналіз сучасних контролерів для вибору найкращого.

Досліджено технологію айтрекінгу, визначено різновиди пристроїв для трекінгу очей. Наведено їх характеристики, комплектацію та принцип роботи. Виконано аналіз існуючих трекерів для очей та обрано варіант з найкращою ціною, частотою, сенсором, та програмним забезпеченням.

Розглянуто технологію VR разом з контролерами віртуальної реальності. Визначено сфери їх використання, типи та характеристики. Наведено елементи управління на VR контролерах. Описано дві найпоширеніші системи відстеження контролерів – Lighthouse tracking та Inside-out tracking, їх переваги та недоліки. Представлено інноваційний VR/AR контролер у вигляді браслета Tabsi.

Проаналізовано ігрову взаємодію людей з обмеженими можливостями з різними спеціально призначеними контролерами. Розглянуто характеристики за способи використання альтернативних контролерів: Stickless, Evil controllers, Quadstick, Single-Handed Xbox controller, Jouse+, а також програмного забезпечення VoiceAttack.

2 ОЦІНКА ВЗАЄМОДІЇ КОНТРОЛЕРІВ І ІГРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ

2.1 Оцінка взаємодії користувача з контролером

Сьогодні існує значний спектр досліджень щодо розробки сучасних ігрових контролерів, але відносно мало досліджень проводиться для вивчення зв'язку між продуктивністю контролера та досвідом користувача в грі. Вибір використовуваного контролера може значно вплинути на враження від відеогри. На продуктивність користувача під час гри також може сильно вплинути тип використовуваного контролера. Деякі платформи взаємодіють лише з певними типами контролерів, тоді як інші підтримують різні типи пристроїв введення. Існує велика кількість досліджень взаємодії людини з комп'ютером (HCI) та аналізу ігрових контролерів. Пов'язані з ними структури та моделі можуть бути застосовані для оцінки форм взаємодії ігрових контролерів з користувачами.

З точки зору керування в грі, користувач повинен мати відчуття контролю, яке стосується його дій, що у свою чергу, зменшує потенційне розчарування та покращує користувацький досвід від гри. Управління у відеогрі є продуктом добре продуманої взаємодії з ігровими контролерами. Технологічні обмеження застарілих контролерів викликали необхідність формування сучасного дизайну контролерів. Раніше всі ігрові взаємодії, були представлені довільним натисканням кнопок і жестами, які не були пов'язаними з ігровим процесом. Можливості сучасних контролерів дають змогу управляти компонентами в грі бездротовими пристроями керування, що використовують жести користувача, як сигнали введення. Такий рівень керування дає змогу швидко навчатися використовувати, роблячи їх більш інтуїтивно зрозумілими та збільшує захоплення користувача від гри. Отже, механізми керування ігровими інтерфейсами певним чином впливають на загальний ігровий досвід.

Сучасні платформи здатні фіксувати різноманітні форми взаємодії за допомогою складної технології датчиків захоплення руху. Спектр жанрів відеоігор розширився і став досить різноманітним. Цей діапазон інтерактивних ігор дозволяє користувачеві випробувати різні типи дротового

					КНУ.РМ.123.22.11.02.ОВКІМ		
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ОЦІНКА ВЗАЄМОДІЇ КОНТРОЛЕРІВ І ІГРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ		
Розробив	Левенець						
Перевірив	Кумченко						
Н.контроль	Кузнецов						
Затвердив	Купін						
					Літера	Аркуш	Аркушів
					КІ-21м		

та бездротового керування. Ігрові розробки, які обмежувалися комп'ютерами високого класу або ігровими консолями, тепер доступні на мобільних пристроях, онлайн-платформах і все більше рухаються до ігрової платформи IoT. Збільшення доступності та різноманітності ігрових платформ створює нові проблеми та підкреслює обмеження ігрового дизайну і звичайних моделей споживання [25].

Розробка ігрових контролерів на певній платформі історично була обмежена швидкістю та потужністю системи обробки даних. На ПК графічні процесори перевищують продуктивність, щоб відповідати вимогам висококласних ігрових движків. Мобільні пристрої мають пріоритет на виконанні кількох завдань одночасно над продуктивністю в іграх. Ці обмеження призвели до розробки нових методів взаємодії, які стають поширеними серед ігрових контролерів. Наприклад, використання сенсорних поверхонь замість джойстика та вбудованих динаміків. Компактний форм-фактор мобільних пристроїв, що містять безліч різноманітних датчиків, відкриває нові можливості взаємодії з іграми: сенсорні екрани, акселерометри, гіроскопи, магнетрони, камери та мікрофони.

Існує кілька механізмів, які можна використовувати для керування іграми на різних платформах. Вони можуть впливати на користувацький досвід, гравці можуть мати певні очікування щодо елементів керування, з якими вони вже знайомі в реальному світі, наприклад. Використання нового контролера вимагає певної форми навчання, що відбувається впорядкованим і безперервним чином. Це призводить до взаємодії, яка стає природною для користувача, коли він переходить на альтернативні контролери. Природність пов'язана зі сприйняттям користувачем інтерактивності на основі попереднього досвіду роботи пристроями введення. При розробці нового контролера дуже важливо враховувати очікування користувачів щодо можливостей пристрою та їх придатності до певного жанру гри.

Ігрові дослідження показали, що елементи управління ігрового керма суттєво посилюють занурення користувача, коли застосовуються в іграх і симуляторах водіння. Крім того, механізм ковзання по сенсорному пристрою введення може досягти глибшого занурення, ніж натискання кнопок. Користувачі спостерігали, як рухали пальцями, відповідаючи рухам персонажів, що свідчить про те, що вони підтримували прямий зв'язок із грою через контакт пальців. Гравці показують кращі результати з комбінованим пристроями аналогового і цифрового введення з точки зору часу завершення рівня, порівняно з контролерами, що мають тільки цифровий тип введення.

У більшості сучасних консольних контролерів використання аналогових стіків стало галузевим стандартом, оскільки вони природно вказують на напрямок. Пропускна здатність стіка еквівалентна пропускній здатності аналогового джойстика. Завдання фокусування поширене в більшості систем без сенсорних екранів і можуть інтерпретуватися пристроєм кількома способами: вибір файлу для відкриття або прицілювання на екрані під час гри. Специфічні для ігор типи завдань: рух і вибір, поєднуються разом, щоб визначити позицію та контроль швидкості дії на екрані. Здатність точно вказувати на ціль і контролювати швидкість руху головні завдання стіка [26].

На оцінку неклавійних пристроїв введення в обчислювальній техніці впливає стандарт, стандартизований підхід до оцінки інтерфейсу. Він включає в себе продуктивність, комфорт і загальний аналіз потенційних функцій. Індекс продуктивності Фіттса використовується для оцінки функціональності контролера та оцінки ефективності його впровадження. Однак жодна техніка оцінювання не підходить для введення з багатьма параметрами керування, яке відбувається під час гри. Таким чином, необхідно використати ряд методів для аналізу окремих пристроїв. Рейтинг комфорту за ISO 9241-9, і додаткове відкрите опитування для оцінки здатності фокусування, комфорту, зручності використання та користувацького досвіду.

Використання стандартизованого закону Фіттса та методів тестування ISO має багато переваг, але вони не точно відображають цільові завдання в ігрових ситуаціях. Ігрові контролери пропонують багатопараметричні засоби керування для перетворення жестів у ігрові дії; відповідно, аналіз не має бути доповнений, щоб краще відповідати цільовим завданням у тривимірних іграх. Тривимірне тестування методом Фіттса підкреслює підвищення продуктивності комп'ютерної миші і геймпадів порівняно з пристроями захоплення жестів. Також ці пристрої вимагають підвищеного просторового усвідомлення, ніж традиційний інтерфейс миші та геймпада.

Додаткові елементи оцінки ігрового контролера, включені в дослідження, виведені з моделі наданої Макнамара та Кіраковські, що забезпечує розуміння взаємодії людини та технології. Ця модель застосовується до багатьох оцінювань типу людина-комп'ютер, що дозволяє чітко зрозуміти взаємодію між людьми та контролерами. Для представлення цих взаємодій виділяється три взаємозалежні фактори. Зокрема, показники функціональності, зручності, користувацького досвіду використовуються для кількісної оцінки різних функцій інтерфейсу та їх впливу на користувача. Модель проблемних сфер взаємодії наведено на рисунку 2.1.

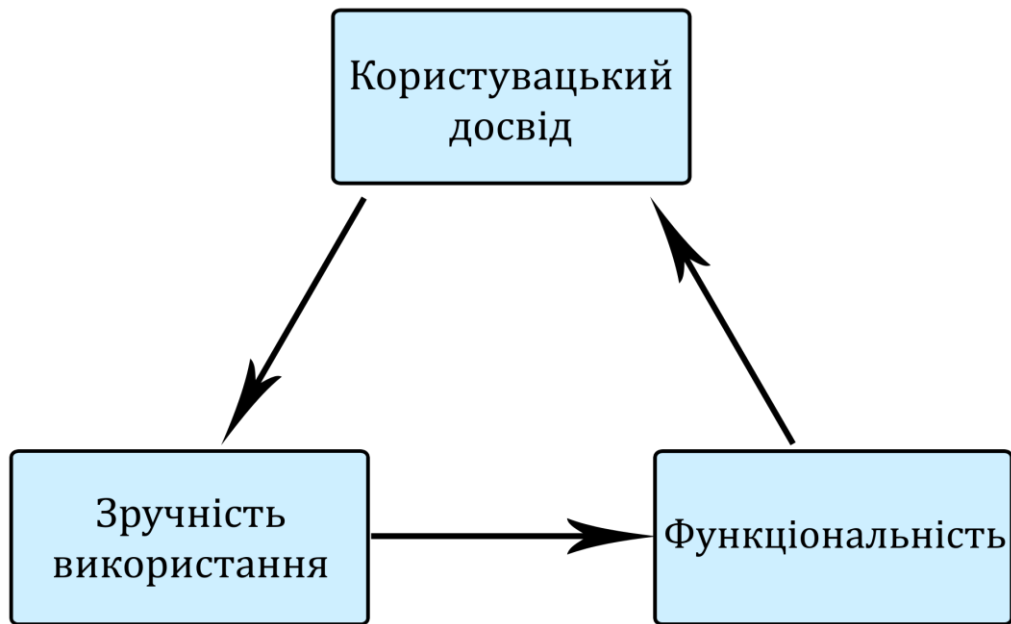


Рисунок 2.1 – Модель взаємодії людини і технології

Тест функціональності проводиться, щоб визначити, чи функції, які надає пристрій, є практичними, а також оцінюється продуктивність, постійність і надійність застосованого дизайну. Оцінка зручності використання проводиться для постановки питань ефективності, результативності та задоволення користувачів. Оцінка користувацького досвіду є інноваційною сферою дослідження в галузі HCI. Важко отримати числове значення оцінки тому, що вона залежить від ряду сприяючих факторів, включаючи психологічні чи соціальні фактори.

Усі типи тестів не працюють незалежно один від одного. Наприклад, зручність використання буде визначальною характеристикою пристрою. Однак зборка пристрою, з точки зору його функціональності та того, як користувач ним керує, безпосередньо впливає на зручність його використання. Зовнішній дизайн пристрою також може вплинути на сприйняття користувачами зручності використання. Зручність використання пристрою безпосередньо впливає на користувацький досвід, оскільки погана зручність призведе до негативного досвіду користувача. Таким чином, оцінка кожної з цих проблемних областей досягається шляхом застосування кількох методів HCI, а не зосереджена лише на одному [27].

У дослідженні проведено порівняння чотирьох типів ігрових контролерів: комп'ютерна миша Logitech G303 і клавіатура Corsair K60, сенсорна панель з клавіатурою Logitech Touchpad T650, альтернативний геймпад Steam Controller, і контролер консолі Sony DualShock 4. Зображення досліджуваних пристроїв наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Контролері взяті для тестування

Кожен із контролерів має індивідуальний порядок та елементи керування разом з тактильними якостями, які служать для розрізнення факторів роботи.

Миша Logitech G303 і клавіатура Corsair K60

Інтерфейс миші та клавіатури дуже популярний серед геймерів і досліджується вже понад 50 років. Миша керує курсором орієнтації по осям X–Y для визначення фокусу користувача на екрані, а функціями клавіш «WASD» визначається напрям руху. Ліва та права кнопки миші виконують різні завдання залежно від гри. Миша працює на твердій поверхні, при цьому її рух контролюється не лише рукою, а й зміщенням зап'ястя, передпліччя та плеча. Поєднання цих рухів сприяє підвищенню точності та комфорту під час виконання завдань. Під час виконання завдання мишею та клавіатурою зазвичай дуже мало тактильних індикацій. Однак існують силові елементи, які можуть впливати на продуктивність, які присутні у розглянутих контролерах.

Робоча поверхня стола може спричиняти помітне зниження плавності руху миші. Для Logitech G303 динамічний коефіцієнт тертя $\mu_{\text{дин}} = 0,11$, а статичний коефіцієнт тертя $\mu_{\text{стат}} = 0,17$. Коефіцієнт тертя визначається за формулою (2.1).

$$\mu = \frac{F_f}{N}, \quad (2.1)$$

де F_f – сила тертя ковзання, а N – притискна сила.

Крім того, вага миші також вважається важливою особливістю дизайну. Для Logitech G303 вага лише миші – 87 г, а миша з кабелем – 127 г. Миша Logitech і клавіатура Corsair K60 також мають кнопки, які відображають

момент натискання клавіш. Вони поєднують як силу, так і тактильні підказки, щоб вказати, що кнопку було натиснуто та досягнуто активації. Клавіатури з механічними елементами оснащені пружинами та демпферами, щоб надати користувачам додаткову тактильну інформацію за допомогою клацань або зворотного зв'язку, щоб вказати точку активації. Миша Logitech G303 містить металеву пружинну систему натягу кнопок, яка утримує ліву та праву кнопки в точному положенні, зменшуючи час ходу, люфт і забезпечуючи оптимальну активацію та відчуття, забезпечуючи швидкість і точність дій. Corsair K60 містить перемикачі Cherry MX Red, для активації яких потрібно 45 г притискної сили. Миша та клавіатура вважаються найвідомішими з усіх інтерфейсів користувача в HCI, причому для роботи більшості ПК потрібен принаймні один із цих інтерфейсів. Високий показник ознайомленості впливає на здатність користувача виконувати завдання, оскільки він уже знайомий із пристроєм і стилем його роботи.

Сенсорна панель Logitech T650 з клавіатурою

Logitech Touchpad T650 – гладка плоска сенсорна поверхня, чутлива до дотику. Це платформа з розпізнаванням жестів для OSX і Windows. За даними Logitech, вона має високу точність, яку можна порівняти з більшістю мишей. Сенсорна панель організована та представлена користувачеві як пристрій введення для переміщення курсору, що керується великим пальцем, замість вказівного. Для дослідження панель слід тримати в руках, а не класти на плоску поверхню, щоб зберегти безперервність у стилях введення жестів між іншими ігровими контролерами.

Комбінований інтерфейс сенсорної панелі та клавіатури поєднав ізометричну сенсорну поверхню з клавіатурним пристроєм для переміщення в грі. Площиною X-Y переміщення відбувається за допомогою рухів великого пальця по поверхні панелі. Сенсорна поверхня дуже чутлива та має площу 134×129 мм і вагу – 210 г. Сенсорна панель також містить «мертву зону», яка дозволяє користувачеві спиратися пальцем на поверхню, не рухаючи курсор. Оскільки поверхня гладка, сенсорна панель передає дуже мало тактильної інформації користувачеві. Тонка клавіатура, що додається, має такий же тонкий дизайн і легку функцію натискання кнопок. Клавіші «WASD», мають гумові опуклості, які тактильно вказують розташування пальців на клавіатурі.

Steam контролер

Контролер Steam є прототипом пристрою введення від Valve. Контролер включає в себе комбінацію інтерфейсів, які чутливі до жестів і натискання.

Найбільш характерною відмінністю цього пристрою від традиційного геймпада є використання круглих сенсорних панелей замість джойстиків. Steam намагається поєднати жанри ПК і консолі, підвищивши точність рухів великого пальця до тих, що досягаються мишею при управлінні в грі. Сенсорні поверхні, що керуються великим пальцем, мають діаметр 40 мм, увігнуті та містять дві круглі тактильні підказки для розміщення великого пальця. Valve компенсувала недостатній силовий зворотний зв'язок, додавши розширений тактильний зворотний зв'язок. На додаток до тактильних кільцевих індикаторів, що відображаються на сенсорних поверхнях, контролер також має підтримку вібровіддачі. Розробники Valve довго працювали над тактильним зворотним зв'язком, досягнутим за допомогою подвійних лінійно-резонансних приводів, включення яких є відповіддю на знижений пружний зв'язок, який надається традиційним контролерам через пружинні джойстики. Користувач може налаштовувати контролер, а профілі можна створювати та редагувати для підтримки різних ігор, доступних у Steam. У меню конфігурації можна налаштувати різні параметри пристрою, включаючи розмір мертвих зон у центрі подушечок сенсорних панелей. Налаштування параметрів та мертвих зон Steam контролеру наведено на рисунку 2.3.

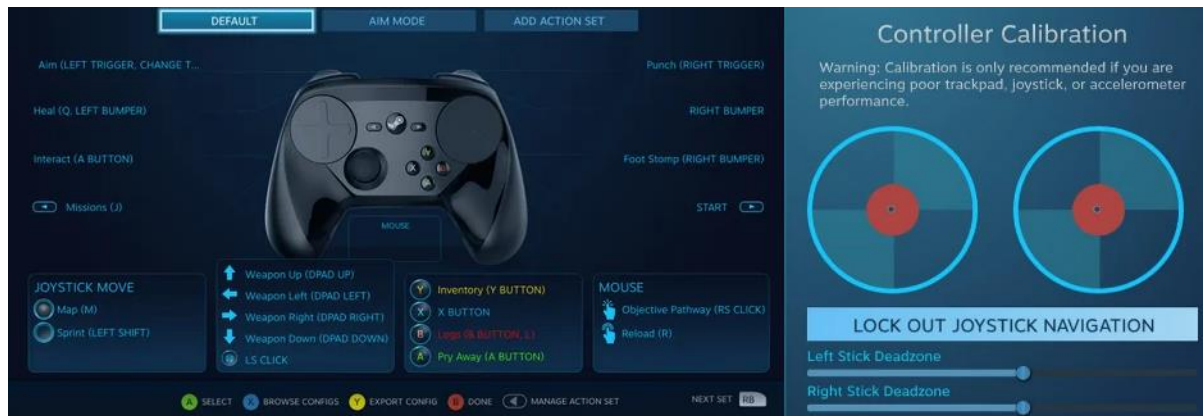


Рисунок 2.3 – Виконання налаштування контролера Steam

Sony DualShock 4

Поширення консольних ігор призвело до появи постійних факторів і дизайну, які використовуються Microsoft Xbox і Sony PlayStation. Зокрема, ці форми ігрового контролера консолі та типи інтерфейсу стали найбільш впізнаваними серед усіх ігрових інтерфейсів. Ці контролери містять комбінацію стіків із кнопками та тригерними механізмами введення. У новому контролері Sony DualShock 4 змінився дизайн і елементи конструкції геймпада. Увігнуті аналогові стіки було оновлено разом із впровадженням

нової сенсорної панелі між ними з додатковими елементами акселерометра та гіроскопа для керування рухом. Матеріали контролера також покращено порівняно з попередніми поколіннями, загальна вага – 210 г. DualShock 4 працює як еластичний інтерфейс, який прикладає пружинну силу на великий палець під час роботи. Використання пружини пов'язане з поверненням стіка в центральне положення. DualShock 4 здатний стимулювати тактильні відчуття користувача за допомогою контрольованого вібротактильного зворотного зв'язку. Пружинні та вібраційні елементи цих геймпадів забезпечують унікальний і контрольований зворотний зв'язок з користувачем.

Мета *першого експерименту* полягає в дослідженні продуктивності прицілювання розглянутих ігрових контролерів і порівнянні функціональності, зручності використання та користувацького досвіду, для різних типів контролерів. Точність контролерів вимірювалася за допомогою двовимірної оцінки закону Фіттса, а показники прицілювання, розраховувалися за допомогою шкали оцінювання після використання контролерів учасниками дослідження.

Учасники першого експерименту були віком від 22 до 41 року. Всі учасники цієї групи мали щоденний досвід використання комп'ютерної миші і клавіатури. 50% учасників користувалися сенсорною панеллю щодня; 42% раз на тиждень і 8% один раз на місяць. 91% учасників вважають себе геймерами: 36% грають хоча б щодня або раз на тиждень; 18% кілька разів на місяць; 8% раз на місяць. Переважною платформою для гри був ПК (65%), мобільні платформи (27%), консолі (8%).

Експерименту стосується наведення, учасники отримали завдання натискати на кола, коли вони з'являються на екрані. Для того, щоб отримати результати тесту, було використано WinFitts. Це ПЗ застосовується для тестів, які відповідають стандарту ISO 9241 Pointing Device standard. WinFitts 2D розроблено для вимірювання дискретного наведення з вимірюваннями загального часу. Для всіх пристроїв, окрім миші, запропоновано використовувати великий палець, для руху курсора.

Модифікована формула Шеннона з попередньо встановленими змінними була використана для розрахунку індексу складності (IDe) на кожному етапі експерименту (2.2, 2.3).

$$IDe = \log_2\left(\frac{D}{w_e} + 1\right) \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} w_e &= W \frac{2.066}{z(1-Err/2)} \text{ при похибці} > 0.0049\% \\ &= W \cdot 0.0589 \text{ при похибці} < 0.0049\% \end{aligned} \quad (2.3)$$

Учасники експерименту повинні також заповнити анкету після виконання завдання, для оцінки різних аспектів дизайну контролера і відповісти на запитання стосовно отриманого досвіду.

Дані, зібрані за допомогою WinFitts і опитування користувачів, використовувалися для кількісної оцінки функціональності пристроїв з точки зору пропускної здатності, часу переміщення і зроблених помилок. Аналіз результатів виконано за допомогою лінійної регресії. Запитання анкети базувалися на стандарті ISO 9241, а після анкетування учасників запитували про досвід використання кожного типу контролера.

Пропускна здатність

Пропускна здатність вимірюється в бітах на секунду (біт/с). Для чотирьох пристроїв було розраховано та порівняно відповідні показники ППЗ за індексом складності (IDe). Показник ППЗ комп'ютерної миші значно перевершує інші пристрої як інструмент прицілювання. Середнє значення ППЗ пристроїв на значення IDe наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Пропускна здатність різних типів контролерів

Контролер	Значення IDe	ППЗ, біт/с	Похибка, біт/с
Комп'ютерна миша	9	3.99	0.21
Сенсорна панель		2.27	0.28
Steam controller		2.2	0.1
DualShock 4		1.92	0.12

З точки зору ППЗ, інші пристрої показали погані результати порівняно з комп'ютерною мишею. Другий найвищий показник був отриманий за допомогою сенсорної панелі – 2,27 біт/с. Контролер Steam із середнім показником ППЗ – 2,2 біт/с, на 45% менше, ніж миша, і на 3% нижче сенсорної панелі. Контролер DualShock 4 має ППЗ – 1,92 біт/с, що на 12% нижче, ніж у контролера Steam. Зниження ППЗ для кожного з пристроїв введення викликало незадоволеність користувачів цим пристроєм для виконання завдання.

Час переміщення

Закон Фіттса стверджує, що час, необхідний користувачеві для переміщення курсора до цільової області, є функцією відстані до цілі, поділеної на розмір цілі. Таким чином, чим більша відстань і менший розмір цілі, тим більше часу потрібно. Формула часу переміщення має вигляд (2.4).

$$MT = a + b \cdot \log_2\left(\frac{A}{W} + 1\right) \quad (2.4)$$

Таблиця 2.2 – Середній час переміщення курсору контролером

Контролер	Середній ЧП, мс	Похибка, мс
Комп'ютерна миша	954.25	220.41
Сенсорна панель	1625.65	288.96
Steam controller	1776.09	312.56
DualShock 4	2056.52	336.78

Зміна значень часу переміщення для кожного пристрою була подібною до результатів ППЗ. Миша перевершила всі пристрої із середнім часом переміщення 954,25 мс. Після йде сенсорний пристрій – 1625,65 мс, що на 70% повільніше, ніж миша. Наступний контролер Steam із часом – 1776,09 мс, що на 86% повільніше, ніж миша, і на 9% повільніше, ніж сенсорна панель. Найгірший результат у геймпада DualShock 4 з середнім ЧП – 2056,52 мс, що на 116% повільніше, ніж миша, і на 27% повільніше, ніж тачпад, і на 16% повільніше, ніж контролер Steam.

Виникнення помилок

Вимірювання ППЗ і ЧП за допомогою тесту Фіттса забезпечили оцінку точності та часу, який учасники витратили на виконання завдань наведення з кожним контролером. Однак для точної оцінки контролерів, визначено кількість помилок відносно ідентифікатора складності за формулою Шеннона. З результатів вимірювання ППЗ і ЧП, комп'ютерна миша перевершує інші пристрої з найменшою кількістю помилок (6%), за нею йде сенсорна панель (8%), контролер Steam (9%) і геймпад DualShock. 4 (10%).

Лінійна регресія

Додатково до проведеного аналізу, необхідно виконати лінійну регресію за методом найменших квадратів, щоб знайти параметри перетину та нахилу рівняння 2.4. Лінійну регресію параметрів кожного типу контролерів наведено в таблицях 2.3-2.6.

Таблиця 2.3 – Лінійна регресія результатів наведення миші

ІDe, біт/с	2.23	3.05	2.64	3.50	3.44	3.77	4.29	4.37
ППЗ, біт/с	3.67	4.23	3.66	3.99	3.95	4.27	4.18	3.93
ЧП, мс	634.8	763.3	775.7	936.3	962.9	927.2	1062.6	1175.5
Частота похибки, %	0.02	0.02	0.04	0.04	0.07	0.04	0.07	0.08
$y = 240.51x + 89.861$	625.2	823.1	725.7	932.2	916.1	995.6	1121.8	1140.2
$y - \hat{y}$	15.69	-12.36	8.61	4.23	-58.76	15.78	26.80	-38.71
R^2	0.95							

Таблиця 2.4 – Лінійна регресія результатів наведення сенсорної панелі

ІDe, біт/с	2.01	2.71	2.69	3.38	3.82	3.46	4.43	4.60
ППЗ, біт/с	1.69	2.00	2.08	2.31	2.31	2.33	2.60	2.55
ЧП, мс	1262.3	1390.7	1370.2	1525.9	1653.8	1553.2	1793.9	1923.1
Частота похибки, %	0.04	0.05	0.06	0.06	0.04	0.07	0.04	0.03
$y = 274.11x + 641.25$	573.1	740.4	736.6	901.9	1009.4	922.1	1154.5	1197.1
$y - \hat{y}$	70.38	8.01	-8.16	-40.83	-35.44	-36.51	-60.75	19.79
R^2	0.97							

Таблиця 2.5 – Лінійна регресія результатів наведення контролера Steam

ІDe, біт/с	2.43	2.98	2.83	3.36	3.16	3.80	4.14	4.12
ППЗ, біт/с	2.26	2.15	2.23	2.24	2.10	2.36	2.21	1.98
ЧП, мс	1162.1	1422.9	1360.5	1632.7	1790.2	1734.9	2020.8	2135.7
Частота похибки, %	0.01	0.03	0.05	0.04	0.11	0.03	0.07	0.11
$y = 400.79x + 599.43$	674.9	807.1	769.4	897.1	850.9	1002.8	1084.8	1080.2
$y - \hat{y}$	-21.57	-55.16	-33.76	-45.86	214.44	-179.3	-76.05	229.2
R^2	0.91							

Таблиця 2.6 – Лінійна регресія результатів наведення Sony DualShock 4

ІDe, біт/с	2.22	3.15	3.17	3.73	3.21	3.51	4.47	4.40
ППЗ, біт/с	1.79	1.92	2.03	2.08	1.69	1.89	2.05	1.90
ЧП, мс	1487.6	1847.3	1807.3	2072.4	1929.8	2079.9	2268.2	2442.7
Частота похибки, %	0.02	0.03	0.04	0.03	0.17	0.04	0.04	0.09
$y = 535x - 119.79$	624	848.2	852.1	987.2	860.9	934.2	1164.1	1148.4
$y - \hat{y}$	-1.89	-15.95	-62.34	-22.42	45.40	73.55	-121.1	79.29
R^2	0.96							

Лінійна регресія підкреслює лінійний зв'язок між ЧП та ІDe і визначає результати дослідження залежними за показником R^2 . Для всіх позитивних значень перетину отримані значення регресії нижче 400 мс. Також були отримані від'ємні значення перетину, але вони не перевищували -200 мс.

Зручність використання

За результатами анкетування після виконання завдання, майже всі учасники висловили незадоволення DualShock 4 як вказівним пристроєм, через що завдання здавалося надто складним для виконання. Тестування Крускала–Уолліса виявило деякі статистично значущі відмінності у відповідях на запитання між чотирма різними контролерами. Було визначено чотири конкретні області зручності використання, включаючи: плавність роботи,

докладені розумові зусилля, точність наведення пристрою та швидкість переміщення курсору. Загальна оцінка окремих пристроїв показала статистичну значущість у відповідях для кожного з чотирьох контролерів. Гістограму оцінок користувачів щодо виконання різними пристроями завдання наведення приведено на рисунку 2.4.

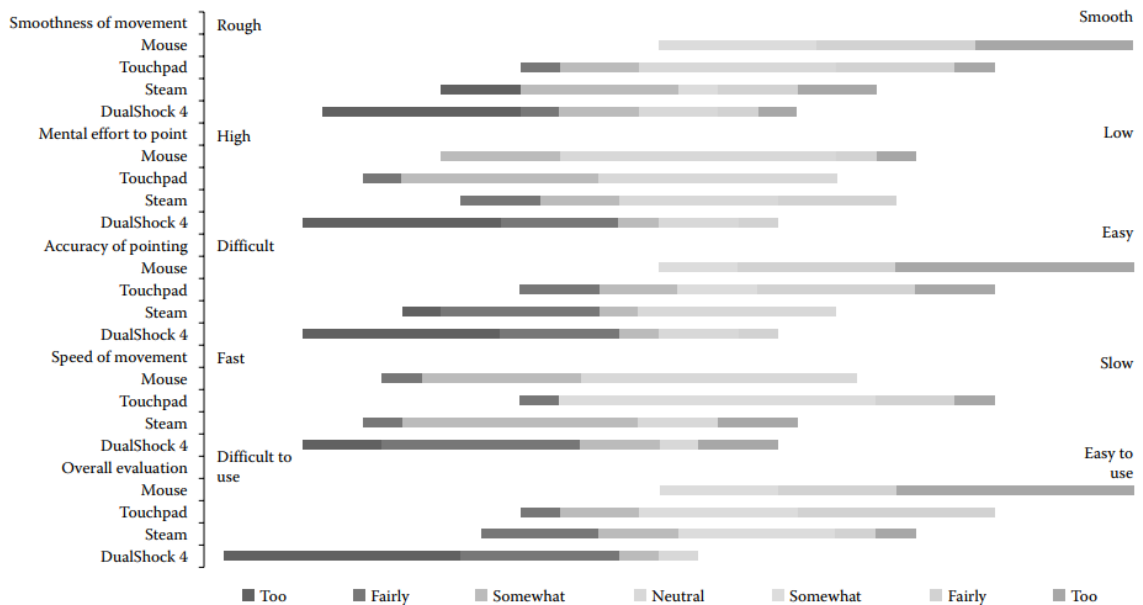


Рисунок 2.4 – Гістограма оцінок параметрів контролерів для наведення

Плавність роботи

Були виміряні значні відмінності в оцінці користувачами плавності роботи. Миша була визнана найбільш плавною з чотирьох контролерів: 67% користувачів вважають, що вона працює досить плавно. 50% користувачів виявили, що сенсорна панель має недостатню плавність рухів. 33% користувачів оцінили плавність контролера Steam як досить плавний пристрій введення, 17% користувачів вважають рух контролера Steam занадто грубим. 50% користувачів Sony DualShock 4 вказали, що переміщення ним курсору є занадто грубим.

Розумові зусилля, докладені під час виконання завдання

Значні відмінності були зафіксовані в оцінці розумових зусиль, необхідних для виконання завдання наведення. Комп'ютерна миша отримала відносно нейтральну загальну оцінку 50% докладених розумових зусиль. Сенсорна панель отримала подібну оцінку 46%, але вона була зважена більше на розумове навантаження. Контролер Steam більш рівномірно розподілений між нейтральним і високим навантаженням, з 50% оцінок користувачів. Однак DualShock 4 отримав 67% оцінок, що вказують на потребу занадто великих розумових зусиль для виконання завдань наведення.

Точність пристрою

Було визначено відмінності в оцінці користувачами точного наведення за допомогою кожного з чотирьох контролерів. Як і у випадку з оцінкою плавності, миша була визнана найпростішим з чотирьох контролерів для руху курсору. 88% користувачів вважають її досить легкою в використанні. 50% користувачів вважали тачпад легким у використанні. 42% оцінок контролера Steam вказали, що він дещо складний. Користувачі DualShock 4 (83%) визнали його надто складним для завдання.

Швидкість переміщення курсору

Більшість користувачів оцінили швидкість миші та тачпада відносно нейтрально, 42% та 50% відповідно. 50% учасників визнали контролер Steam дещо швидким, але 17% вважають його надто повільним. Більшість користувачів (59%) оцінили DualShock, як занадто швидкий контролер, а 17% надто повільний.

Загальна оцінка

У результаті, були обчислені значні відмінності в загальній оцінці користувача чотирьох контролерів у завданнях наведення. Останнім питанням було питання про простоту використання (SEQ), для визначення загальної оцінки користувача щодо простоти використання контролера. Користувачі віддали перевагу миші над іншими пристроями, 75% оцінили її як надто зручну у використанні. Що стосується сенсорної панелі та контролера Steam, користувачі вказали перевагу контролеру Steam через їхню обізнаність з подібними інтерфейсами контролера. Під час подальших запитань користувачі не були впевнені щодо стилю керування сенсорною панеллю за допомогою великого пальця, це пов'язано з тим, що сенсорною панеллю ніколи не керують великим пальцем, і вона майже не використовується в відеоіграх. 42% учасників оцінили тачпад як досить простий у використанні, а 25% відмітили, що ним досить складно користуватися. DualShock 4 був найскладнішим у використанні для завдань наведення, 88% користувачів визнали його надто складним у використанні.

Користувацький досвід

Учасники провели оцінку кожного контролера, як вказівного пристрою за допомогою відкритого опитування. Загальні відгуки про пристрої відповідали висвітленим тенденціям, причому порядок уподобань користувачів був тісно пов'язаний із загальною продуктивністю кожного пристрою. Миша має найбільше позитивних відгуків, де користувачі вказали, що вони віддають перевагу можливості налаштування роздільної здатності

миші (DPI) для завдань наведення, оскільки в інших контролерах чутливість курсору була занадто високою. Другим за популярністю є тачпад. Користувачі відмітили, що не змогли точно вибрати ціль за допомогою натискання; через те, що сенсорна панель може перемістити курсор під час роботи, цей рух вказує на те, що «мертва зона» занадто мала для комфортної роботи. Подібні відгуки були в контролера Steam. Вибір маленьких цілей викликає складність для користувачів через чутливість сенсорного датчика контролера Steam, крім того, він має механізм натискання до якого треба звикнути. Геймпад DualShock 4 викликав найбільше незадоволення користувачів у завданнях наведення. Користувачі виявили, що чутливість була непередбачуваною та непридатною для невеликих рухів. Відгуки відкритого опитування наведено на рисунку 2.5.

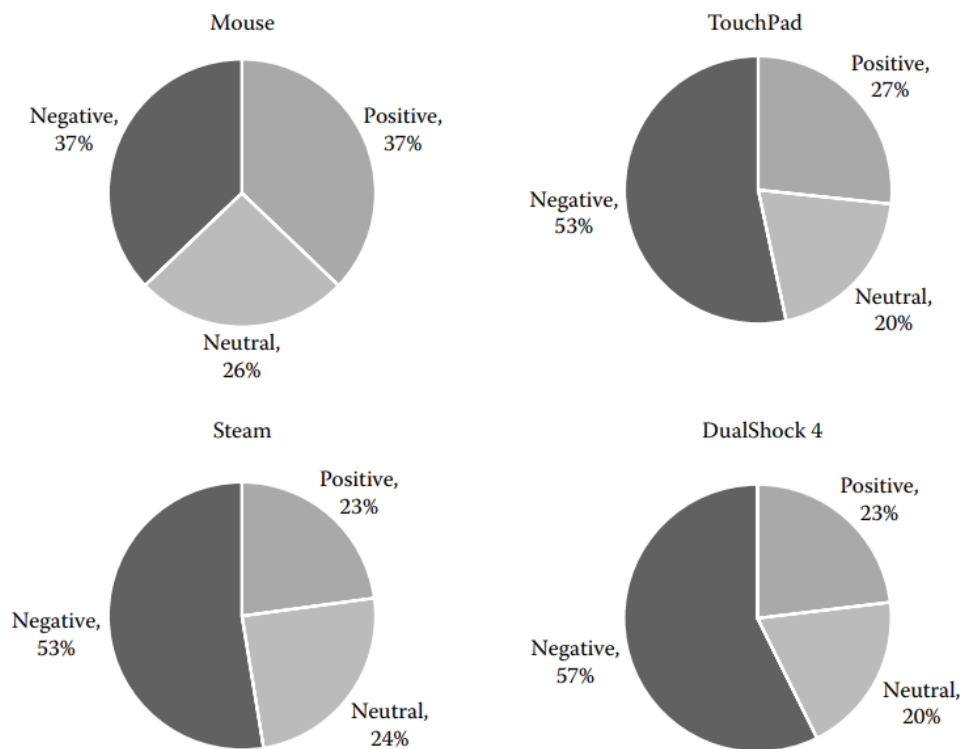


Рисунок 2.5 – Відгуки про контролери для завдання наведення

На *другому етапі експерименту* учасники використовували різні типи контролерів в грі жанру FPS – Half Life 2. Відеогра, є шутером від першої особи з періодичними завданнями головоломок. Користувацький досвід в грі та його оцінка були зафіксовані за допомогою опитування за шкалою Лайкерта та відкритого анкетування. Мета експерименту полягає в тому, щоб оцінити зручність використання контролерів в грі та взаємодію з користувачем, який використовує різні типи контролерів.

Кожен блок тестування складався з 10-хвилинного налаштування та ознайомлення з ключовими функціями, та 15-хвилинного процесу гри для кожного типу контролера. Кожен із блоків ігрового процесу представляв користувачеві новий тип контролера, у порядку зростання складності.

Зручність використання в грі

За допомогою тестування Крускала-Уолліса було визначено статистично значущі відмінності параметрів чотирьох різних типів контролю. Зокрема, запитання щодо сил, необхідних для переміщення та прицілювання, точності контролера для виконання цих завдань, а також загальна оцінка користувача відповідних контролерів показують статистичну значущість цих параметрів пристроїв. Гістограма оцінювання значущих параметрів контролерів у грі наведено на рисунку 2.6.

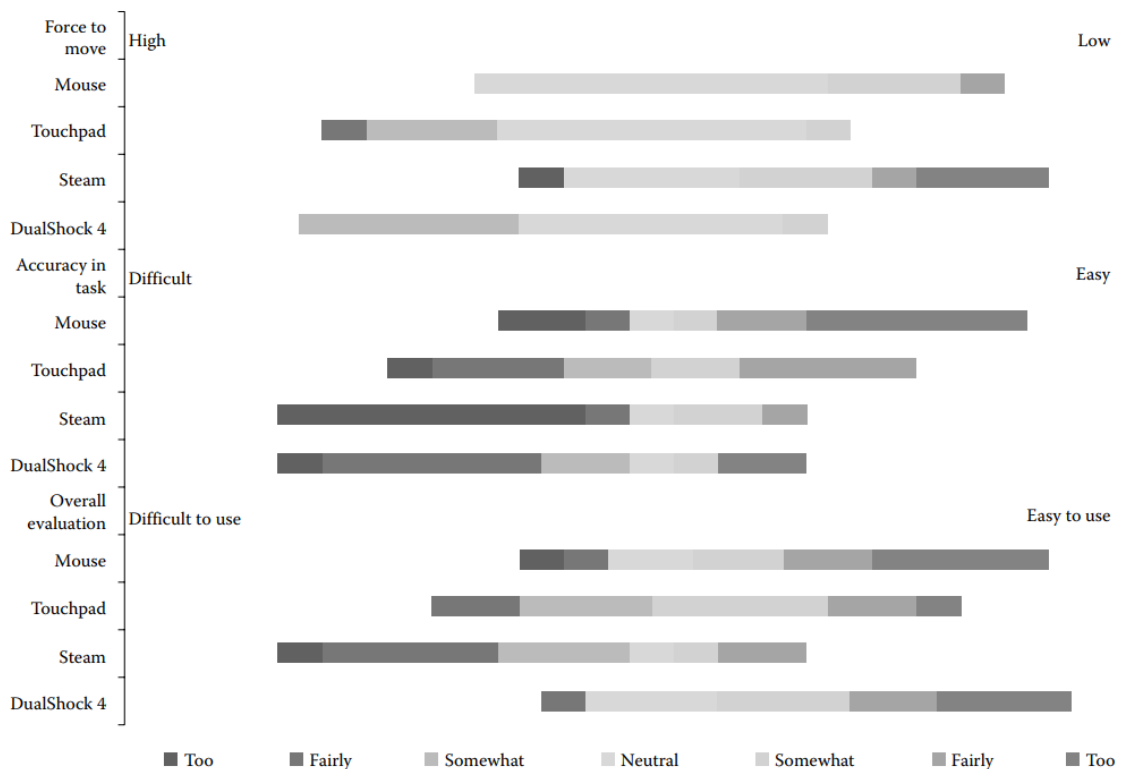


Рисунок 2.6 – Гістограма оцінок параметрів контролерів у грі

Фізична сила, необхідна для руху

Фізична сила, необхідна для переміщення персонажа та прицілювання майже не відрізняється між розглянутими типами контролерів. Комп'ютерна миша, сенсорна панель і геймпад DualShock 4 у середньому вимагають відносно нейтральної величини сили для руху в відеогрі. Однак 33% користувачів оцінили силу, необхідну для контролера Steam, як занадто низьку.

Точність руху

З точки зору точності руху і прицілювання виявлено значні відмінності в оцінці за допомогою кожного з чотирьох контролерів. Комп'ютерна миша виявилася найточнішою з чотирьох контролерів, 41% користувачів визнає її точною у використанні. 50% користувачів сенсорної панелі оцінили її як досить точну. 42% користувачів DualShock 4 зазначають, що контролер досить складно використовувати для точного прицілювання та переміщення. Через особливості елементів управління, 58% користувачів оцінили контролер Steam як занадто складний у використанні для руху і прицілювання.

Загальна оцінка

Тест Крускала-Уолліса виявив значні відмінності в загальній оцінці чотирьох контролерів для гри. Користувачі віддавали перевагу миші серед інших пристроїв, 50% оцінили її як досить просту у використанні. Сенсорна панель і контролер DualShock 4, залежать від індивідуальних уподобань користувача. Сенсорну панель позитивно оцінили 58% користувачів, а DualShock 4 отримав 29% позитивних відгуків. 17% користувачів оцінили геймпад як простий у використанні, оскільки це був повсякденний контролер. Контролер Steam визнали найскладнішим у використанні для гри. 67% користувачів дали йому негативну оцінку, через складнощі у використанні.

Користувацький досвід

Учасники тестування оцінювали різні типи контролерів за допомогою відкритого опитування в кінці кожного блоку тестування в грі. Знову, комп'ютерна миша була оцінена найбільш позитивно, і користувачі вказали, що її легко використовувати для гри. Другими за популярністю пристроями були геймпад і сенсорна панель. Плавні рухи стали можливими з DualShock 4; однак користувачі відзначили, що їм доводилося адаптуватися до використання сенсорній панелі геймпаду. Користувачі позитивно відзначили механізми зворотного зв'язку DualShock 4. Пружинні механізми геймпада надавали користувачам інформацію про силу натискання, яка допомагала позиціонувати палець у робочій зоні. Контролер Steam має найбільше невдоволення користувачів для гри. Користувачі не могли чітко рухатися або прицілюватися. Чутливість також була занадто високою, через це, рухи були хаотичними та різкими для дій, які вимагали точності.

Аналіз відгуків відкритого опитування користувачів надав дані про те, як користувачі відчували ігровий процес з різними контролерами. Відгуки опитування, щодо використання різних типів контролерів у грі наведено на рисунку 2.7.

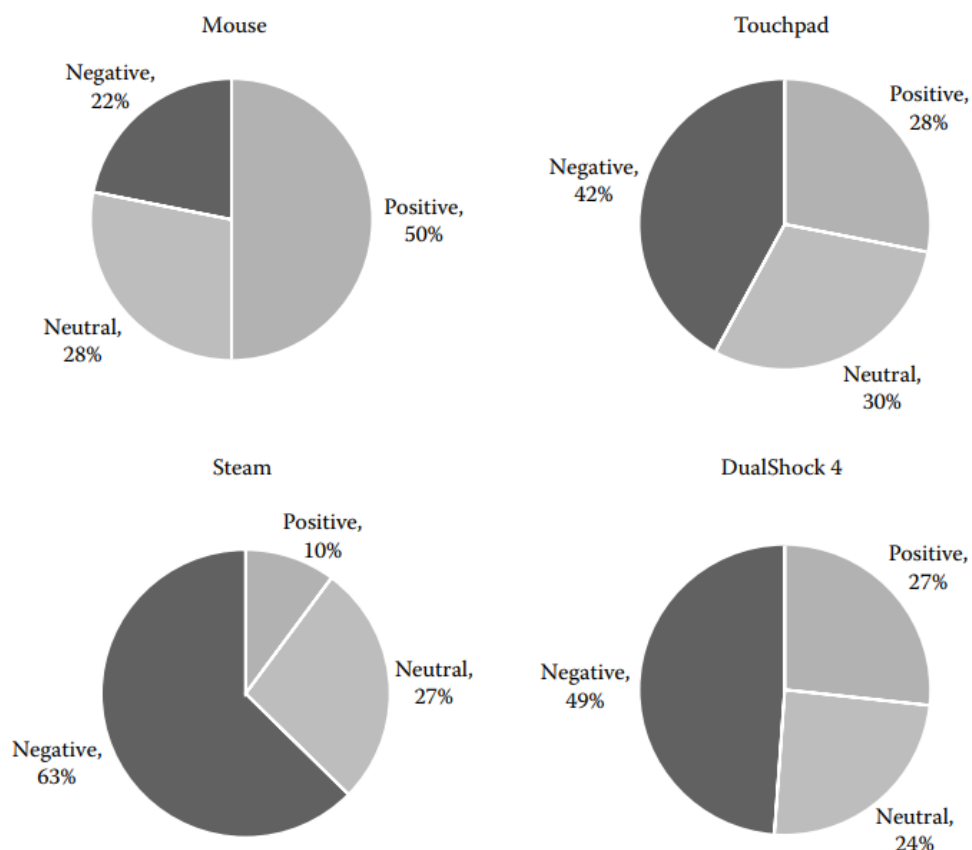


Рисунок 2.7 – Відгуки про контролери під час гри

Комп'ютерна миша отримала найбільш сприятливі відгуки для гри, за нею йдуть сенсорна панель, DualShock 4 і контролер Steam. Контролер Steam отримав найбільшу кількість негативних відгуків, через особливості управління і необхідність навчання для його використання в грі.

Обмеження в проведених експериментах включають відносно коротку тривалість тестів і зосередженість на початковому досвіді користувача з пристроями. Перший досвід використання нового контролера може негативно впливати на його початкову оцінку, але можливо, що проблеми можуть з'явитися і при тривалому використанні, що змінить відгук користувача з позитивного на негативний. Отже довгострокове використання, навчання та адаптація з часом, є особливо важливими при оцінюванні контролерів.

Дані, зібрані під час експериментів, складаються як з даних ПЗ пристроїв, так і з даних, зібраних під час анкетування користувачів. У майбутньому ці дані можна доповнювати, та використовувати зібрану інформацію для розробки контролерів, а також відеоігор, які будуть підтримувати альтернативні контролери і сприяти покращенню користувацького досвіду.

2.2 Необмежене фізичне моделювання у відеоіграх

Фізичне моделювання – це область комп’ютерних наук, метою якої є відтворення фізичних явищ за допомогою комп’ютера. Загалом, ці симуляції застосовують чисельні методи до існуючих теорій, щоб отримати результати, максимально наближені до того, що відбувається в реальних умовах. Це розробникам ігор, передбачити та ретельно проаналізувати, як буде поводитись об’єкт або явище, перш ніж створити його.

Діапазон застосувань фізичного моделювання дуже великий. Раніше фізичне моделювання використовувалося для прогнозування балістичного руху снарядів для військових. Це також важлива область в автомобільному будівництві, яка моделює поведінку певних конструкцій під час поломки або аварії.

Симуляція фізики у відеоіграх дуже поширена, оскільки більшість відеоігор відображають явища і дії, які відбуваються в реальному світі. Багато ігор повністю покладаються на симуляцію фізики і це означає, що для них потрібна стабільна симуляція, яка не буде сповільнюватися, викликати помилок та багів.

У відеоіграх поширене використання лише певних фізичних ефектів. Динаміка твердого тіла – це рух і взаємодія твердих, негнучких об’єктів – на сьогоднішній день є найпопулярнішим видом фізичного ефекту, що моделюється в іграх тому, що більшість об’єктів, з якими відбувається взаємодія в реальному житті, досить тверді, а симуляція твердих тіл є відносно простою. Деякі інші ігри вимагають симуляції більш складних ефектів, таких як: деформація тіла, симуляція рідини, магнітних об’єктів тощо.

У фізиці відеоігор анімація об’єктів та надання їм реалістичної фізичної поведінки досягається за допомогою процедурної анімації на основі фізики, шляхом чисельних обчислень із застосуванням теоретичних законів фізики.

Анімація створюється послідовним відображенням послідовності зображень, де об’єкти злегка рухаються від одного зображення до наступного. Коли зображення відображаються у швидкій послідовності, ефектом є очевидний плавний і безперервний рух об’єктів. Таким чином, щоб анімувати об’єкти у фізичній симуляції, потрібно оновлювати фізичний стан об’єктів (наприклад, положення та орієнтацію) відповідно до законів фізики кілька разів на секунду та змінювати зображення після кожного оновлення. Всі ці обчислення в відеоіграх виконує фізичний движок.

Фізичний движок – це програмний компонент, який виконує фізичне моделювання. Він отримує специфікацію тіл, які будуть змодельовані, а також деякі параметри конфігурації та виконує поетапне моделювання. Кожен крок просуває симуляцію вперед на деякий час, а потім можна отримати результат. Фізичні движки виконують лише числове моделювання, надалі виконується обробка результатів, яка залежить від вимог гри [28].

Рух твердих тіл можна моделювати за допомогою класичної механіки, яка ґрунтується на трьох законах руху Ньютона.

1. Закон інерції: якщо до об'єкту не прикладено жодної сили, його швидкість і напрямок не змінюються.

2. Закон динаміки: сила, що діє на об'єкт, дорівнює масі об'єкта, помноженій на його прискорення. Визначається формулою $F = ma$.

3. Закон дії та протидії: коли одне тіло діє на інше, друге тіло діє на перше з такою ж силою протилежного напрямку.

Симуляцію твердого тіла можна пояснити з допомогою симуляції часток. Симуляція часток простіше, і виходячи з неї можна змодельовати симуляцію твердого тіла, використовуючи ті самі принципи, але додаючи часткам об'єм і форму.

Частка – це просто точка в просторі, яка має вектор положення, вектор швидкості та масу. Згідно з першим законом Ньютона, його швидкість змінюється лише тоді, коли до нього прикладено силу. Коли вектор швидкості має ненульову значення, положення частки буде змінюватися з часом.

Для моделювання системи часток, потрібно спочатку створити масив часток із початковим станом. Кожна частка повинна мати фіксовану масу, початкове положення в просторі та початкову швидкість. Основний цикл моделювання починається, коли для кожної частинки обчислюється сила, яка зараз на неї діє, оновлюється її швидкість на основі прискорення, створеного цією силою, а потім оновлюється положення на основі обчисленої швидкості.

У відеогрі може використовуватися різне джерело сили. Це може бути сила тяжіння, вітер, магнетизм, або їх поєднання. Це може бути глобальна сила, така як постійна гравітація, або це може бути сила між частками, така як притягання чи відштовхування.

Щоб симуляція проходила з реалістичну швидкість, тривалість кроку, має збігатися з реальною кількістю часу, що минув після останнього кроку симуляції. Також крок можна збільшити, щоб прискорити симуляцію або зменшити, щоб вона працювала в уповільненому режимі.

Припустимо, що маємо одну частку з масою m , положенням $p(t_i)$ і швидкістю $v(t_i)$ в момент часу t_i . А $f(t_i)$ – сила прикладена до цієї частки в цей момент часу. Положення та швидкість $p(t_{i+1})$ і $v(t_{i+1})$ цієї частки в наступний момент часу t_{i+1} , відповідно можна обчислити за допомогою формул (2.5-2.7).

$$dt = t_{i+1} - t_i \quad (2.5)$$

$$v(t_{i+1}) = v(t_i) + (f(t_i)/m)dt \quad (2.6)$$

$$p(t_{i+1}) = p(t_i) + v(t_{i+1})dt \quad (2.7)$$

Інтегруємо звичайне диференціальне рівняння руху частки за допомогою неявного методу Ейлера, який є методом, який використовує більшість ігрових фізичних движків через його простоту та допустиму точність для малих проміжків часу, dt .

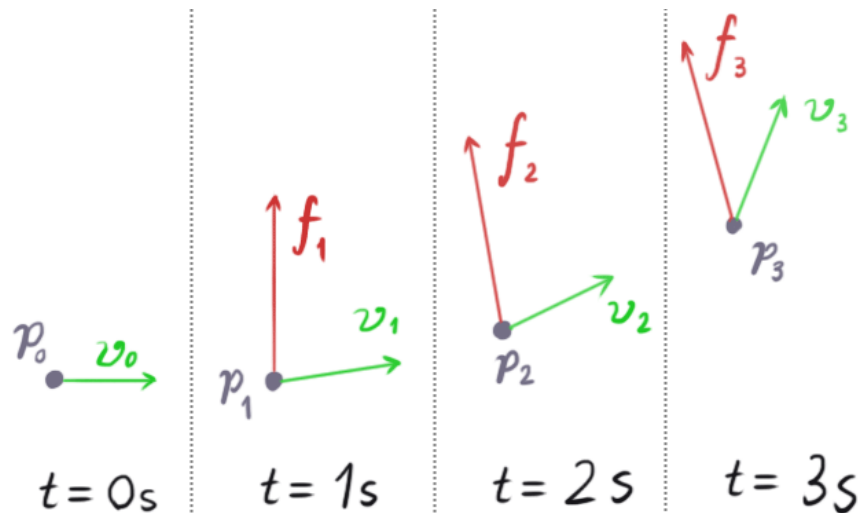


Рисунок 2.8 – Моделювання динаміки частки

Спочатку при $t = 0$ частка знаходиться в положенні p_0 . Після кроку він рухається в тому напрямку, куди вказує вектор швидкості v_0 . На наступному кроці до нього прикладається сила f_1 , і вектор швидкості починає змінювати напрямок до напрямку вектора сили. У наступних ітераціях вектор сили змінює напрямок і продовжує змінювати положення частки. Описану динаміку частки наведено на рисунку 2.8.

Тверде тіло – це об’єкт, що не може деформуватися. Тверді тіла з такими властивостями не існують в реальному світі – навіть найтвердіші матеріали деформуються, коли до них прикладається певна сила. Тверде тіло, що не деформується – це корисна фізична модель для розробників відеоігор, яка спрощує вивчення динаміки, де можна знехтувати деформаціями.

Тверде тіло схоже на частку, оскільки воно також має масу, положення та швидкість. Крім того, воно має об'єм і форму, тому може обертатися. Це ускладнює процес симуляції в тривимірному просторі.

Тверде тіло обертається навколо власного центру маси, і положення твердого тіла вважається положенням його центра маси. Встановимо початковий стан твердого тіла з центром маси на початок координат і нульовим кутом повороту. Його положення та обертання в будь-який момент часу t буде зсуватися від вихідного стану, як це зображено на рисунку 2.9.

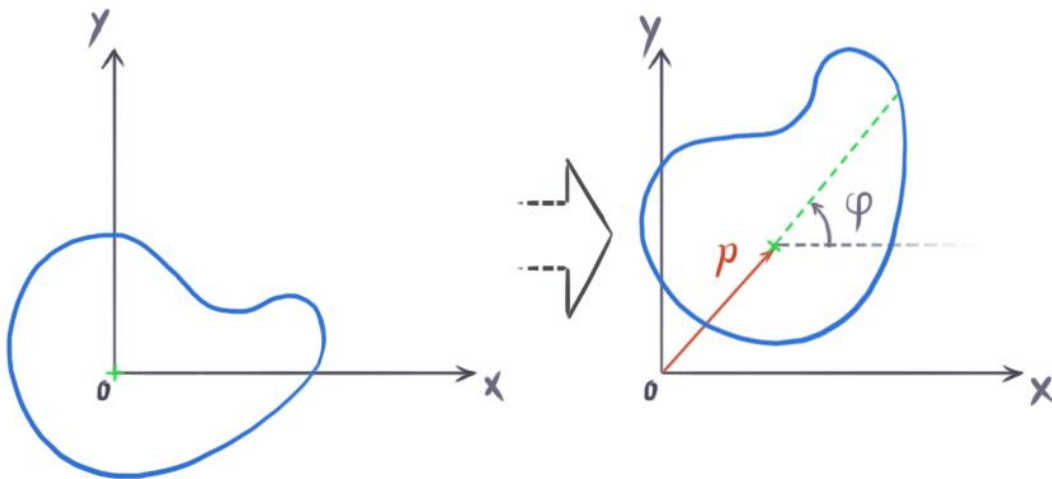


Рисунок 2.9 – Зсув твердого тіла від вихідного стану

Центр маси – це середина розподілу маси тіла. Нехай тверде тіло з масою M складається з N часток, кожна з яких має масу m_i і розташована всередині тіла r_i , то центр маси можна обчислюється за формулою (2.8).

$$\frac{\sum m_i r_i}{M} \quad (2.8)$$

Формула показує, що центр маси є середнім значенням положень часток, зважених за їх масою. Якщо щільність тіла рівномірна, центр маси збігається з геометричним центром тіла. Ігрове фізичне моделювання зазвичай підтримує лише рівномірну щільність, тому геометричний центр тіла завжди використовується, як центр маси.

Тверді тіла не складаються з кінцевої кількості дискретних часток, вони безперервні. З цієї причини необхідно використати інтеграл замість скінченної суми (2.9).

$$\frac{1}{M} \int_V \rho(r) r \cdot dV, \quad (2.9)$$

де $\mathbf{r}$ – вектор позиції кожної точки, а ρ – функція, яка визначає щільність у кожній точці тіла. Інтеграл виконує операцію скінченної суми, однак в безперервному діапазоні V .

Оскільки тверде тіло може обертатися, необхідно враховувати його кутові властивості. У двох вимірах тверде тіло може обертатися лише навколо однієї осі, тому потрібен лише один показник скалярної величини, для представлення його орієнтації.

Для того, щоб обертатися, твердому тілу потрібна певна кутова швидкість, яка є скалярною величиною, вимірюється в радіанах на секунду і позначається ω . Щоб отримати кутову швидкість, на тіло має впливати певна обертальну силу – момент обертання τ . Таким чином, другий закон Ньютона, застосований до обертання твердого тіла (2.10).

$$\tau = I \cdot \alpha, \quad (2.10)$$

де α – кутове прискорення, а I – момент інерції.

При обертанні момент інерції аналогічний масі для прямолінійного руху. Він визначає, наскільки важко змінити кутову швидкість твердого тіла. При розрахунку моменту інерції для двовимірного середовища використовується формула (2.11).

$$I = \int_V \rho(r)r^2 \cdot dV, \quad (2.11)$$

де V означає, що інтеграл виконується для всіх точок по об'єму тіла, $\mathbf{r}$ – вектор положення кожної точки відносно осі обертання, r^2 – скалярний добуток $\mathbf{r}$ на себе, а ρ — функція, яка визначає щільність у кожній точці тіла.

Визначити момент інерції прямокутника масою m , шириною w і висотою h відносно його геометричного центру можна за формулою (2.12).

$$I = \frac{m(h^2+w^2)}{12} \quad (2.12)$$

Коли сила прикладена до точки на твердому тілі, вона може викликати момент обертання. У двовимірному просторі момент обертання τ , що створюється силою $\mathbf{f}$, прикладеною до точки тіла, яка має зміщений вектор від центру мас $\mathbf{r}$, розраховується за формулою (2.13).

$$\tau = |r| \cdot |f| \cdot \sin\theta, \quad (2.13)$$

де θ – найменший кут між векторами f і r , визначення кута (рис. 2.10).

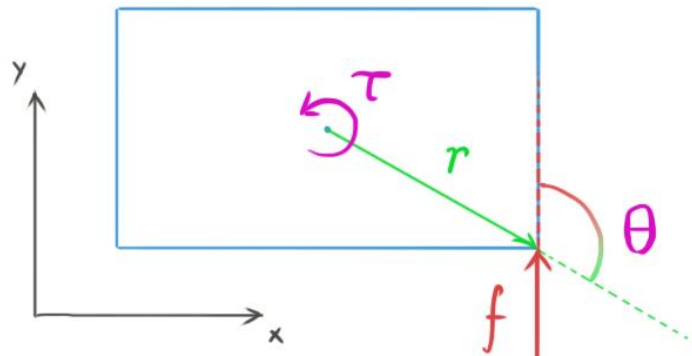


Рисунок 2.10 – Визначення кута θ між векторами f і r

Для розрахунку моменту обертання τ у тривимірному просторі (рис. 2.11) обчислюється векторний добуток r на f , за допомогою формули (2.14).

$$\tau = r \times f \quad (2.14)$$

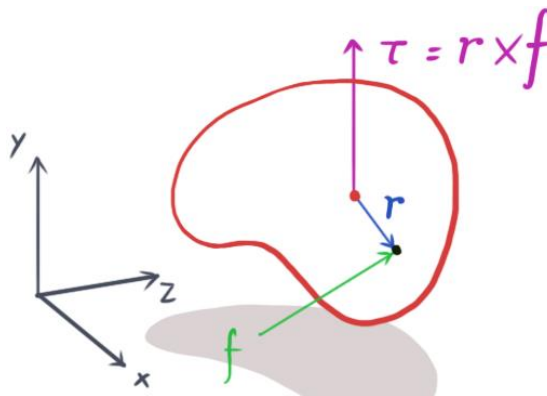


Рисунок 2.11 – Момент обертання τ у тривимірному просторі

Двовимірне моделювання можна прирівняти до тривимірного, де всі тверді тіла будуть тонкими та плоскими, і все відбувається в площині xy , без руху по осі z . Це означає, що f і r завжди знаходяться в площині xy , тому τ завжди матиме нульові значення x і y , оскільки векторний добуток завжди буде перпендикулярним до площини xy . Виходячи з цього момент τ завжди буде паралельним осі z . Таким чином, лише компонент z буде мати значення при векторному добутку.

Якщо до твердого тіла з формою прямокутника прикласти силу не до центру маси спрямовану вгору, буде змінюватися координата y , і таким чином, вона буде створювати момент обертання τ , спричиняючи збільшення кута обертання та приводячи тіло в рух. Графічний результат буде подібний до часток, але тепер тіло має форму, через це воно рухається та обертається, як це зображено на рисунку 2.12.

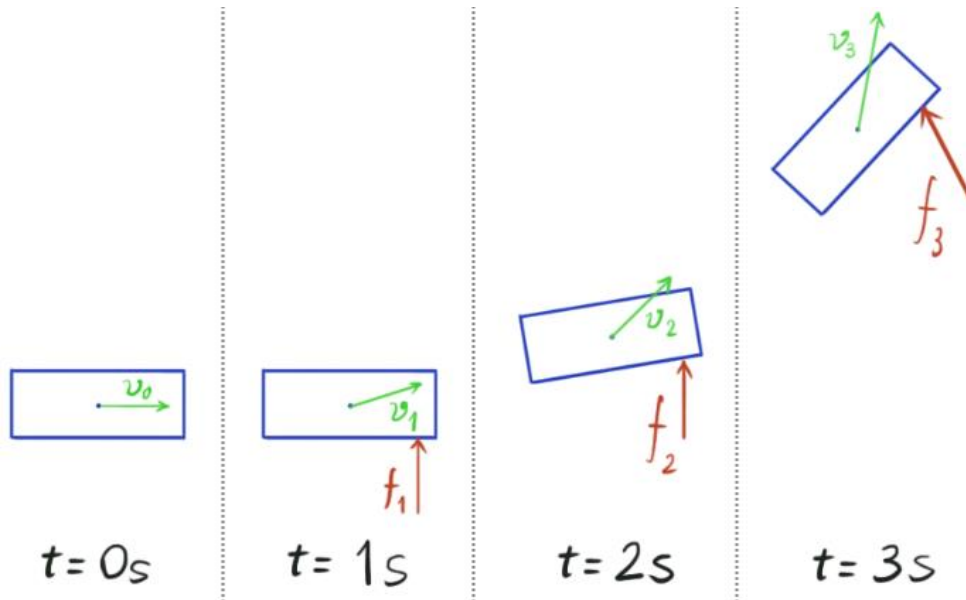


Рисунок 2.12 – Рух твердого тіла силою спрямованою не до центра маси

Описане фізичне моделювання твердого тіла буде необмеженим, тому що тіла можуть вільно рухатися і не взаємодіють одне з одним – вони не зіштовхуються. Таке моделювання неможливо провести в реальних умовах, але воно доступне і використовується у сучасних ігрових фізичних моделях, таких як: Box2D, Bullet Physics і Chipmunk Physics [28].

2.3 Обмежене фізичне моделювання у відеоіграх

Вільний рух твердих тіл дуже просто змоделювати. Однак, щоб змусити об'єкти взаємодіяти один з одним, необхідно виявляти зіткнення а визначати дані про них, які будуть використовуватися в обчисленнях.

Для моделювання реалістичних об'єктів, застосовуються обмеження, що визначають обмеження руху твердих тіл, наприклад: з'єднання тіл та проникання. Обмеження проникання використовується для визначення зіткнень шляхом додавання властивостей тіл, що запобігають прониканню один в одного, а змушують їх відштовхуватися.

Обмеження – це правила, яких необхідно дотримуватися під час моделювання. Вони позбавляють твердого тіла ступенів свободи (DoF). На кожному кроці симуляції обчислюються коригувальні сили або імпульси, що застосовані до тіл та будуть притягувати або розштовхувати їх, таким чином їх рух буде обмежено, накладеними обмеженнями.

При моделюванні обмеження визначається функцією поведінки або функцією обмеження C , яка приймає дані двох тіл як параметри (наприклад, положення та орієнтацію) та в результаті отримує необхідну скалярну величину. Коли значення цієї функції знаходиться в прийнятному діапазоні, обмеження виконується. Тому, на кожному етапі моделювання необхідно прикладати сили або імпульси до твердих тіл, щоб значення C входило в ОДЗ [27].

2.3.1 Обмеження рівності в динаміці тіл

Обмеження рівності – це обмеження, при якому єдиним прийнятним значенням функції C є нуль. Таким чином, під час кожного кроку моделювання необхідно підтримувати C якомога ближче до нуля, тобто мінімізувати функцію. Обмеження рівності використовуються, коли позиція частки або точки тіла завжди має точно відповідати попередньо зазначеній умові.

Частка без обмежень в двовимірному просторі має власну швидкість і прискорення та змінює своє положення, як зображено на рисунку 2.13.

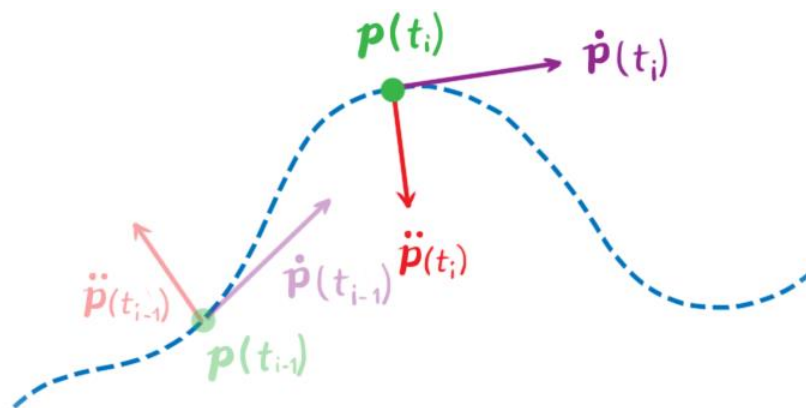


Рисунок 2.13 – Двовимірний рух частки без обмежень

У двовимірному просторі частка має параметр положення $p(t) = (p_x(t), p_y(t))$, що є функцією часу, яка визначає положення частки в момент часу t . Таким чином, $\dot{p}$ є першою похідною від p за часом, та є швидкістю частки $v(t)$. В свою чергу $\ddot{p}$ є другою похідною за часом – прискорення частки.

Для додання обмеження, необхідно обрати функцію поведінки C наприклад:

$$C(p) = |p| - l$$

Функція C отримує різницю відстані частки від початку координат та фіксованої відстані l . Вона дорівнюватиме нулю, коли відстань між часткою та початком координат дорівнює l . Таким чином, ефект обмеження полягає в утриманні частки на фіксованій відстані l від початку координат. Значення p , що задовольняють $C(p) = 0$, є допустимими значеннями положення частки. Обмеження рівності накладене на рух частки зображено на рисунку 2.14.

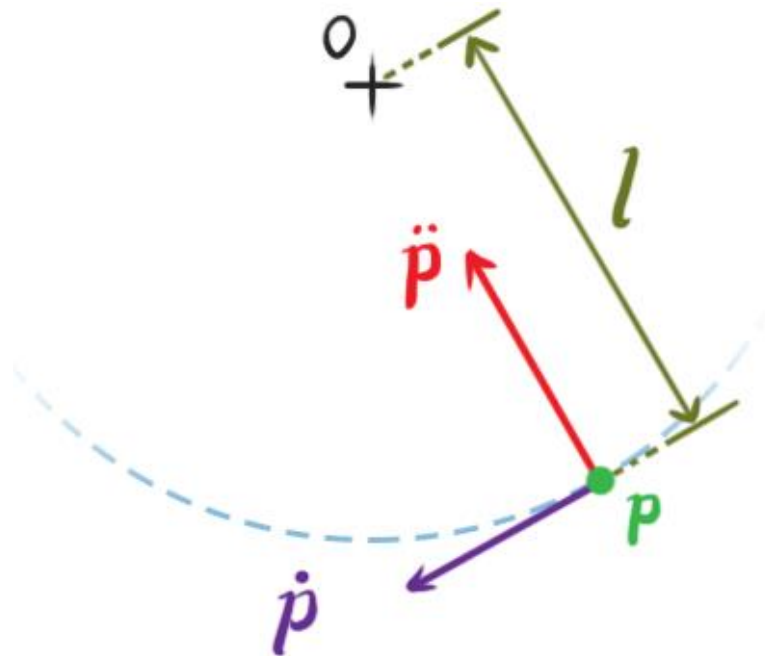


Рисунок 2.14 – Рух частки з обмеженням рівності

Розглянемо рівняння, що обмежує рух тіла від початку координат, воно містить дві змінні x і y та обмежену відстань $l = 2$ (2.15).

$$f(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2} - 2 \quad (2.15)$$

Можна побудувати графік даного рівняння, щоб дослідити деякі властивості функції C при встановленому обмеженні. Графік функції наведено на рисунку 2.15.

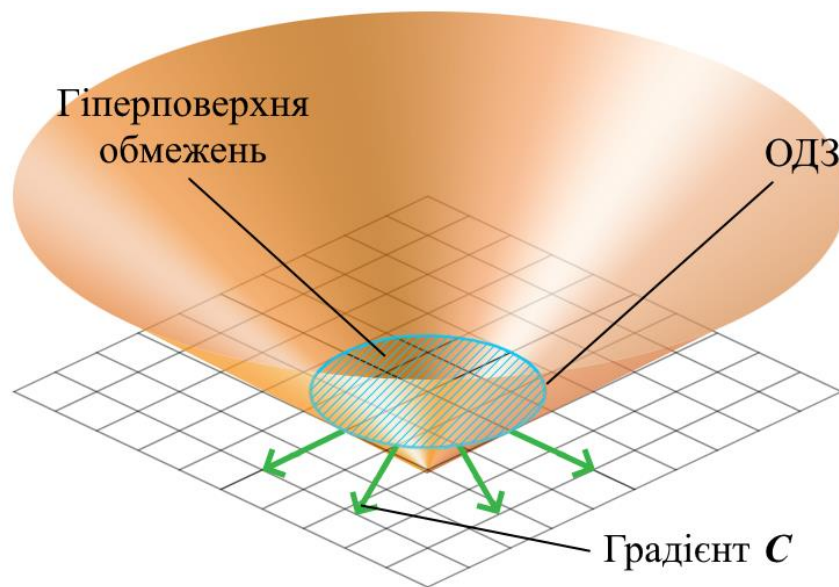


Рисунок 2.15 – Графік функції з обмеженням $l = 2$

Синє кільце на графіку містить точки, де функція $C = 0$, та які є коренями рівняння. Цей набір точок називається – гіперповерхнею обмежень, він містить всі допустимі позиції частки. Гіперповерхня обмежень є s -вимірною поверхнею, де s є числом змінних функції C .

Зелені стрілки показують градієнти C , що знаходяться навколо гіперповерхні, і вказують напрямки до недопустимих позицій частки, де $C \neq 0$. Якщо частка рухається вздовж цих ліній, це порушує правила встановлених обмежень. Таким чином, сили, які використовуються при моделюванні, повинні зміщувати частку в допустимі положення відповідно до зазначеного обмеження.

Розглянутий приклад містить лише дві змінні, більшість функцій обмежень мають набагато більше, але принцип залишається незмінним. На кожному кроці моделювання необхідно додавати сили, які будуть паралельними градієнту C на гіперповерхні обмежень. Якщо встановити таке значення p , щоб функція C завжди була рівною нулю, то при моделюванні це призведе до нереалістичної поведінки частки. Щоб утримувати C якомога ближче до нуля, зберігаючи реалістичну поведінку, необхідне використання силової динаміки та обчислення необхідної сили, прикладеної до частки, щоб вона задовольняла обмеження, не порушуючи закони руху Ньютона.

Щоб обчислити силу обмеження, потрібно знайти допустимі прискорення та швидкості частки. Для цього необхідно отримати похідні функції C за часом. Значення C має залишатися рівним нулю та незмінним протягом процесу моделювання. Це означає, що похідні $\dot{C}$, $\ddot{C}$ також мають дорівнювати нулю.

Поточна функція C містить квадратний корінь, що ускладнює диференціацію. Для спрощення можна переписати формулу (2.15), наступним чином:

$$C = \frac{1}{2}(p \cdot p - l^2)$$

Після спрощення, C так само буде дорівнювати нулю, коли відстань між часткою та початком координат дорівнює l . Звідси можна отримати першу похідну C за часом t :

$$\dot{C} = p \cdot \dot{p}$$

При допустимому положенні p усі швидкості $\dot{p}$, які задовольняють $\dot{C}(p) = 0$, входять до ОДЗ. В розглянутому прикладі це швидкості, які є дотичними до гіперповерхні на графіку (рис. 2.15).

Друга похідна C за часом t отримується так:

$$\ddot{C} = \ddot{p} \cdot p + \dot{p} \cdot \dot{p}$$

За умови, якщо задано допустимі положення та швидкість, усі прискорення $\ddot{p}$, які задовольняють $\ddot{C}(p) = 0$ – прискорення, що входять до ОДЗ. Це мають бути лише прискорення, які спрямовані безпосередньо до або від початку координат.

Використовуючи другий закон руху Ньютона, можна виразити прискорення через силу. Нехай, на частку діють дві сили: комбінація всіх зовнішніх сил $f_{\text{зовн}}$, таких як гравітація, вітер, сили прикладені людиною, і сила обмеження f_c . Силу обмеження необхідно визначити. Якщо припустити, що частка має масу m , її прискорення визначається за формулою (2.16).

$$\ddot{p} = \frac{f_{\text{зовн}} + f_c}{m} \quad (2.16)$$

Підставляючи отриману формулу в $\ddot{C} = 0$ отримуємо:

$$\frac{f_{\text{зовн}} + f_c}{m} \cdot p + \dot{p} \cdot \dot{p} = 0$$

Після перестановки отримуємо рівняння з двома невідомими координатами:

$$f_c \cdot p = -f_{\text{зовн}} \cdot p - m\dot{p} \cdot \dot{p}$$

Рівняння неможливо розв'язати без додання додаткової умови. Силу обмеження необхідно застосувати проти напрямку, у якому необхідно запобігти рух частки. Вона завжди буде вказувати на напрямок, який є перпендикулярним до кола радіусом l , оскільки частка не повинна рухатися за межі цього кола. Швидкість в цих напрямках буде дорівнювати нулю. Таким чином, сили обмеження завжди перпендикулярні до швидкості частки, тому:

$$f_c \cdot p = 0$$

Введемо скалярну величину λ , що представляє силу обмеження, яку слід застосувати, щоб привести систему в допустимий стан. Чим далі система віддаляється від допустимих станів, тим більшим буде значення λ . Тепер λ є єдиним невідомим рівняння:

$$\lambda = \frac{-f_{\text{зовн}} \cdot p - m\dot{p} \cdot \dot{p}}{p \cdot p}$$

Тепер можна безпосередньо обчислити λ і отримати f_c , помноживши λ на p . І після отримання значення f_c застосовувати його до частки при виконанні фізичного моделювання.

Для обчислення сил обмеження потрібно, щоб усі інші сили $f_{\text{зовн}}$ були заздалегідь відомі. І сили обмеження повинні бути застосовані перед виконанням результуючої симуляції. Таким чином, узагальнена послідовність для кожного кроку моделювання матиме вигляд:

- 1) обчислення всіх зовнішніх сил $f_{\text{зовн}}$;
- 2) обчислення сил обмеження f_c ;
- 3) прикладення знайдених сил та симуляція руху частки [29].

2.3.2 Обмеження нерівності в динаміці тіл

Існують типи обмежень, які вимагають гнучкості, коли коригувальні сили застосовуються для більшого діапазону значень функції C , ніж просто нуль. Прикладом таких обмежень є **обмеження проникання**, яке часто

є найважливішим типом обмежень у моделюванні твердого тіла, оскільки воно відповідає за визначення зіткнень, гарантуючи, що два тіла будуть мати реалістичну поведінку.

Зіткнення твердих тіл визначається алгоритмом GJK (Gilbert-Johnson-Keerthi), який розраховує точки контакту на обох тілах, а також нормаль поверхні в точці контакту. GJK є і тестом на близькість, якщо відстань між тілами дуже мала, у цьому випадку точки контакту на двох тілах знаходяться в місцях точками, де вони найближче один до одного.

Обмеження проникнення намагається утримувати тіла розділеними шляхом застосування коригувальних сил, які розштовхують їх, але лише якщо тіла стикаються.

Розглянемо пару двовимірних тіл A і B , які стикаються. У момент контакту A має положення p_A і кут α_A , а B має положення p_B і кут α_B . Нехай r_A вектор, який йде від центру A до точки контакту на тілі A , вектор r_B визначено аналогічно на тілі B . При зіткненні тіл n – це контактна нормаль, що вказує від тіла A до B . Визначення математичних показників при зіткненні тіл A та B зображено на рисунку 2.16.

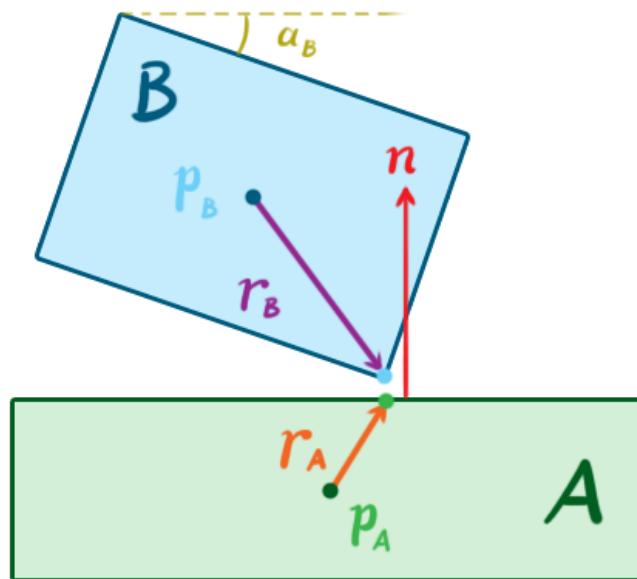


Рисунок 2.16 – Визначення зіткнення твердих тіл

Стандартна двовимірна матриця обертання $R(\theta)$, яка повертає вектори на заданий кут θ :

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

З допомогою матриці $\mathbf{R}$ можна повернути вектори $\mathbf{r}_A$ і $\mathbf{r}_B$ на кути α_A і α_B відповідно. Це дозволяє вивести формулу поведінки твердого тіла $\mathbf{C}$ (2.17).

$$C(p_A, \alpha_A, p_B, \alpha_B) = (p_B + R(\alpha_B)r_B - p_A - R(\alpha_A)r_A) \cdot \mathbf{n} \quad (2.17)$$

Функція поведінки $\mathbf{C}$ бере вектор між точкою контакту на тілі A та точкою контакту на тілі B , проектує його на вектор нормалі $\mathbf{n}$ і розраховує довжину вектору проекції, тобто визначає глибину проникнення в напрямку нормалі. Якщо значення $\mathbf{C}$ більше або дорівнює нулю, коригувальна сила не застосовується, оскільки тіла не проникають. Отже, для перевірки проникнення потрібно виконати нерівність $\mathbf{C} \geq 0$.

З рівняння видно, що потрібно контролювати значення λ для кожного обмеження. В обмеженнях рівності λ може приймати будь-яке значення, тобто сили обмеження можуть бути як у позитивному, так і в негативному напрямку. В обмеженні нерівності, λ має бути більше або дорівнювати нулю, що представляє сили обмеження, які можуть лише відштовхнути тіла, які стикаються, одне від одного [27].

2.4 Динаміка на основі імпульсів

Попередньо було досліджено силовий підхід до застосування обмежень. Обчислюються сили обмежень і прикладаються до тіл разом із зовнішніми силами, для моделювання результируючих рухів. Однак існує інша техніка, яка дуже популярна серед ігрових фізичних движків, яка використовує **імпульсний підхід**, який впливає на швидкість тіл, а не на силу чи прискорення. Це означає, що програма для обмежень обчислює та застосовує зміну лінійної та кутової швидкостей тіл замість того, щоб обчислювати та застосовувати коригувальні сили та покладатися на інтегрування, щоб потім змінити швидкості. Мета **динаміки на основі імпульсів** полягає в тому, щоб знайти імпульси, які призводять до швидкостей, що призведуть до шуканих обмежень тіла.

Загальна послідовність етапів моделювання з використанням імпульсної динаміки відрізняється від послідовності силових обмежень:

- 1) обчислення зовнішніх сил, що діють на тіло;
- 2) застосування сил до тіла та визначення отриманих швидкостей;
- 3) визначення обмеження швидкості на основі функцій поведінки;
- 4) використання обмеження швидкостей і моделювання результату.

Найбільшою перевагою імпульсної динаміки перед силовим підходом є відносна простота алгоритмів. У більшості випадків вона також більш ефективна з точки зору обчислень, що робить динаміку на основі імпульсів більш привабливою для відеоігор, де важливим є показник продуктивності. Однак виникає складність реалістичної поведінки, а також складність під час моделювання тертя поверхонь [28].

Імпульс P – це інтеграл сили F за часом t , визначається за формулою (2.18).

$$P = \int F dt \quad (2.18)$$

Якщо постійна сила F прикладається протягом часу h , то імпульс визначається за формулою (2.19).

$$P = h \cdot F \quad (2.19)$$

Коли два тверді об'єкти зіштовхуються, вони залишаються в контакті протягом короткого проміжку часу, протягом якого вони деформуються та накладають однакові та протилежні сили один на одного. Після цієї взаємодії їх швидкості можуть різко змінитися, як і імпульси. Якщо об'єкти є абсолютно твердими тілами, час, протягом якого вони контактують, нескінченно близький до нуля, а їхні швидкості змінюються відразу після зіткнення. Ідеально твердих тіл не існує, але спрощення використовується для реалістичного моделювання поведінки дуже твердих об'єктів.

Метою підходу є знаходження імпульсів, які задовольняють обмеження для поточного етапу моделювання. Послідовні імпульси – це техніка, яка використовується для пошуку цих імпульсів. Це ітераційний алгоритм, який визначає швидкість обмеження, застосовуючи імпульси до твердих тіл на кожній ітерації, і виконує повторення, доки результуюча похибка швидкості не буде мінімізована, або поки $\dot{C}$ не наблизиться до нуля. У послідовних імпульсах відбувається моделювання та розрахунок кожного обмеження окремо.

Нехай $\dot{q}_1 = \dot{q}(t_{i-1})$ і $\dot{q}_2 = \dot{q}(t_i)$. Тобто $\dot{q}_1$ і $\dot{q}_2$ є швидкістю на попередньому кроці часу та поточному кроці, яку необхідно визначити, відповідно. Використовуючи напівнеявний метод інтегрування Ейлера, необмежена швидкість $\dot{q}_2$ для поточного кроку визначається:

$$\dot{q}_2 = \dot{q}_1 + \Delta t M^{-1} \cdot F_{\text{зовн}}$$

Визначена таким чином швидкість може не задовольняти обмеження, і в цьому випадку вона повинна бути скоригована за допомогою імпульсу. Нехай P_K є імпульсом обмеження. Поділивши його на масу, отримано зміну швидкості, яка застосовується до попереднього значення, щоб отримати бажане значення швидкості, яке задовольняє обмеження:

$$\dot{q}_2 = \dot{q}_2 + M^{-1} \cdot P_K$$

Для знаходження P_K визначається, що імпульс буде прикладено в тому ж напрямку, що й миттєва сила, яка його створює, використовуємо факт, що обмеження повинні бути паралельними градієнту функції поведінки. Таким чином, формула імпульсу коригування (2.19) має вигляд:

$$P_K = J^T \cdot \lambda, \quad (2.20)$$

де λ є вектором величин.

Імпульсний підхід обходить другий закон Ньютона, пропускаючи обчислення сил і їх результуючих прискорень, він може генерувати миттєві зміни швидкості, які можуть викликати небажане тремтіння симуляції. Щоб позбавитися цих ефектів, зазвичай додається коефіцієнт зсуву до обмеження швидкості:

$$\dot{C} = J\dot{q}_2 + b = 0$$

$J\dot{q}_2 + b = 0$, оскільки $\dot{q}_2$ має бути допустимою швидкістю. Тоді, після операцій підстановки і перестановки рівняння швидкості, отримано:

$$JM^{-1}J^T\lambda = -(J\dot{q}_2 + b)$$

Після вирішення цього рівняння для λ можна обчислити імпульс коригування за допомогою формули 2.19 і оновити швидкість тіла.

Кожне обмеження необхідно розрахувати окремо та застосувати імпульси, оновлюючи швидкості тіл, а потім повторити цей крок кілька разів, доки не буде досягнуто подібності результатів або максимальної кількості ітерацій. Щоб завершити етап моделювання, потрібно використати формулу оновлення позицій за допомогою кінцевих швидкостей (2.21) [27].

$$q_2 = q_1 + \Delta t \dot{q}_2 \quad (2.21)$$

Висновки за розділом

У другому розділі було розглянуто методи досліджень взаємодії користувача з контролером, що входять до стандарту ISO 9241-9 галузі HCI. Визначено відмінності типів контролерів та платформ, що їх підтримують. Описані форми взаємодії та механізми сучасних платформ і контролерів. Використано модель Макнамара та Кіраковські для дослідження індексу продуктивності Фіттса, індексу складності, пропускної здатності, часу переміщення, частоту похибки чотирьох типів контролерів: комп'ютерної миші, сенсорної панелі, контролера Steam і геймпада DualShock 4. Визначено, як ці параметри впливають на показники функціональності, зручності використання, користувацького досвіду обраної моделі. Для визначення залежності результатів дослідження було застосовано лінійну регресію. За аналізом оцінок користувачів контролерів, визначено найкращий контролер для завдань переміщення курсору і використання в іграх – комп'ютерна миша.

Описано обмежене і необмежене фізичне моделювання у відеоіграх. Розглянуто симуляцію руху часток і твердого тіла, виявлення зіткнень, моделювання реалістичних твердих об'єктів з застосуванням обмежень рівності та нерівності. Обмеження наведено з точки зору силового підходу, з обчисленням коригувальних сил, та імпульсного підходу, де виконується обчислення коригувальних швидкостей.

3 ЗАСТОСУВАННЯ ЕМУЛЯТОРІВ ІГРОВИХ КОНТРОЛЕРІВ

3.1 Загальне поняття емулятора

Емулятор зазвичай відноситься до апаратного або програмного забезпечення, яке наслідує функціональність іншої комп'ютерної системи. Хоча основною метою емулятора є імітація іншої системи, емулятор також може покращити оригінальну систему, надаючи додаткові функції або покращуючи продуктивність оригінальної системи.

Емулятори використовуються для вирішення відсутності підтримки між різними видами обладнання. За допомогою нього можна запускати інші операційні системи у власній; імітувати звукове обладнання, підсилювачі; грати у відеоігри на апаратному забезпеченні, не передбаченому для цих ігор тощо.

Нові технології розвиваються швидше, ніж будь-коли, а нові ігри ще швидше. Кожен хоче спробувати нову гру, але не має можливості через відсутність двох основних компонентів:

- прогресивний комп'ютер;
- спеціальних ігрових контролерів [30].

У рамках кваліфікаційної роботи емулятор стосується програмного забезпечення, яке використовується для того, щоб імітувати альтернативний тип ігрового контролера (геймпад, ігрове кермо), щоб грати в ігри на ПК або хмарному сервісі, за допомогою миші, клавіатури та смартфона. Серед багатьох видів емуляторів обрано 3, які дають змогу виконувати емуляцію різних типів контролерів: vJoy Driver, Xbox360CE, Wireless Mouse та VoiceAttack.

3.2 Емулятор ігрового керма на основі драйвера vJoy

vJoy – це драйвер пристрою, який усуває відсутності підтримки між різними пристроями, які не є геймпадом, або не мають ПЗ, яке не підтримується на певній платформі. При розробці ігрового програмного забезпечення для Windows, яке потребує фізичного введення користувача, слід включити бібліотеку vJoy до неї, щоб включити підтримку різних контролерів.

					КНУ.РМ.123.22.11.03.3ЕІК		
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ЗАСТОСУВАННЯ ЕМУЛЯТОРІВ ІГРОВИХ КОНТРОЛЕРІВ		
Розробив	Левенець						
Перевірив	Кумченко						
Н.контроль	Кузнецов						
Затвердив	Купін						
					Літера	Аркуш	Аркушів
					КІ-21м		

vJoy можна використовувати з базовою конфігурацією або модифікувати її. Він встановлюється з інструментами налаштування та прикладом коду, який передає дані та налаштовує віртуальний контролер обраний користувачем. vJoy реалізовано як драйвер віртуального пристрою контролера для ОС Windows, який не представляє фактичний пристрій.

ОС сприймає пристрій vJoy як стандартний контролер. Однак він отримує свої сигнали через заданий програмний інтерфейс. Перевагами цього інтерфейсу є те, що його можна легко змінити, щоб зменшити число сигналів контролера збільшивши при цьому швидкість передачі і обробки даних, що в свою чергу збільшить продуктивність емулятора. Блок-схему роботи контролера без використання емулятора наведено на рисунку 3.1.

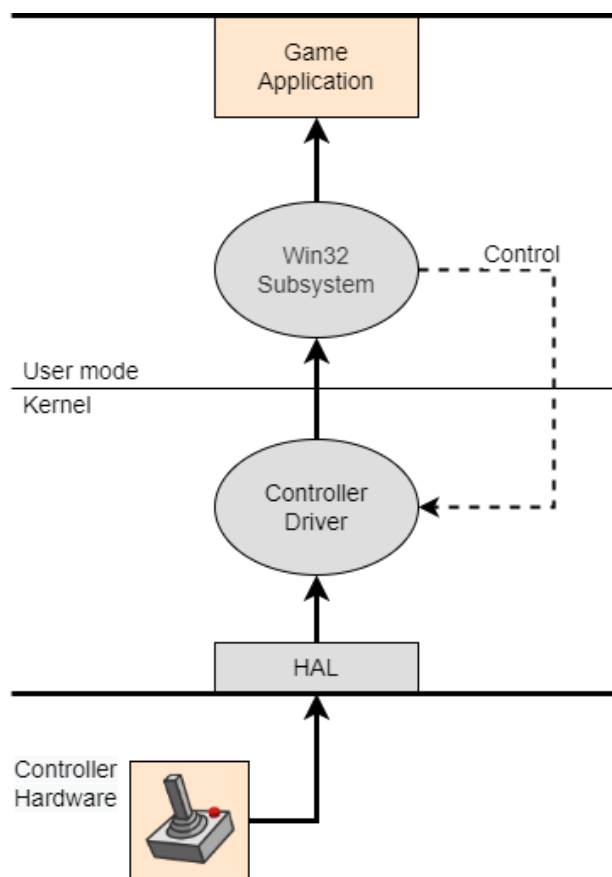


Рисунок 3.1 – Блок-схема роботи контролера без емулятора

Для використання драйверу можна написати програму надання даних (Feeder Application), яку можна встановити на сторонньому пристрої та підключатися до інтерфейсу vJoy. Наприклад додаток смартфона буде передавати додаткові параметри: натискання на сенсор, положення гіроскопа, запущені додатки тощо [31]. Блок-схему роботи контролера з використання емулятора разом з ФА наведено на рисунку 3.2.

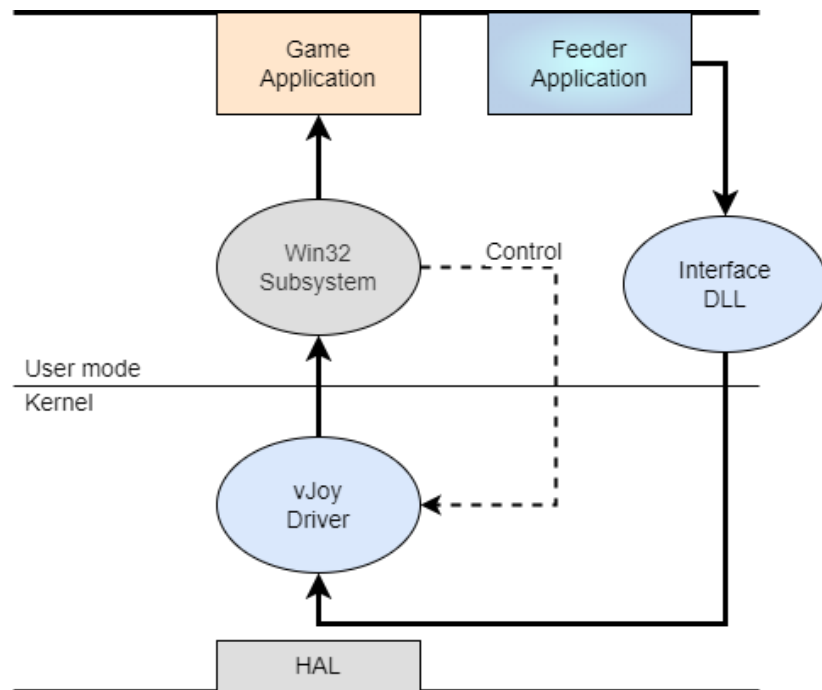


Рисунок 3.2 – Блок-схема роботи контролера з використання емулятора

Для використання драйвера vJoy необхідно відключити всі фізичні контролери від ПК та встановити компоненти vJoy Feeder, Configuration, Monitoring, Device Listing, щоб в подальшому мати можливість налаштувати власну програму контролера. Встановлення супутніх компонентів vJoy зображено на рисунку 3.3.

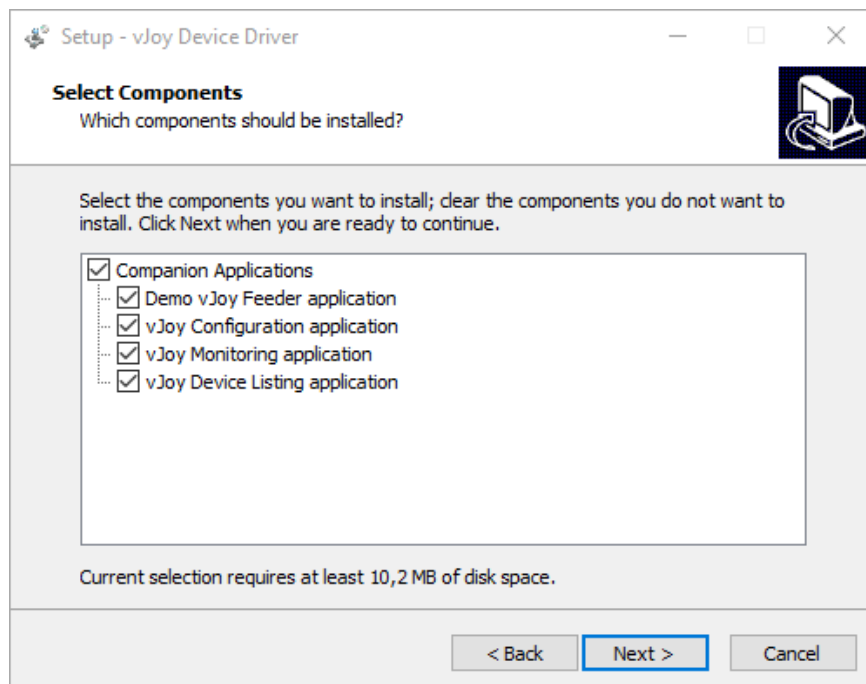


Рисунок 3.3 – Встановлення необхідних компонентів драйвера vJoy

Програма налаштування vJoy Configure визначає функції контролера, який буде імітований за допомогою емулятора: застосування осей, кількість кнопок, наявність перемикача управління камерою та зворотній зв'язок контролера. Після виконання налаштування та збереження функцій, віртуальний контролер додається до HID пристроїв системи. Налаштування та підключення віртуального контролера наведено на рисунках 3.4, 3.5.

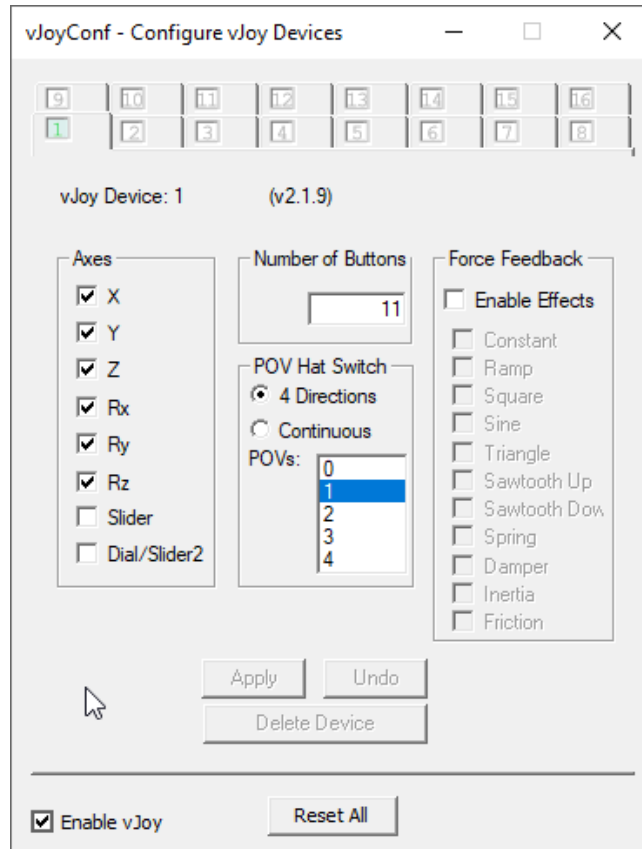


Рисунок 3.4 – Налаштування функцій віртуального контролера

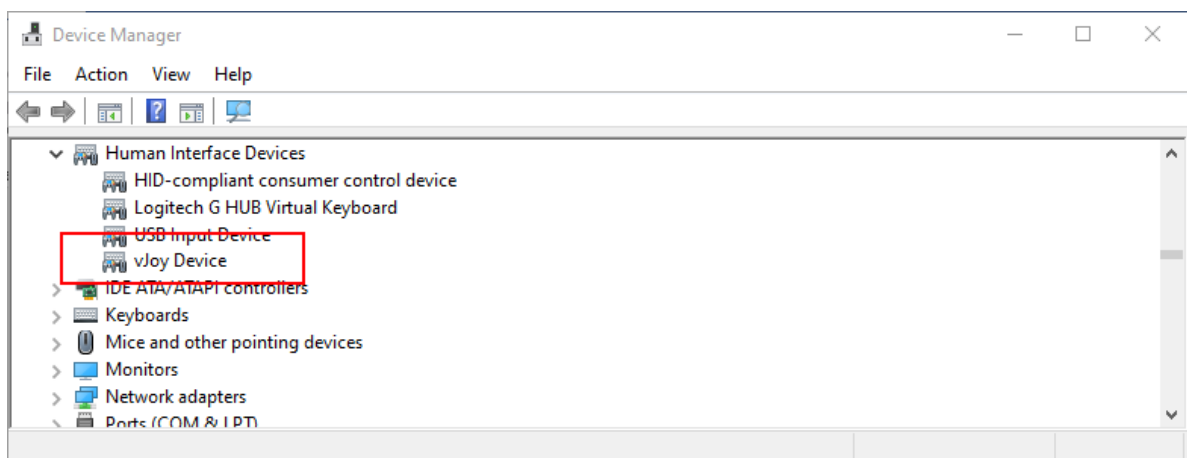


Рисунок 3.5 – Додання віртуального контролера до пристроїв ПК

ФА може змінювати сигнали входів контролера який потрібно імітувати. vJoy Feeder допомагає залишити лише необхідні кнопки, а всі інші відключити. Також Feeder може обмежити величину кожного з доступних сигналів, наприклад відхилення по осям. Скріншот налаштування vJoy Feeder наведено на рисунку 3.6.

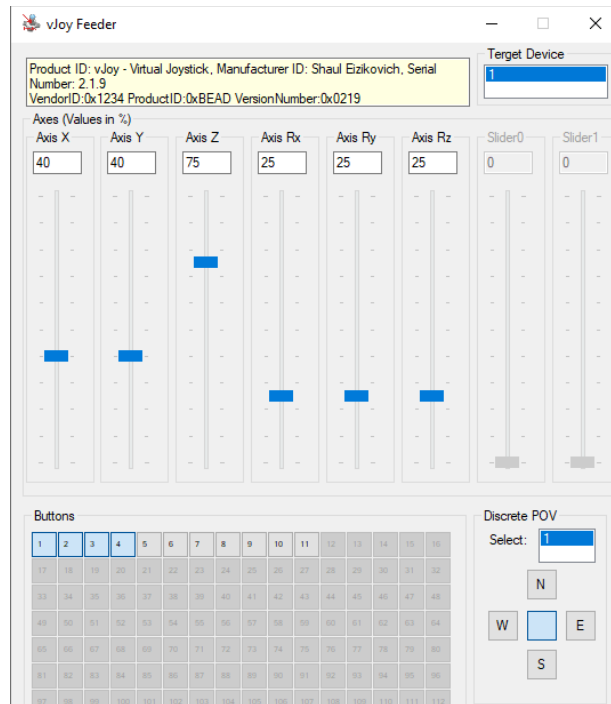


Рисунок 3.6 – Налаштування параметрів сигналів контролера в ФА

Для моніторингу роботи функцій, кнопок, руху по осям використовується додаток vJoy Monitor, який в реальному часі відображає зміну входних сигналів контролера. Тестування роботи функцій контролера наведено на рисунку 3.7.

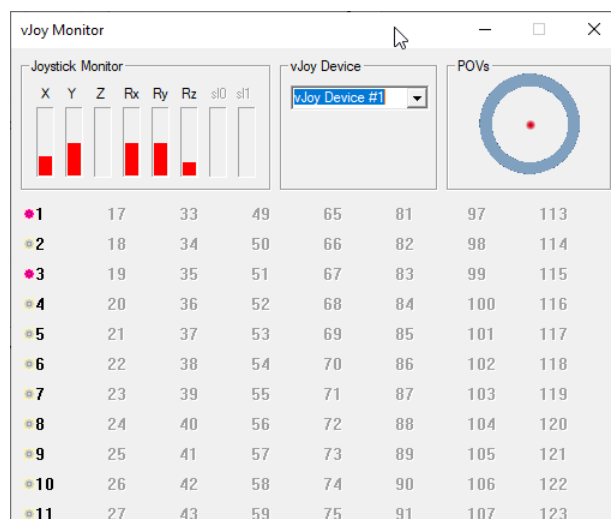


Рисунок 3.7 – Тестування роботи функцій віртуального контролера

В рамках кваліфікаційної роботи драйвер vJoy буде застосовано для емуляції ігрового керма. Для цього буде використано ПЗ Android Steering з відкритим вихідним кодом, яке встановлюється на ПК і смартфон з ОС Android. Інтерфейс додатків на пристроях наведено на рисунках 3.8, 3.9.

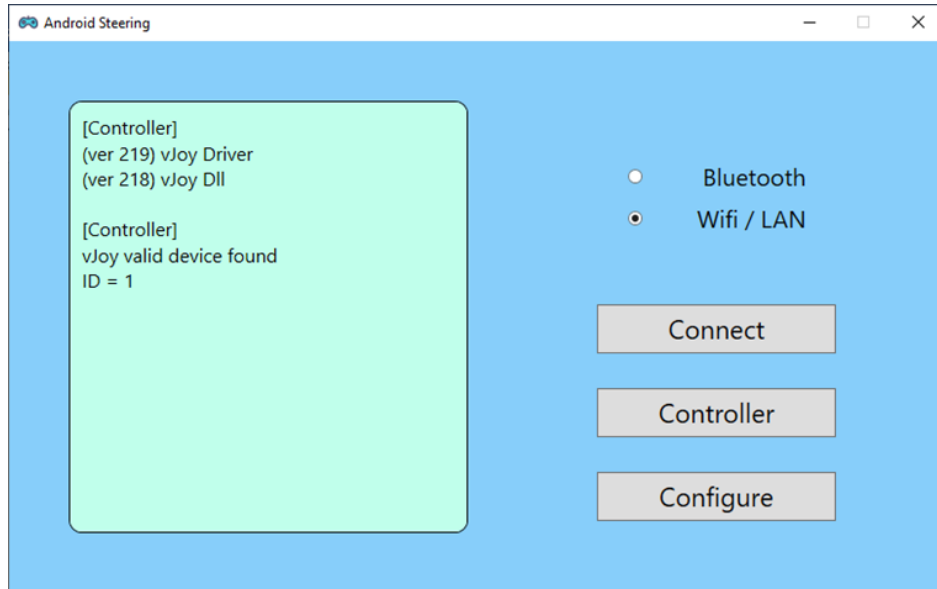


Рисунок 3.8 – Інтерфейс Android Steering на ПК

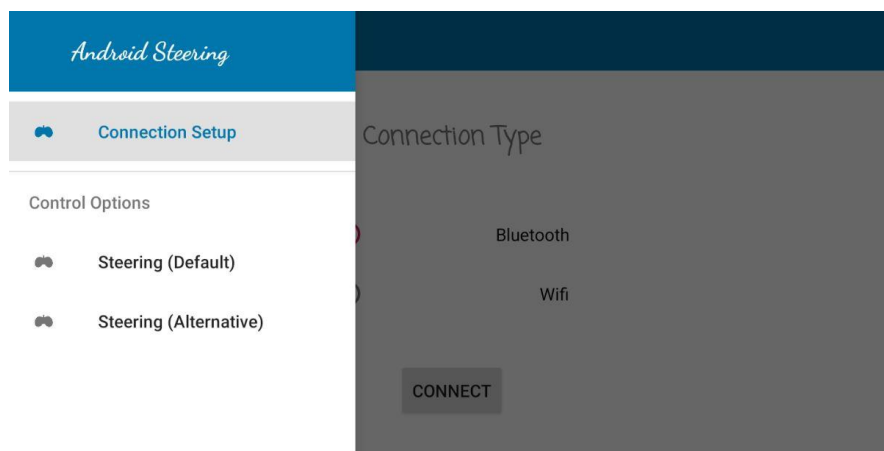


Рисунок 3.9 – Інтерфейс Android Steering на Android смартфоні

Для встановлення зв'язку між пристроями програма або спробує підключити смартфон до ПК через Bluetooth з унікальним UUID, або підключитися до локальної мережі Wi-Fi за допомогою введення IP-адреси.

З'єднання починається з процесу перевірки, сервер він надсилає 123456 до клієнта та очікує повернутого значення 654321. Після цього буде встановлюється з'єднання для подальшого обміну даними. Надалі буде використовуватися підключення через мережу Wi-Fi. Встановлення зв'язку між пристроями наведено на рисунку 3.10.

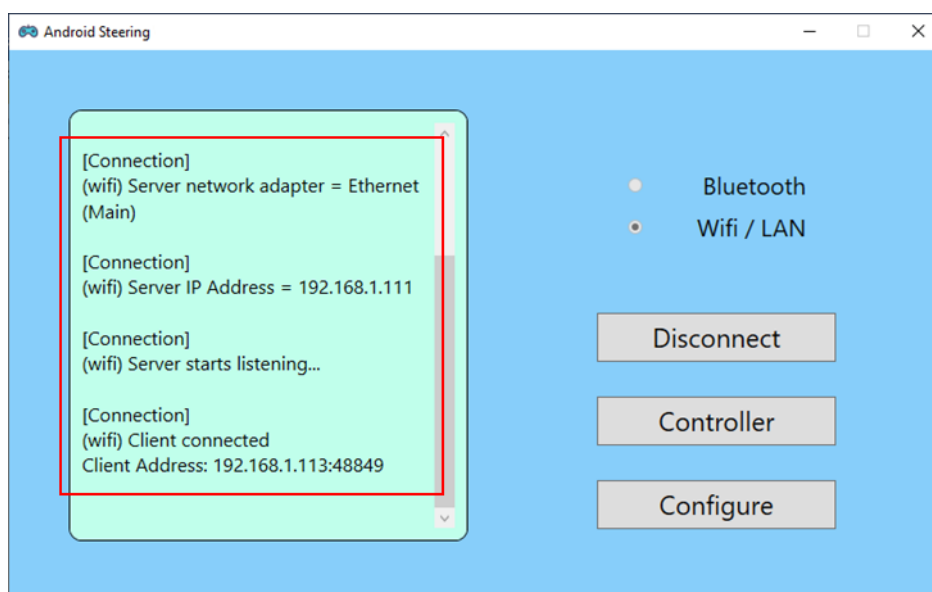


Рисунок 3.10 – Встановлення з'єднання клієнт-сервер

Після підключення смартфона він буде передавати дані про натискання на сенсорні кнопки та кут нахилу акселерометра через драйвер vJoy до відеогри. Елементи управління на смартфоні наведено на рисунку 3.11.

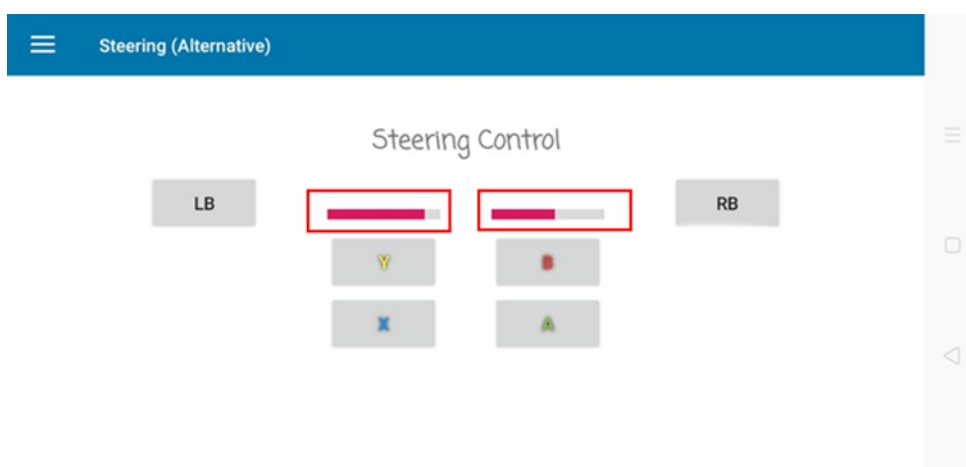


Рисунок 3.11 – Елементи управління керма на смартфоні

Користувач починає керування тримаючи смартфон вертикально рівно, в горизонтальному положенні. Для початку руху можна налаштувати одну з кнопок або нахилити телефон вперед навколо осі X, щоб прискорити автомобіль. Для виконання поворотів виконується нахил телефону вліво або вправо. Для зупинки або гальмування також використовується кнопка або нахил телефону назад навколо осі X. Величина повороту вліво і вправо фіксується та відображається на датчиках зображених на рисунку 3.11.

Для тестування ігрового керма в грі, було використано відеогру Euro Truck Simulator 2. Спочатку гра запропонувала обрати Joy контролер основним засобом управління, а після необхідно було налаштувати кнопки під основні функції автомобіля. Призначення функцій кнопкам наведено на рисунку 3.12.

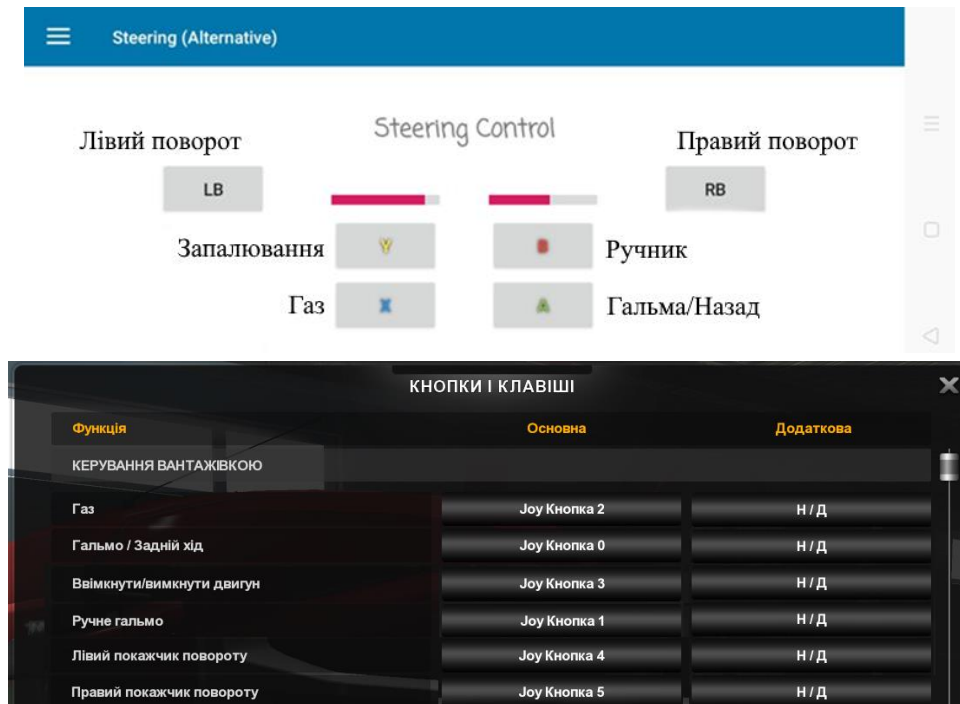


Рисунок 3.12 – Призначення функцій кнопкам ігрового керма

Тепер ігровим процесом можна управляти за допомогою емулятора керма. За допомогою нахилів телефону виконується поворот керма, а функції автомобіля керуються за допомогою натискання кнопок. Ігровий процес з використанням емулятора ігрового керма наведено на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 – Управління ігровим процесом емулятором керма

Емулятор Android Steering може імітувати роботу ігрового керма та виконувати невеликий набір додаткових функцій, але йому не вистачає ступенів свободи (DoF) та використання акселератора обмежує кут повороту керма, що знижує зручність використання.

3.3 Емулятор геймпада Xbox360CE

Існує велика кількість ексклюзивів для консолі Xbox або застарілі відеоігри, які підтримують лише управління геймпадом Xbox або PlayStation через, що більшість людей, які мають лише комп'ютер із стандартними контролерами – клавіатурою та мишею, не можуть пограти в них. Для вирішення цієї проблеми використовується емулятор геймпада Xbox360CE. Він імітує функції геймпада Xbox360 на ПК та підтримує сучасні ігри консолей Xbox One [32]. Блок-схему роботи емулятора Xbox360CE наведено на рисунку 3.14.

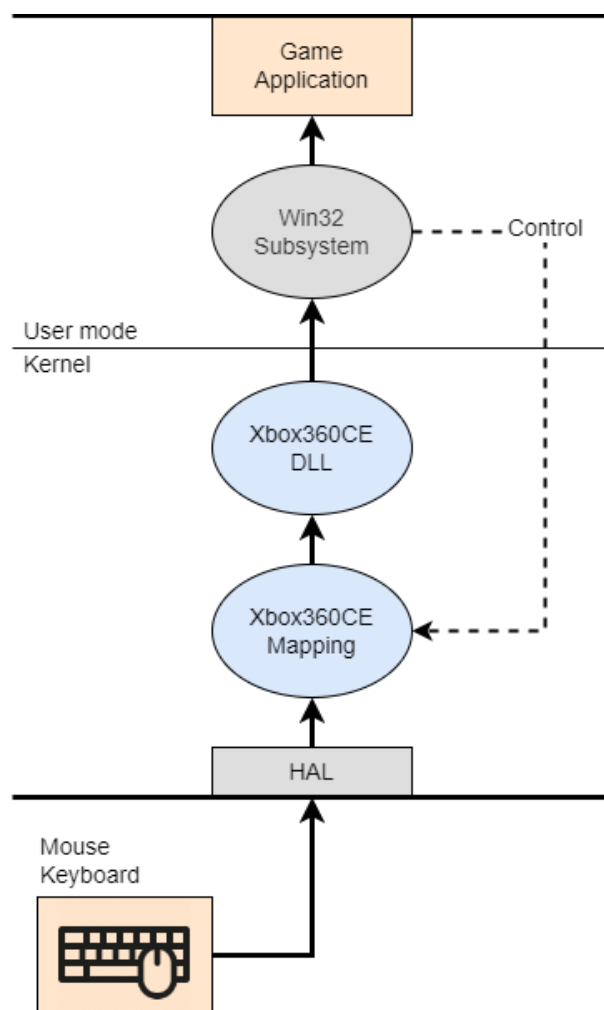


Рисунок 3.14 – Блок-схема роботи емулятора геймпада Xbox360CE

Хbox360СЕ може імітувати будь-який контролер підключений до ПК, як геймпад Хbox360. В рамках кваліфікаційної роботи буде виконано емуляцію геймпада за допомогою клавіатури та миші. Інтерфейс емулятора наведено на рисунку 3.15.

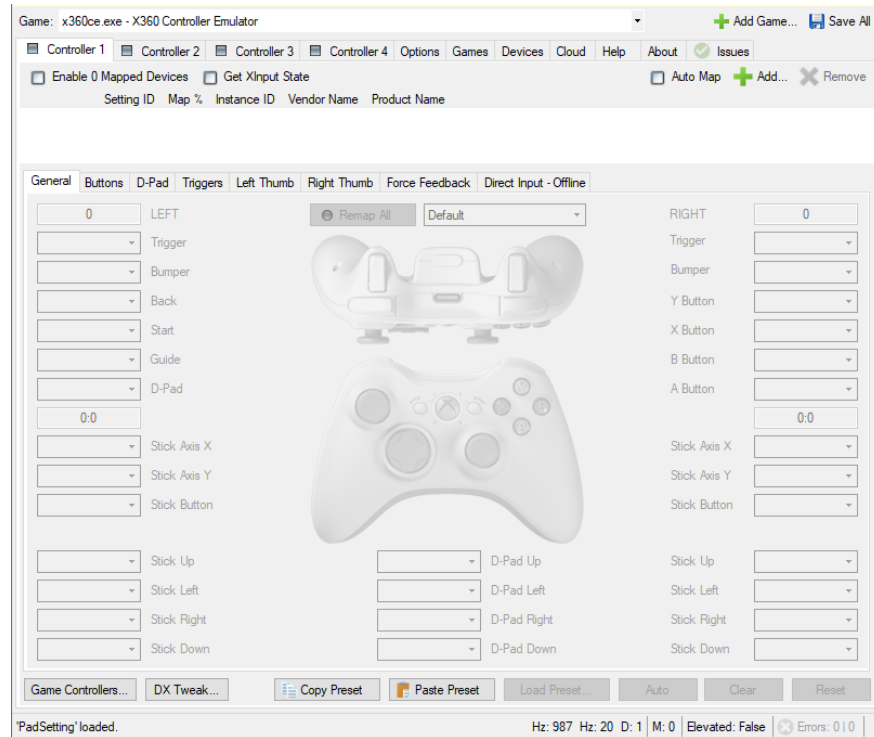


Рисунок 3.15 – Інтерфейс емулятора Хbox360СЕ

Тепер необхідно додати контролери, які будуть виконувати функції геймпада Хbox360 в процесі емуляції, в даному випадку миша і клавіатура. Додання пристроїв до емулятора наведено на рисунку 3.16.

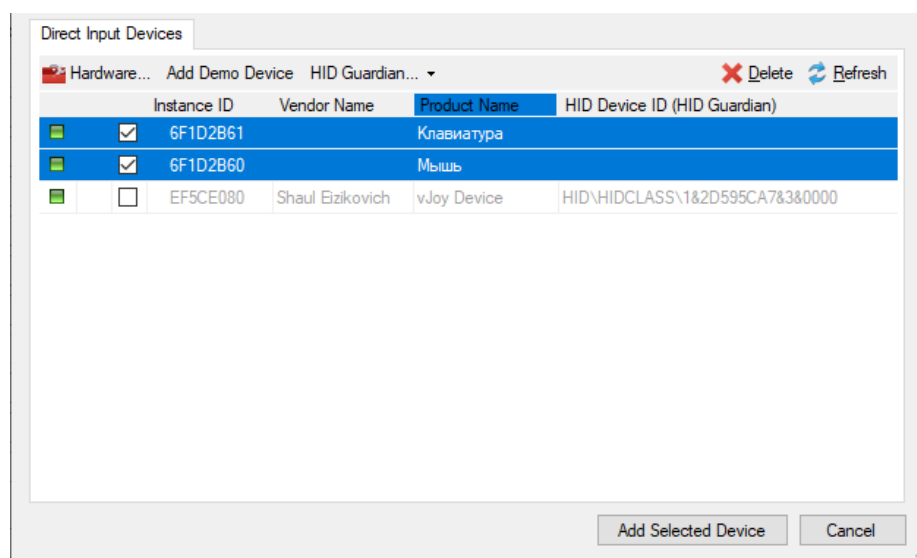


Рисунок 3.16 – Додання контролерів для виконання функцій

Після додання клавіатури та миші, треба призначити кнопки та рухи, які будуть виконувати функції контролера. Рух та кнопки миші буде використано для контролю стіків, а клавіатура для імітації натискання кнопок геймпада. Співвідношення кнопок і функцій наведено на рисунку 3.17.

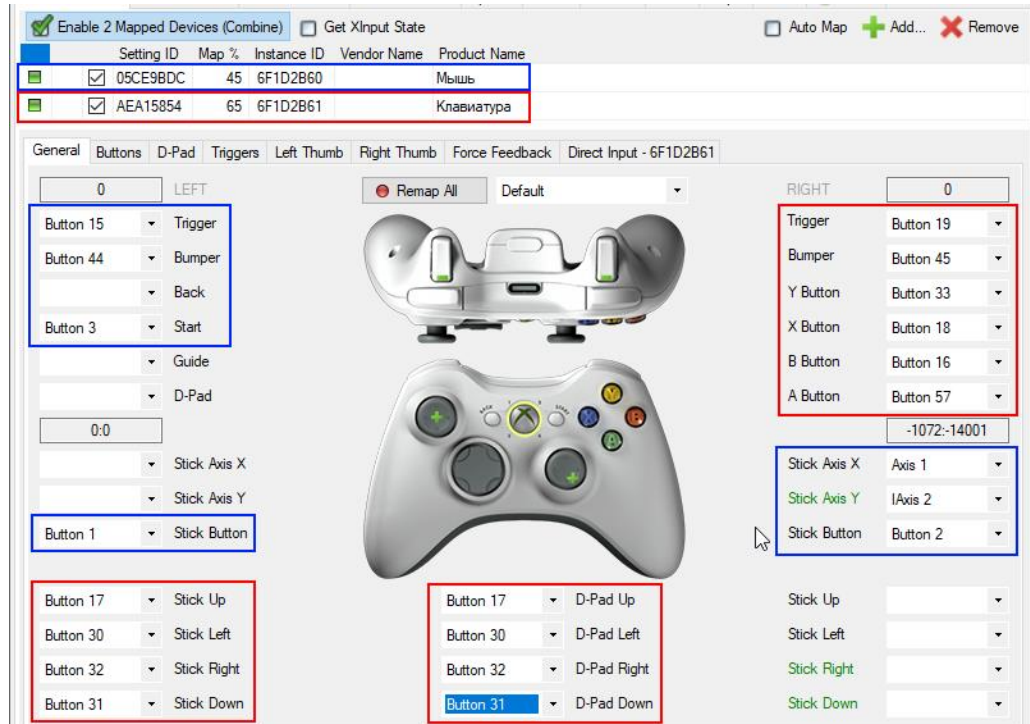


Рисунок 3.17 – Співвідношення кнопок і функцій геймпада

Програма емулятора також дає можливість налаштувати параметри елементів керування геймпада: мертві зони D-Pad, стіків і кнопок, чутливість стіків, можливість увімкнення зворотного зв'язку. Приклад налаштування мертвих зон і чутливості стіків наведено на рисунку 3.18.

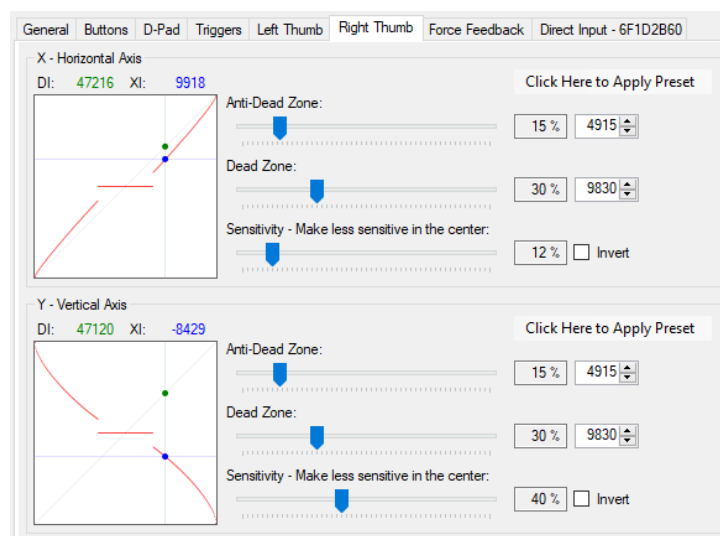


Рисунок 3.18 – Параметри мертвих зон і чутливості стіків в емуляторі

Тестування роботи емулятора геймпада Xbox360 та призначених кнопок виконано за допомогою ПЗ Gamepad Tester і наведено на рисунку 3.19.

Xbox Controller

Xbox 360 Controller (XInput STANDARD GAMEPAD)

INDEX	CONNECTED	MAPPING	TIMESTAMP
1	Yes	standard	3212303.80000

Pose	HapticActuators	Hand	Display	Vibration	Test
n/a	n/a	n/a	n/a	Yes	Vibration

B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
B16							
0.00							

AXIS 0	AXIS 1	AXIS 2	AXIS 3
1.00000	-1.00000	0.00002	-0.40850

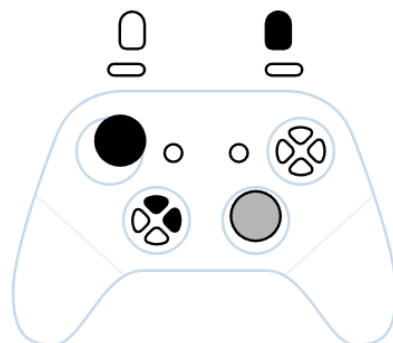
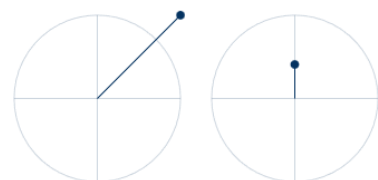


Рисунок 3.19 – Тестування функцій Xbox360CE в Gamepad Tester

Емулятор геймпада Xbox360 виконує всі функції та може стати замінити геймпад за допомогою клавіатури та миші. Єдиним недоліком емулятора є те, що його можуть не підтримувати сучасні консольні ігри, тому він часто використовується саме для управління в застарілих відеоіграх.

3.4 Емулятор миші і клавіатури WirelessMouse

Wireless Mouse – це емулятор на базі Android для керування комп'ютером. Він складається з двох додатків:

1. WifiMouse.
2. Assistant.

WifiMouse – це додаток для Android, який працює як TCP-клієнт, а Assistant – це Java додаток для комп'ютера, який виконує роль TCP-сервера.

Коли Assistant запускається на ПК, додаток Android на смартфоні виконує пошук пристроїв локальної мережі до якої він підключений.

Коли пристрій буде знайдено в навігаційній панелі з'явиться можливість підключення або можна напряму задати IP-адресу пристрою до якого необхідно виконати підключення [33]. Процес підключення клієнта та сервера в одній мережі Ethernet допомогою протоколу TCP/IP наведено на рисунку 3.20.

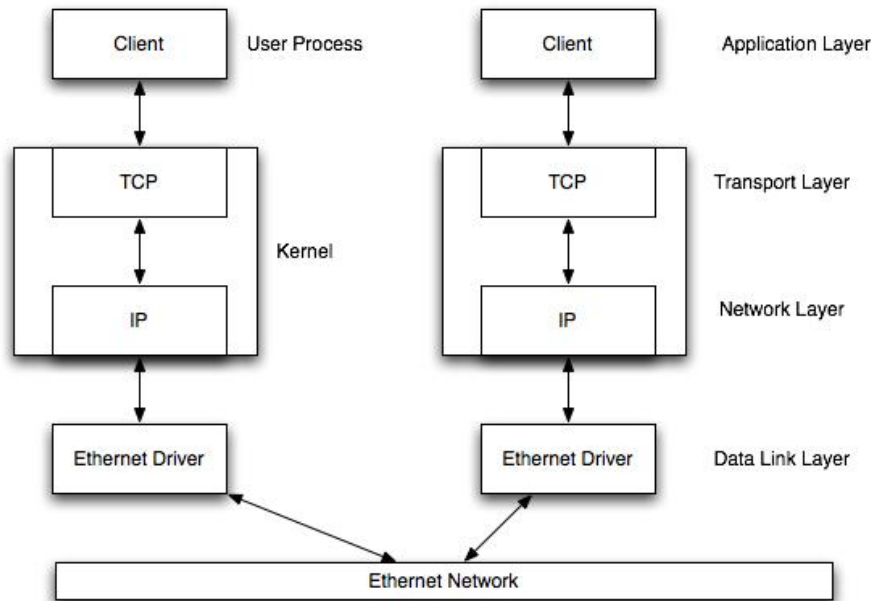


Рисунок 3.20 – TCP підключення клієнта та сервера в одній мережі

Для використання емулятора, потрібно під'єднати Android пристрій і комп'ютер до однієї мережі Wi-Fi, та перейти до вікна підключення в додатку WifiMouse, обрати пристрій на якому запусканий сервер, та переконатися, що пристрої було підключено, після цього емулятор готовий до роботи. Інтерфейси додатків сервера Assistant і клієнта WifiMouse наведено на рисунках 3.21, 3.22.

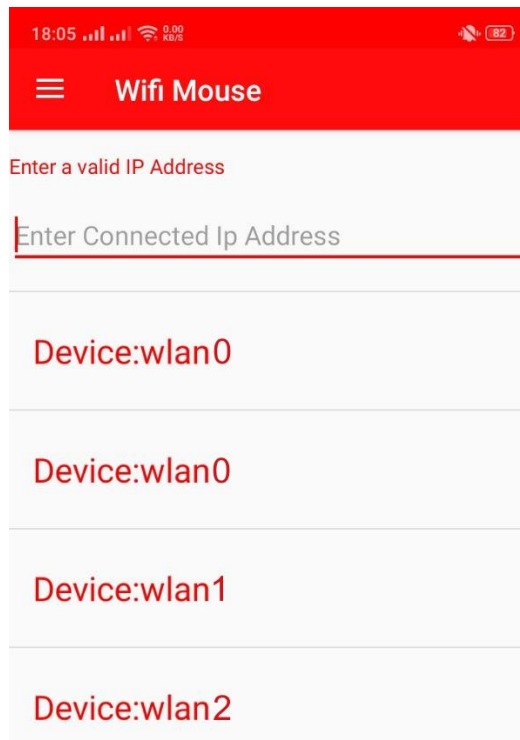


Рисунок 3.21 – Інтерфейс Android-додатка клієнта WifiMouse

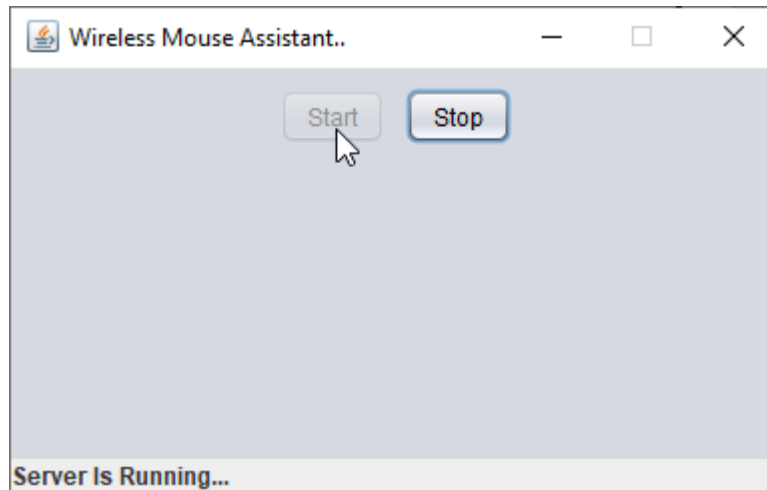


Рисунок 3.22 – Інтерфейс додатку сервера Assistant

Функції додатка WifiMouse включають контроль курсором за допомогою сенсору із можливістю зміни чутливості, друкування тексту, а також опції швидкого доступу:

1. Копіювання виділеного.
2. Вирізання виділеного.
3. Вставка.
4. Видалення виділеного.
5. Видалення виділеного назавжди.
6. Закриття поточного вікна.
7. Вихід з програми.

Набір опцій швидкого доступу додатка наведено на рисунку 3.23.

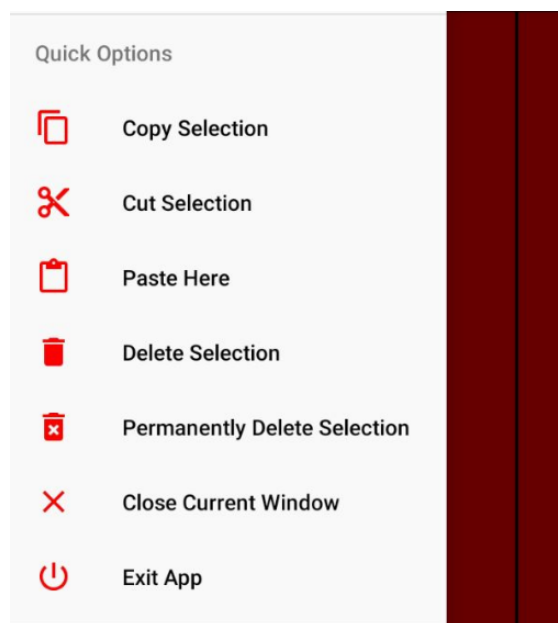
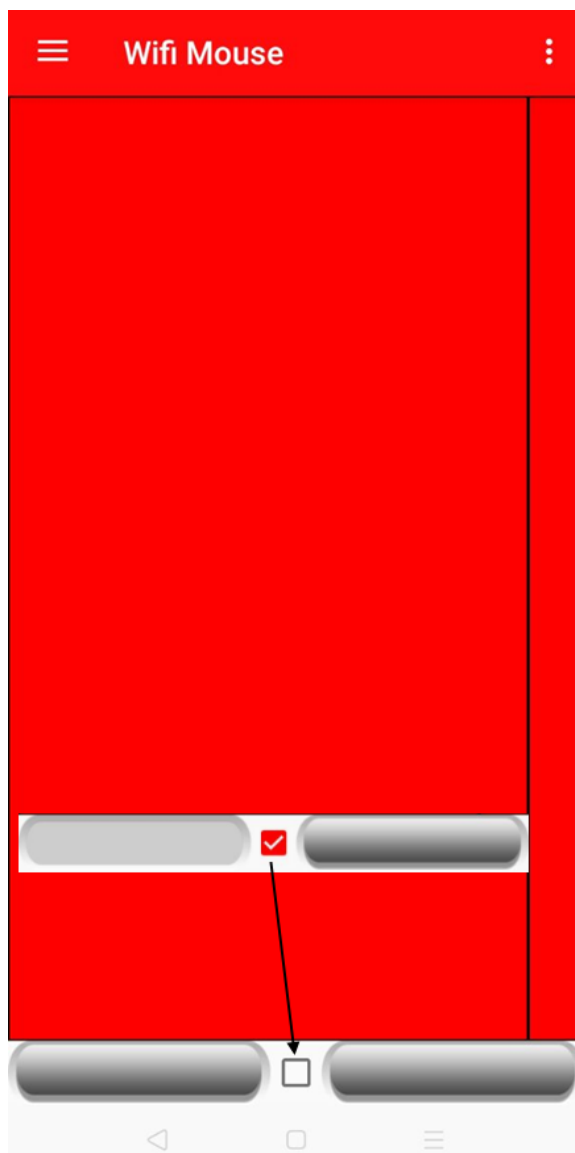


Рисунок 3.23 – Опції швидкого доступу WifiMouse

У режимі миші є багато можливостей із сенсорним дисплеєм смартфона. Він містить два блоки. Великий блок – це сенсорна панель, за допомогою якої переміщується курсор на ПК та виконується натискання лівою та правою кнопкою мишію. Подвійне натискання на панель імітує клік лівої кнопки, затримання натискання імітує клік правої. Менший блок справа використовується для вертикального прокручування сторінки, тобто імітує функцію колеса миші, натискання на цей блок, генерує середній клік миші. Режим емуляції миші наведено на рисунку 3.24.



3.24 – Режим комп'ютерної миші в додатку WifiMouse

Для перетягування об'єктів за допомогою емулятора використовується прапорець знизу, зображений на рисунку 3.24, коли він активний, то ліва кнопка миші затиснута і за допомогою сенсорної панелі відбувається переміщення вибраного об'єкта.

					KHUY.PM.123.22.11.03.3EIK	Арк.
	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Наступний режим додатку WifiMouse – Text Post, використовуючи його, можна публікувати текст з пристрою Android в будь-який рядок введення на комп'ютері. Текст вводиться в текстове поле та за допомогою кнопки Post, надсилається на ПК. Введення тексту за допомогою емулятора наведено на рисунку 3.25.

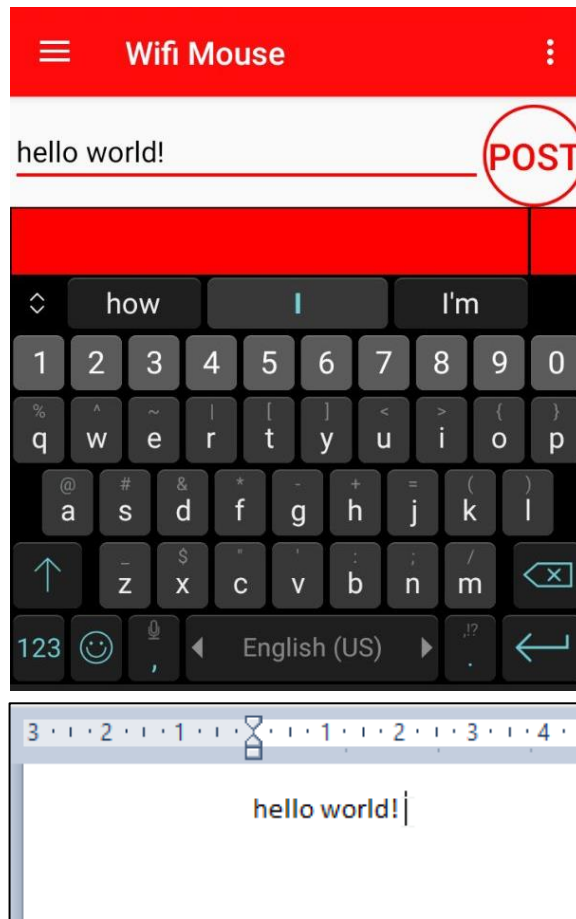


Рисунок 3.25 – Введення тексту за допомогою WifiMouse

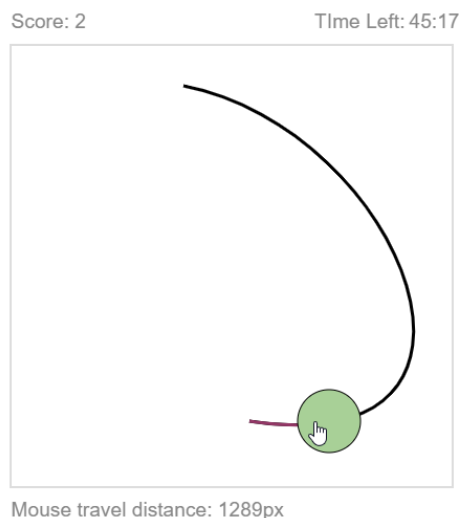


Рисунок 3.26 – Тест ефективності емулятора WirelessMouse

Для визначення показника ефективності емулятора WirelessMouse він був протестований за допомогою Arealme Mouse Efficiency Test – це тест для вимірювання швидкості та точності курсору під час переміщення миші по кривим траєкторіям (рис. 3.26). Тест триває 60 секунд і кількість кривих по яких успішно пройде курсор буде результатом ефективності.

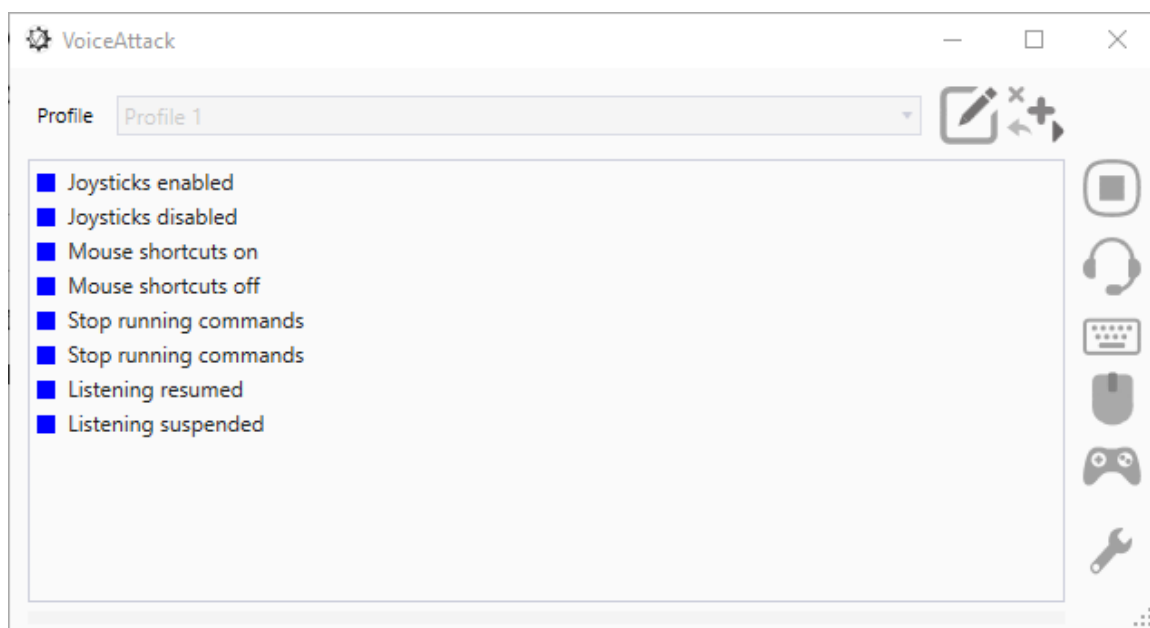
Показник ефективності емулятора WirelessMouse дорівнює – 10 пройдених кривих, що відповідає показнику стандартної комп'ютерної миші. З точки зору ефективності емулятор можна застосовувати, коли потрібно виконати введення без комп'ютерної миші і клавіатури.

3.5 Управління голосовими командами VoiceAttack

VoiceAttack – це програмне забезпечення, призначене для управління в відеоіграх або системою за допомогою голосових команд. З огляду на те, що інтерес до голосових команд зростає, а засоби керування вдосконалюються, VoiceAttack може використовуватися, як окремий так і додатковий контролер.

Контролер може не мати достатній набір команд, який потрібен для гри, щоб ефективно її використовувати, тому ідея використовувати голосові команди є досить інноваційною.

VoiceAttack може виконувати будь-яку комбінацію натискання кнопок, запускати програми, виступати в ролі геймпада тощо [34]. Інтерфейс програми голосового управління наведено на рисунку 3.27.



3.27 – Інтерфейс програми VoiceAttack

Профіль голосових команд – це окремий файл із розширенням .VAR. Він містить низку команд, яку налаштовує сам користувач. Движок Text-to-Speech інтерпретує текст у очікувану голосову команду. Успішне виконання команди супроводжується звуковим підтвердженням. Профіль безкоштовної версії програми має підтримку 20 голосових команд. Створення профілю VoiceAttack та додання команд наведено на рисунку 3.28.

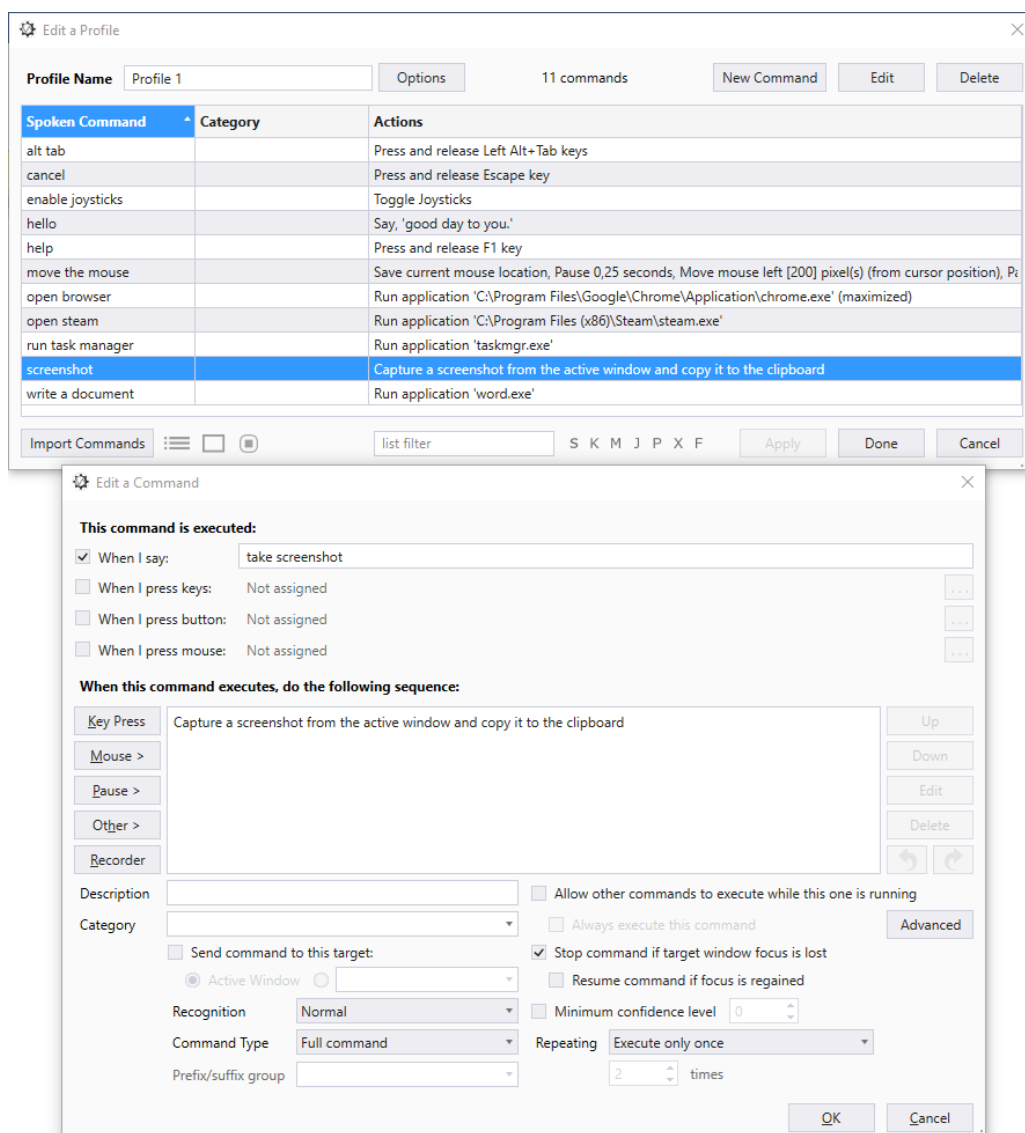


Рисунок 3.28 – Профіль та налаштування команди ПЗ VoiceAttack

Програмне забезпечення дає можливість обрати движок, сумісний із SAPI (Speech Application Programming Interface). За замовчуванням встановлюється движок Microsoft Speech операційної системи Windows, але користувач може обрати будь-який інший підтримуваний голос за потреби.

Механізм VoiceAttack має затримку розпізнаного мовлення перед виконанням дій команди після того, як він зрозуміє фразу та виявить мовчання.

Якщо у профілі є фрази, які подібні або довгі, може знадобитися більша затримка для правильного розпізнавання команди. Якщо фрази короткі та різні, це значення можна зменшити. Діапазон значень затримки від 0 мс до 10000 мс.

Затримка нерозпізнаного мовлення – це час, протягом якого мовний движок чекає, щоб відхилити голосову команду, яку він не розуміє, а потім виявляє тишу. Значення затримка нерозпізнаного мовлення від 0 мс до 5000 мс. Чим довша нерозпізнана команда, тим більше часу знадобиться VoiceAttack, щоб відхилити її.

Черги команд виконуються у порядку їх виклику, переконавшись, що кожна команда виконана повністю, VoiceAttack переходить до виконання наступної команди, що допомагає перевести всі функції системи на голосові команди. Це інноваційне ПЗ дає змогу для користувачів з обмеженими можливостями замінювати управління натисканням клавіш та взаємодію з мишкою, використовувати лише мікрофон.

Висновки за розділом

Третій розділ присвячений застосування емуляторів ігрових контролерів. Визначено, що емулятор може відноситись як до апаратного забезпечення так і до програмного забезпечення для вирішення відсутності підтримки між різними видами обладнання. У рамках кваліфікаційної роботи використано ПЗ емуляторів для імітації різних типів ігрового введення.

Розглянуто драйвер vJoy та емулятор Android Steering. Наведено блок-схеми роботи контролера без емулятора та використання емулятора для ігрового введення. Застосовано Android Steering для імітації ігрового керма в комп'ютерних відеоіграх за допомогою смартфона з ОС Android.

Застосовано і виконано тестування емулятора геймпада Xbox360CE для використання функцій геймпада та підтримки консольних ігор в ОС Windows.

Використано та протестовано емулятор комп'ютерної мишки і клавіатури, що імітує їх роботу за допомогою Android додатка WiFi Mouse.

Наведено використання інноваційного ПЗ VoiceAttack, що дає змогу людям з обмеженими можливостями керувати функціями ОС та відеоігор за допомогою голосових команд. Проведено створення профілю та налаштування команд.

.

ВИСНОВКИ

У першому розділі було розглянуто поняття ігрового контролера. Області та сфери їх використання. Проведено опис характеристик ігрових контролерів за якими вони відрізняються.

Для огляду масштабності використання ігрових контролерів виконано аналіз бази даних Steam, що відображає кількість сесій користувачів, з використанням різних контролерів для гри в 2020-2021 рр. Визначено два типи контролерів: дротові та бездротові. Наведено їх переваги та недоліки.

Виконано опис геймпада, клавіатури та миші, ігрового керма. Наведено їх характеристики та елементи управління. Розглянуто різні покоління геймпадів, комп'ютерних клавіатур і мишей та зміну їх базового дизайну для більш зручного використання у відеоіграх і симуляторах.

Досліджено технологію айтрекінгу, визначено різновиди пристроїв для трекінгу очей. Наведено їх характеристики, комплектацію та принцип роботи. Виконано аналіз існуючих трекерів для очей та обрано варіант з найкращою ціною, частотою, сенсором, та програмним забезпеченням.

Розглянуто технологію VR разом з контролерами віртуальної реальності. Визначено сфери їх використання, типи та характеристики. Наведено елементи управління на VR контролерах. Описано дві найпоширеніші системи відстеження контролерів – Lighthouse tracking та Inside-out tracking, їх переваги та недоліки. Представлено інноваційний VR/AR контролер у вигляді браслета Tabsi.

Проаналізовано ігрову взаємодію людей з обмеженими можливостями з різними спеціально призначеними контролерами. Розглянуто характеристики за способи використання альтернативних контролерів: Stickless, Evil controllers, Quadstick, Single-Handed Xbox controller, Jouse+, а також програмного забезпечення VoiceAttack.

У другому розділі було розглянуто методи досліджень взаємодії користувача з контролером, що входять до стандарту ISO 9241-9 галузі HCI. Визначено відмінності типів контролерів та платформ, що їх підтримують. Описані форми взаємодії та механізми сучасних платформ і контролерів. Використано модель Макнамара та Кіраковські для дослідження індексу

					КНУ.РМ.123.22.11.В						
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата							
Розробив		Левенець			ВИСНОВКИ			Літера		Аркуш	Аркушів
Перевірив		Кумченко									
Н.контроль		Кузнецов						КІ-21м			
Затвердив		Купін									

продуктивності Фіттса, індексу складності, пропускної здатності, часу переміщення, частоту похибки чотирьох типів контролерів: комп'ютерної миші, сенсорної панелі, контролера Steam і геймпада DualShock 4. Визначено, як ці параметри впливають на показники функціональності, зручності використання, користувацького досвіду обраної моделі. Для визначення залежності результатів дослідження було застосовано лінійну регресію. За аналізом оцінок користувачів контролерів, визначено найкращий контролер для завдань переміщення курсору і використання в іграх – комп'ютерна миша.

Описано обмежене і необмежене фізичне моделювання у відеоіграх. Розглянуто симуляцію руху часток і твердого тіла, виявлення зіткнень, моделювання реалістичних твердих об'єктів з застосуванням обмежень рівності та нерівності. Обмеження наведено з точки зору силового підходу, з обчисленням коригувальних сил, та імпульсного підходу, де виконується обчислення коригувальних швидкостей.

Третій розділ присвячений застосування емуляторів ігрових контролерів. Визначено емулятор може відноситись як до апаратного забезпечення такі до програмного забезпечення для вирішення відсутності підтримки між різними видами обладнання. У рамках кваліфікаційної роботи використано ПЗ емуляторів для імітації різних типів ігрового введення.

Розглянуто драйвер vJoy та емулятор Android Steering. Наведено блок-схеми роботи контролера без емулятора та використання емулятора для ігрового введення. Застосовано Android Steering для імітації ігрового керма в комп'ютерних відеоіграх за допомогою смартфона з ОС Android.

Застосовано і виконано тестування емулятора геймпада Xbox360CE для використання функцій геймпада та підтримки консольних ігор в ОС Windows.

Використано та протестовано емулятор комп'ютерної мишки і клавіатури, що імітує їх роботу за допомогою Android додатка WiFi Mouse.

Наведено використання інноваційного ПЗ VoiceAttack, що дає змогу людям з обмеженими можливостями керувати функціями ОС та відеоігор за допомогою голосових команд. Проведено створення профілю та налаштування команд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Game Controller: From the Beginning. URL: https://www.brown.edu/Departments/Joukowsky_Institute/courses/13things/7643.html (дата звернення: 20.05.2022).
2. THE CHARACTERISTICS OF GAME CONTROLLER. URL: <https://sites.google.com/site/theevolutionofgamecontroller/the-characteristic-of-game-controller> (date of access: 26.05.2022).
3. See Which Controllers Players Are Using In Your Game. Steam. URL: <https://store.steampowered.com/news/group/4145017/view/306185551786442491> 4 (date of access: 26.05.2022).
4. What is Gamepad?. URL: <https://usa.etail.market/blog/what-is-game-pad> (date of access: 29.05.2022).
5. Gamepad Explained. URL: <https://download.zone/gamepad-explained/> (date of access: 01.06.2022).
6. Controller Maps. URL: <https://guavaman.com/projects/rewired/docs/ControllerMaps.html#joystick-maps> (date of access: 01.06.2022).
7. All about the Xbox Accessories app. URL: <https://support.xbox.com/en-US/help/hardware-network/accessories/xbox-accessories-app> (date of access: 01.06.2022).
8. Opolentissima L. A Visual History Of Video Game Controllers From 1962 To Now. URL: <https://dailyinfographic.com/a-visual-history-of-video-game-controllers> (date of access: 02.06.2022).
9. Keyboard and mouse basics. URL: <https://www.nidirect.gov.uk/articles/keyboard-and-mouse-basics> (date of access: 04.06.2022).
10. Is There A Difference Between Gaming Keyboard And Normal Keyboard. URL: <https://www.alibabacloud.com/topic-center/knowledge/3/gd9jnpccrav-is-there-a-difference-between-gaming-keyboard-and-normal-keyboard-alibaba-cloud#:~:text=Gaming%20keyboards%20are%20designed%20to,same%20features%20as%20gaming%20keyboards> (date of access: 04.06.2022).

					КНУ.РМ.123.22.11.СВД			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Левенець							
Перевірів	Кумченко							
Н.контроль	Кузнецов							
Затвердив	Купін					КІ-21м		

11. The Importance of a Gaming Keyboard and Mouse. URL: <https://www.gamespew.com/2020/02/the-importance-of-a-gaming-keyboard-and-mouse/> (date of access: 04.06.2022).

12. TVS ELECTRONICS. How To Choose The Perfect Gaming Keyboard and Gaming Mouse. URL: <https://www.tvs-e.in/blog/things-to-consider-before-buying-gaming-keyboard-mouse> (date of access: 09.06.2022).

13. Difference between Normal Mouse and Gaming Mouse. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-normal-mouse-and-gaming-mouse/> (date of access: 09.06.2022).

14. Silver M. Important Features (Specs) of Gaming Mouse Explained. URL: <https://www.binarytides.com/gaming-mouse-specs-explained/> (date of access: 11.06.2022).

15. Steering wheel concept. URL: <https://www.computerhope.com/jargon/s/steewhee.htm> (date of access: 11.06.2022).

16. Is A Racing Wheel Worth It?. URL: <https://simracingsetup.com/product-guides/is-a-racing-wheel-worth-it/> (date of access: 11.06.2022).

17. Goodwin A. The Best Steering Wheels for Xbox, Playstation, Nintendo Switch. URL: <https://www.cnet.com/roadshow/news/best-steering-wheels-for-xbox-one-series-x-s-ps4-ps5-nintendo-switch/> (date of access: 11.06.2022).

18. Mento M. A. Different Kinds of Eye Tracking Devices. URL: <https://www.bitbrain.com/blog/eye-tracking-devices> (date of access: 25.06.2022).

19. How do Tobii eye trackers work?. URL: https://connect.tobii.com/s/article/How-do-Tobii-eye-trackers-work?language=en_US (date of access: 25.06.2022).

20. How eye tracking gives players a new experience in video games. URL: <https://theconversation.com/how-eye-tracking-gives-players-a-new-experience-in-video-games-54595> (date of access: 25.06.2022).

21. Gajsek D. The Way of Interacting With the Virtual Worlds. URL: <https://circuitstream.com/blog/vr-controllers-the-way-of-interacting-with-the-virtual-worlds/> (date of access: 01.07.2022).

22. Tasbi: Multisensory Squeeze and Vibrotactile Wrist Haptics for Augmented and Virtual Reality. URL: <http://www.hbenko.com/publications/2019/TASBI%20whc19a-sub1021-i6.pdf> (date of access: 01.07.2022).

23. Evolution of Game Controllers: Toward the Support of Gamers with Physical Disabilities. URL: https://air.unimi.it/bitstream/2434/685287/2/Maggiorini2019_Chapter_EvolutionOfGameControllersTowa.pdf (date of access: 08.07.2022).

24. Adaptive Game Controllers for Disabled People. URL: <https://directaccessgp.com/uk/news/adaptive-game-controllers-for-disabled-people/> (date of access: 08.07.2022).

25. Booth P. An Introduction to Human-Computer Interaction. Hove : Lawrence Erlbaum Associates, 1989. 304 c.

26. Barr P., Noble J., Biddle R. Video game values: Human computer interaction and games. Journal of Interacting with Computers. 2007. C. 180-195.

27. Natapov D., Castellucci S. J., MacKenzie S. ISO 9241-9 Evaluation of Video Game Controllers. URL: <https://www.yorku.ca/mack/gi2009.pdf> (date of access: 26.07.2022).

28. Baraff D. An Introduction to Physically Based Modeling: Rigid Body Simulation Unconstrained Rigid Body Dynamics. URL: <http://www.cs.cmu.edu/~baraff/sigcourse/notesd1.pdf> (date of access: 12.08.2022).

29. Bender J., Finkenzeller D., Schmitt A. An impulse-based dynamic simulation system for VRapplications. URL: https://www.researchgate.net/publication/228872405_An_impulse-based_dynamic_simulation_system_for_VR_applications#fullTextFileContent (date of access: 20.08.2022).

30. Axelzon A., Lindgren I., Lindh C. Game Boy Emulation. URL: <https://odr.chalmers.se/items/6e6f5a77-f4b6-4d7f-8747-b14b4f86e83e/full> (date of access: 19.09.2022).

31. Ghosh R. How to create your first vJoy Application. URL: <https://rishavghosh605.medium.com/how-to-create-your-first-vjoy-application-8a01dad75c0a> (date of access: 15.10.2022).

32. Jocys E. Xbox 360 Controller Emulator. URL: <https://github.com/x360ce/x360ce> (date of access: 28.10.2022).

33. Lemon B. Android-Wireless-Mouse. URL: <https://github.com/lemonbashar/Android-Wireless-Mouse/blob/master/WifiMouse2/app/src/main/assets/help.html> (date of access: 01.11.2022).

34. VoiceAttack Quick Start Guide. URL: <https://voiceattack.com/VoiceAttackHelp.pdf> (date of access: 07.11.2022).