|  |  |
| --- | --- |
| 徽标  描述已自动生成 | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ \_\_\_\_\_\_Информатика и системы управления\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

КАФЕДРА \_\_\_\_\_\_\_\_Системы обработки информации и управления\_\_\_\_\_\_\_

**Реферат по предмету «Эргономический анализ СОиОИ»**

**на тему: «Сравнение двух техник взаимодействия в виртуальной реальности, с использованием джойстика и с использованием физического трекера»**

Студент ИУ5И-33М Ся Тунтун

(Группа) （Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Руководитель (Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Консультант

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

*2022 г.*

[1. Введение 3](#_Toc121897689)

[2. Текущий статус развития виртуальной реальности 4](#_Toc121897690)

[2.1 Состояние исследований в области VR-технологий в США 4](#_Toc121897691)

[2.2 Состояние исследований в области VR-технологий в Европе 5](#_Toc121897692)

[2.3 Текущее состояние исследований в области VR-технологий в Азии 5](#_Toc121897693)

[2.4 Текущее состояние развития виртуальной реальности в Китае 6](#_Toc121897694)

[3、Проектирование прямого взаимодействия на основе контроллеров джойстиков 7](#_Toc121897695)

[3.1 Взаимодействие между рукояткой и объектом 7](#_Toc121897696)

[3.2 Обратная связь по взаимодействию с пользователем 9](#_Toc121897697)

[3.3 Проектирование взаимодействия на основе трекеров сущностей 11](#_Toc121897698)

[3.3.1 Управление объектами с помощью трекеров сущностей 11](#_Toc121897699)

[3.3.2 Механизм "наведи и щелкни" пользовательского интерфейса, основанный на принципе прямой видимости 13](#_Toc121897700)

[3.4 Тестирование пользователей 15](#_Toc121897701)

[3.4.1 Участники 16](#_Toc121897702)

[3.4.2 Оборудование 16](#_Toc121897703)

[3.4.3 Постановка задачи 18](#_Toc121897704)

[3.4.4 Дизайнерское решение 19](#_Toc121897705)

[3.5 Результаты тестирования пользователей 20](#_Toc121897706)

[3.5.1 Результаты тестирования задачи 21](#_Toc121897707)

[3.5.2 Субъективная оценка пользователей 23](#_Toc121897708)

[3.6 Обсуждение и обобщение опыта 24](#_Toc121897709)

[3.7 Заключение 27](#_Toc121897710)

[4. Резюме и перспективы 27](#_Toc121897711)

[4.1 Краткое изложение работы в данной статье 27](#_Toc121897712)

[4.2 Следующие шаги 28](#_Toc121897713)

[7. Список Литературы 29](#_Toc121897714)

# 1. Введение

Как новая форма взаимодействия, виртуальная реальность (VR), также известная как виртуальные среды (VE), является новой парадигмой взаимодействия, которая использует компьютерные и человеко-компьютерные интерфейсы для создания виртуальных трехмерных миров, позволяя пользователям напрямую взаимодействовать с виртуальными объектами в трехмерном мире, отображаемом компьютером [1]. Цель иммерсивной виртуальной реальности - дать пользователю возможность ощутить сгенерированный компьютером мир и воспринимать его как реальный, создавая ощущение присутствия в сознании пользователя. Иммерсивная виртуальная реальность предоставляет пользователям опыт, отличный от традиционного взаимодействия с 3D-приложениями на ПК. Три ключевых момента в определении виртуальной реальности: компьютерная генерация, 3D-эффекты и интерактивность. Ожидается, что пользователь будет испытывать эффект взаимодействия с объектами, а не взаимодействия с изображениями объектов. В то же время, характеристики 3D отображения и 3D взаимодействия приложений виртуальной реальности позволяют значительно улучшить процесс 3D восприятия и взаимодействия по сравнению с традиционными приложениями компьютерной 3D графики. Такие возможности виртуальной реальности, несомненно, полезны для различных приложений. В настоящее время технология виртуальной реальности имеет большой потенциал для применения в игровом секторе, а также в виртуальной терапии, виртуальном обучении (медицинском и военном) и многих других областях. Одной из причин успеха приложений виртуальной реальности является реалистичный опыт, предоставляемый пользователю иммерсивной виртуальной средой. В частности, виртуальные сценарии требуют высокого уровня сенсорной достоверности, включая визуальные, слуховые и другие сенсорные сигналы, аналогичные тем, которые пользователь испытывает в реальном мире. Опыт пользователя в виртуальном мире должен быть максимально приближен к моделируемому реальному миру [2]. Преимущества погружения, предлагаемые технологиями виртуальной реальности, заключаются не только в том, что они обеспечивают реалистичный опыт, но и в том, что они улучшают восприятие пространства. В реальном мире люди воспринимают двухмерную проекцию трехмерного мира через глаза, а мозг анализирует различные сигналы глубины, такие как стереовидение, параллакс движения, перспектива и окклюзия в изображениях, полученных через глаза, чтобы сформировать восприятие трехмерного мира. В отличие от других технологий интерактивных дисплеев, таких как мультисенсорные экраны, иммерсивная виртуальная реальность предоставляет более глубокую информацию. В частности, стереоскопическая визуализация виртуальной реальности и отслеживание гарнитуры позволяют пользователям использовать собственное 3D-восприятие для понимания стереовидения и параллакса движения, например.

Технология виртуальной реальности также открывает многочисленные возможности для взаимодействия в научной визуализации. Богатые пространственные и глубинные подсказки, предоставляемые дисплеями виртуальной реальности, могут помочь в представлении наборов научных данных. Концепция интерактивных интерфейсов виртуальной реальности позволяет быстро и интуитивно исследовать трехмерные тела данных, а данными в среде визуализации можно управлять с помощью интерактивных интерфейсов, интегрированных в виртуальную среду. Взаимодействие с трехмерными данными и манипулирование трехмерными объектами является ключевым элементом научной визуализации, а 3D-вход устройств VR обеспечивает естественный способ взаимодействия, позволяя пользователю захватывать, перемещать и вращать объекты аналогично тому, как это происходит в реальном мире. Однако взаимодействие в воздухе снижает точность размещения объектов, возможно, из-за ограниченной технологии устройств слежения и невозможности стабильного управления интерактивными устройствами, такими как ручки, при манипулировании в воздухе.

# **2**. Текущий статус развития виртуальной реальности

Развитие компьютеров предоставило вычислительный и аналитический инструмент и привело к созданию множества новых способов решения проблем. Это относится и к появлению и развитию технологии виртуальной реальности, которая в основном занимается тремя областями исследований: создание трехмерных визуальных эффектов в реальном времени с помощью вычислительной графики; создание наблюдательного интерфейса для виртуального мира; и использование технологии виртуальной реальности для улучшения таких приложений, как технологии научных вычислений.

## 2.1 Состояние исследований в области VR-технологий в США

Соединенные Штаты являются родиной исследований виртуальной реальности, которая впервые была изучена в 1940-х годах. Впервые он был использован военными США для симуляции астронавтов и летчиков. В 1980-х годах Министерство обороны США и НАСА организовали серию исследований технологии виртуальной реальности, и результаты оказались потрясающими. Сегодня созданы системы VR-обучения для обслуживания космических станций, авиации и спутников, а также общенациональная система VR-образования; Университет Джорджа Мейсона разработал систему моделирования жидкостей в реальном времени в динамичной виртуальной среде; компания Boeing использовала технологию виртуальной реальности для наложения виртуальной среды на реальную, что позволило эффективно оптимизировать процесс обработки деталей; а компания Xerox использовала технологию виртуальной реальности в первую очередь для офиса будущего, разработав проект, который будет использоваться в офисе будущего. Компания Xerox разработала оконную систему на основе VR, предназначенную главным образом для офиса будущего. Сенсорные технологии и обработка графических изображений являются основными технологиями, используемыми в этих проектах виртуальной реальности, причем временное реальное время и пространственная динамика являются основными направлениями технологии виртуальной реальности на сегодняшний день.

## 2.2 Состояние исследований в области VR-технологий в Европе

В Европе Великобритания является лидером в области автоматизированного проектирования устройств, распределенной параллельной обработки данных и прикладных исследований, занимая ведущие позиции в области аппаратного и программного обеспечения. Другие развитые европейские страны, такие как Германия и Швеция, также активно занимаются исследованиями и применением технологии виртуальной реальности: Германия применила технологию виртуальной реальности в трех областях: преобразование традиционных отраслей промышленности, разработка продукции, демонстрации и обучение, для снижения затрат и привлечения клиентов.

## 2.3 Текущее состояние исследований в области VR-технологий в Азии

Развитие технологии виртуальной реальности в Японии также играет ключевую роль в мире исследований в смежных областях, и она добилась больших успехов в создании крупномасштабной базы знаний VR и игр виртуальной реальности. Исследовательская лаборатория Харашима в Токийском университете провела три исследования: извлечение особенностей выражения лица человека, определение трехмерных структур и представление трехмерных форм, а также извлечение движущихся изображений.

Человеческий интерфейс для построения 3D моделей, названный SpmAR, был изучен в лаборатории точности и интеллекта Токийского технологического института; компания NEC разработала систему виртуальной реальности, которая использует суррогатные руки для обработки 3D моделей фигур в CAD-279-No.2, 2009 Современный бизнес торговой индустрииСовременный бизнес торговой индустрии Business Trade Industry2009, No. 2, 2009, которая связывает обработку модели с руками оператора через перчатку для передачи данных[3].

## 2.4 Текущее состояние развития виртуальной реальности в Китае

По сравнению с некоторыми развитыми странами, исследования в области VR-технологий в Китае начались поздно, и еще предстоит пройти большой путь по сравнению с некоторыми развитыми странами. С быстрым развитием компьютерной графики, компьютерных систем и других технологий, технологии виртуальной реальности получили значительное внимание, привлекая интерес и внимание людей из всех слоев общества в Китае, исследования и применение VR, создание виртуальных сред, моделей виртуальных сцен, распределенных VR-систем. Развитие VR развивается в направлении глубины и широты.

Министерство национальной науки и технологий Национальной комиссии по оборонной науке и технологиям включило исследование технологии виртуальной реальности в список ключевых исследовательских проектов, и многие отечественные научно-исследовательские институты и университеты также проводят исследования и применение виртуальной реальности и достигли хороших результатов исследований. Факультет компьютерных наук Пекинского университета аэронавтики и астронавтики также является одним из самых ранних и авторитетных подразделений в Китае, проводящих исследования в области VR. Его исследовательская лаборатория новых технологий виртуальной реализации и визуализации интегрировала распределенную виртуальную среду, которая может обеспечить динамическую базу данных 3D в реальном времени, демонстрационную среду виртуальной реальности, систему виртуальной реальности для обучения пилотов, платформу для разработки прикладных систем виртуальной реальности и т.д. Она достигла прогресса в следующих областях: фокусировка на Исследование сосредоточено на представлении и обработке физических свойств объектов в виртуальных средах; разработаны некоторые аппаратные средства для визуального интерфейса в виртуальной реальности, предложены соответствующие алгоритмы и методы реализации. Дворец Потала", созданный Национальным исследовательским центром по разработке оптических дисков Университета Цинхуа, использует технологию QuickTime для реализации большой панорамной системы VR; Государственная ключевая лаборатория AD&CG Университета Чжэцзян разработала настольную систему перемещения в реальном времени по виртуальной архитектурной среде; факультет компьютерных наук Харбинского технологического института успешно синтезировал человека. Факультет компьютерных наук Харбинского технологического института успешно синтезировал конкретные изображения лиц в продвинутых моделях поведения, решил технические проблемы синтеза выражения лица и синтеза движения губ, а также изучает синхронизацию жестов рук и головы, речи и интонации, когда люди говорят.

# 3、Проектирование прямого взаимодействия на основе контроллеров джойстиков

## 3.1 Взаимодействие между рукояткой и объектом

Схема взаимодействия ручки с объектом показана на рисунке 1. Когда пользователь захватывает объект ручкой, ручка выделяется и становится полупрозрачной. Реализация этой части взаимодействия основана на VRTK SDK.

图形用户界面

描述已自动生成

Рис. 1 Схема взаимодействия ручки и объекта

1. захват

Чтобы представить естественный жест захвата, клавиши захвата (Grip) на концах контроллера захвата HTC Vive используются для захвата и отпускания объектов. Для захвата предмета допускается любой хват. Первый захват для захвата объекта устанавливается как основной захват. Когда захват ударяет по объекту, объект выделяется в качестве индикатора. Для сохранения захвата объекта необходимо удерживать нажатой клавишу Grip, а в состоянии захвата она исчезнет. При отпускании захвата объект освобождается из захвата. Объект не обладает гравитацией и физическими свойствами.

Добавьте сценарий VRTK\_InteractableObject, чтобы установить модель захвата на Is Grab. Настройте сценарий механизма прикрепления захвата на Child Of Controller Grab Attach, который устанавливает захваченный объект дочерним объектом контроллера. Это также позволяет осуществлять точный захват, при котором относительное положение объекта относительно рукоятки остается неизменным, а положение объекта, с которым сталкивается рукоятка при нажатии клавиши Grip, закрепляется.

2. управление панорамированием и вращением одной рукой

Если пользователь удерживает клавишу Grip, захваченный объект прикрепляется к рукоятке, после чего захваченный объект используется как суб-объект рукоятки и может вращаться в 6 степенях свободы с переводом руки пользователя и вращением запястья.

3. Вращение двумя руками

Аналогично сенсорному экрану, взаимодействие между ручкой и объектом рассчитано на вращение вокруг фиксированной точки, что достигается с помощью двух ручек. Когда вторая ручка добавлена и объект захвачен, объект может быть установлен путем регулировки положения и ориентации второй ручки относительно основной ручки. Схема вращения двумя руками показана на рисунке 2.

图形用户界面

描述已自动生成

Рис. 2 Диаграмма двуручного вращения

4. Взаимодействие с рукояткой и пользовательским интерфейсом

Подобно стрельбе лазерной указкой, пользовательский интерфейс выбирается с помощью указателя, что подходит для взаимодействия на большом расстоянии. В VRTK очень легко использовать механизм наведения UI на основе указателя, просто настройте UI и хэндл соответствующим образом. После настройки 3D UI скрипт VRTK\_UICanvas устанавливается на Canvas и помечается как UI Canvas, с которым можно взаимодействовать с помощью джойстика. UIPointer для написания логики ответа для пользовательского интерфейса. Для откликов пользовательского интерфейса, таких как кнопки в сценах, логика взаимодействия, реализуемая при нажатии на кнопки, аналогична той, что используется в Unity для взаимодействий пользовательского интерфейса. Сцена, в которой ручка взаимодействует с пользовательским интерфейсом, показана на рисунке 3.

图形用户界面, 网站

描述已自动生成

Рис. 3 Сценарий взаимодействия ручки с пользовательским интерфейсом

## 3.2 Обратная связь по взаимодействию с пользователем

Поскольку пользователь не может определить, касался ли он объекта в виртуальной сцене, предоставление некоторой обратной связи может помочь пользователю воспринимать объекты в виртуальной сцене. Например, подсветка объектов или захватов, когда захват касается объекта, вибрация захвата, когда пользователь захватывает объект, и т.д. В то же время, запомнить функции различных кнопок может быть сложно для начинающих пользователей HTC Vive. Поэтому необходимо придать захватам доверительный характер. Здесь VRTK SDK предоставляет простые методы для достижения желаемого эффекта. Соответствующие классы включают класс выделения контроллера:VRTK\_ControllerHighlighter, выделение края контроллера: VRTK\_OutlineObjectCopyHighlighter, вибрация контроллера: VRTK\_Controller Haptics. обратная связь с пользователем показана на рисунке 4, где контур ручки выделяется при столкновении ручки с костью и Когда захват попадает на кость, контур захвата выделяется, а клавиша захвата Grip подсвечивается, указывая, что пользователь должен удерживать клавишу захвата для манипулирования объектом.

图形用户界面

描述已自动生成

Рис. 4 Влияние сообщения обратной связи с пользователем

1. Прозрачная ручка и подсветка

Когда пользователь касается объекта захватом, захват сначала становится прозрачным, чтобы пользователь мог лучше видеть объект, а кнопка захвата подсвечивается, чтобы предложить пользователю захватить объект, удерживая захват и нажимая кнопку захвата вниз.

Модификация формы захвата записывается в метод реакции на событие захвата. Инициализируйте события VRTK\_Controller с помощью метода Start, добавляя события в ответ на кнопки Trigger и Grip.

events = GetComponent<VRTK\_ControllerEvents>();

events.TriggerPressed += events\_TriggerPressed;

events.TriggerReleased += events\_TriggerReleased;

events.GripPressed += events\_GripPressed;

events.GripReleased +=events\_GripReleased;

и измените ручку в events\_TriggerPressed(), events\_TriggerReleased() и другие события нажатия и отпускания кнопки ручки для изменения ручки, включая выделение контура ручки, выделение кнопки, прозрачность ручки и вибрацию ручки.

Чтобы сделать контроллер прозрачным в целом, используйте сценарий ：

VRTK\_ObjectAppearance.SetOpacity(VRTK\_DeviceFinder.GetModelAliasControlle r(gameObject),0.5f ) ;

Сделайте контроллер в целом выделенным, используя скрипт ：

highlighter.HighlightController(Color.yellow) ;

Выделите клавиши захвата контроллера (вкл/выкл), используя скрипт :

highligher.HighlightElement(SDK\_BaseController.ControllerElements.ButtonTwo, highlight Color,highlightTimer);

highlighter.HighlightElement(SDK\_BaseController.ControllerElements.GripRight);

1. Вибрируйте джойстиком, чтобы показать сообщение

Чтобы заставить контроллер вибрировать, используйте скрипт.

VRTK\_ControllerHaptics.TriggerHapticPulse(VRTK\_ControllerReference.GetContr ollerReference(gameObject),0.1f);

1. Противостеночный механизм

В отличие от взаимодействия с сенсорным экраном, в иммерсивной виртуальной среде пользователь может свободно перемещаться в виртуальном 3D-пространстве с помощью гарнитуры, которую можно отслеживать. Это влияет на опыт пользователя и его безопасность. Поэтому для оптимизации опыта пользователя необходимо обустроить помещение для игры и внедрить механизм защиты от проникновения через стену. В данной работе используется эффект черного экрана после столкновения, чтобы показать, когда голова пользователя, т.е. шлем, сталкивается с объектом, таким как стена в сцене, и устанавливает черный цвет сцены, чтобы показать, что пользователь вернулся в центр сцены. Это реализовано с помощью класса VRTK\_Headset Collision Fade.

## 3.3 Проектирование взаимодействия на основе трекеров сущностей

### 3.3.1 Управление объектами с помощью трекеров сущностей

Трекер HTC Vive Tracker может отслеживать все шесть степеней свободы, включая положение и ориентацию. Поэтому, привязывая виртуальные объекты к трекеру в качестве подобъектов трекера, когда пользователь манипулирует трекером в реальном мире, матрица преобразования трекера отображается на объекты в виртуальной сцене, и объекты перемещаются в соответствии с движением трекера.

В SteamVR все объекты, которые могут отслеживаться пространственным локатором, называются отслеживаемыми объектами, поэтому, чтобы получить матрицу трансформации физического трекера HTC Tracker и привязать виртуальные объекты к трекеру, достаточно создать пустой игровой объект и смонтировать скрипт Tracked Object.

Конкретные шаги по реализации следующие.

1. добавьте пустой объект на сцену, назовите его TrackerObj и установите на него скрипт SteamVR\_TrackedObject.cs, пометьте объект как отслеживаемый и установите его на Device3.

Установите тег TrackerObj на No Gaze, чтобы он не реагировал на события GazeInput.

2. настройте TrackerObj в файле SteamVR\_ControllerManage.cs, чтобы приложение могло получать данные о положении физического трекера.

3. Используйте модель виртуального объекта в качестве подобъекта трекера и настройте положение модели относительно трекера. Центр объекта совпадает с центром трекера. Как показано на рисунке 5, точка A - это реальный центр объекта скелета, а точка B - центр трекера. Скелет необходимо переместить в центр Tracker, чтобы получить правильное количество вращения и перевода.

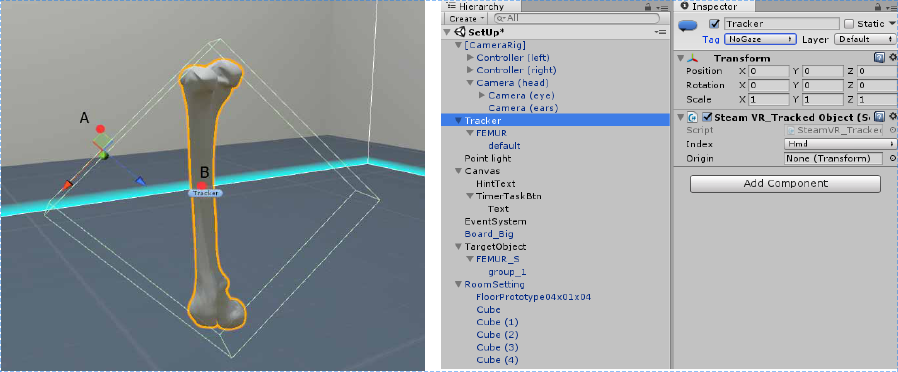


Рис. 5 Конфигурация объектов и трекера

С помощью вышеуказанной конфигурации можно управлять объектами в виртуальной сцене, манипулируя трекером в физическом мире.

Поскольку трекер не имеет дополнительных кнопок для управления, невозможно рассчитать, соответствует ли он целевому объекту, оценивая, нажал или отпустил ли пользователь кнопки на ручке, как это происходит при взаимодействии с ручкой.

Для реализации обнаружения столкновений в Unity и установки триггера используются следующие методы :

1. добавьте жесткое тело Rigidbody к объекту, которым манипулируют, установите Use Gravity в false и Is Kinematic в true, так как вам не нужна гравитация или физические свойства, и добавьте Box Collider к объекту с меткой Is Trigger. добавьте Box Collider к целевой модели, также установленный в Is Trigger. Set Is Trigger.

2. Напишите сценарий TestIfReach.cs для определения совпадения объекта с целевой позицией и предоставления пользователю обратной связи об успешности совпадения, например, выделения объекта. Основной код показан ниже.

void OnTriggerEnter(Collider other){// не реагирует, когда объект входит в целевую позицию}

void OnTriggerStay(Collider other){///Когда объект остается в зоне действия Box Collider в целевом месте, определите, совпадает ли он, если да, замените материал объекта и перейдите к следующей сцене для выполнения следующего задания.

Принцип использования трекера для захвата модели был таким же, как и выше, эффект использования трекера для захвата объекта показан на рисунке 6. Когда Tracker приближается к объекту, объект подсвечивается. и привязывается к трекеру, скрывая модель трекера.

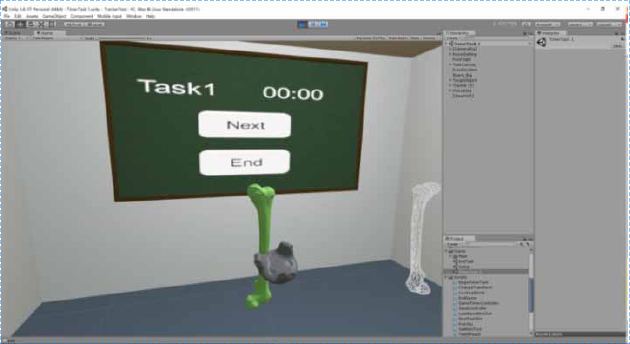


Рисунок 6 Эффект захвата объекта трекером

### 3.3.2 Механизм "наведи и щелкни" пользовательского интерфейса, основанный на принципе прямой видимости

Взаимодействие на основе прямой видимости может обеспечить удобный и естественный режим взаимодействия человека и компьютера [39]. В частности, линия зрения может использоваться в качестве дополнительного входа для взаимодействия с виртуальной средой, когда для выполнения задачи требуются обе руки. При использовании твердотельного трекера для управления объектом для манипулирования объектом требуются обе руки, поэтому невозможно посылать лучи через ручку для взаимодействия с пользовательским интерфейсом в виртуальной сцене. Поэтому в данной работе используется механизм наведения и клика пользовательского интерфейса, основанный на принципе прямой видимости, т.е. на эффекте взгляда, аналогично взаимодействию глаз. Хотя движения глаз и направление зрения невозможно отследить в гарнитуре виртуальной реальности, можно воспользоваться функцией отслеживания положения гарнитуры. Представьте себе шлем в качестве человеческого глаза, следящего за движением головы из шлема для определения направления взгляда, что позволяет использовать эффекты взгляда, операции наведения и нажатия на пользовательский интерфейс и т.д. Принцип GazeInput используется для достижения эффекта нажатия кнопки, как показано на рисунке 7.

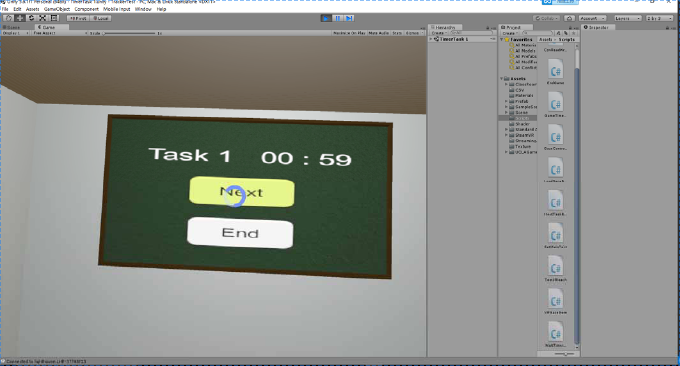


Рисунок 7 Механизм наведения и щелчка пользовательского интерфейса, основанный на принципе прямой видимости

Шаги для реализации эффекта взгляда следующие.

1. для хранения изображения коллиматора, представляющего курсор, т.е. круг, под объектом Camera(eye) в разделе [CameriaRig] устанавливается подобъект Canvas. Когда пользователь поворачивает голову и вид меняется, базовая станция отслеживает положение и ориентацию шлема, а коллиматор, который является суб-объектом камеры, будет следовать за поворотом головы. Конфигурация сцены с камерой и коллиматором показана на рисунке 8.

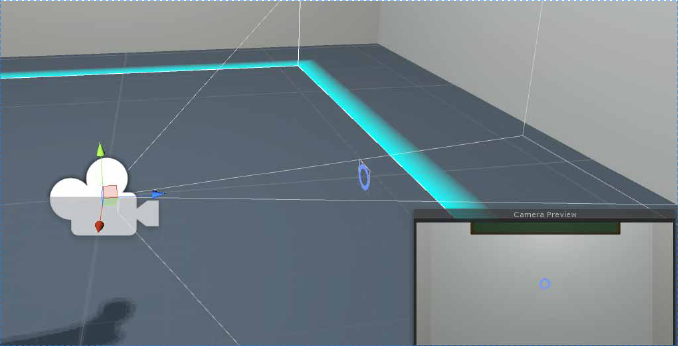


Рисунок 8 Конфигурация сцены с камерой и коллиматором

2. Напишите сценарий GazeController.cs для управления линией визирования, рассчитывая направление линии визирования пользователя один раз за кадр, т.е. луч вдоль линии визирования от середины шлема, в методе Update. Используйте Physics.RayCast, чтобы определить, пересекает ли он объект или пользовательский интерфейс.

3. если обнаружено пересечение с объектом или ПИ, производится дальнейшее определение. Первый шаг - определить, столкнулась ли линия взгляда с текущим объектом впервые, и если это первый контакт с объектом, вызвать метод On GazeOut() для перемещения линии взгляда в сторону от предыдущего объекта. Затем удерживается текущий объект, и вызывается функция On GazeIn() для достижения эффекта прицеливания.

4. когда глаза пользователя находятся на объекте или пользовательском интерфейсе, начинается обратный отсчет. Используйте Time.deltaTime для накопления времени. Компоненты каждого игрового объекта доступны, получают доступ и устанавливают свойство Fill Amount компонента Image, который монтирует коллимированное изображение. Эффект заполнения применяется к кольцевому коллиматору с помощью значения параметра fill amount. OnGazeFire() вызывается, когда представление достигло условия активации.

В классе VRGazeItems есть три метода, On GazeIn(), On GazeOut() и On GazeFire(), которые активируют действие.

6. в On GazeIn(), On GazeOut() и On GazeFire() достигается желаемый эффект взаимодействия. Здесь вы хотите реализовать нажатие на кнопку по прямой видимости.

Когда линия зрения видит кнопку, реализуется эффект mouseover, т.е. передается сообщение mouseover для выделения кнопки: On GazeIn(), On GazeOut(), On GazeFire().

ExecuteEvents.Execute(gameObject, new PointerEventData(EventSystem.current),

ExecuteEvents.pointerEnterHandler);

Для достижения эффекта перемещения мыши из кнопки, когда глаз покидает кнопку, возвращая кнопку в исходное состояние.

ExecuteEvents.Execute(gameObject, new PointerEventData(EventSystem.current),

ExecuteEvents.pointerExitHandler);

Когда время выбора достигнуто, реализуется эффект щелчка мыши, реализуя соответствующую логику нажатия кнопки:.

ExecuteEvents.Execute(gameObject, new PointerEventData(EventSystem.current),

ExecuteEvents.pointerClickHandler);

7. наконец, путем установки различных тегов для различных объектов в сцене, чтобы только компоненты пользовательского интерфейса в сцене реагировали на GazeInput.

## 3.4 Тестирование пользователей

Для того чтобы сравнить методы взаимодействия с использованием джойстика и физического трекера в иммерсивной виртуальной среде, был разработан сравнительный эксперимент для оценки этих двух методов с помощью пользовательского тестирования. Пользователей просили разместить модель в соответствии с заданным положением, и рассчитывались показатели успешности выполнения задания, время выполнения задания и отклонение положения. Для оценки субъективных критериев, включая легкость выполнения задачи, усталость, интерактивность и личные предпочтения, также использовалась анкета пользователя.

### 3.4.1 Участники

В общей сложности тринадцать студентов (шесть юношей и семь девушек) были приглашены для участия в пользовательском тестировании. Шесть из них имели опыт работы с компьютерной графикой или компьютерными 3D играми (1, 2, 4, 5, 6 лет). девять студентов имели опыт взаимодействия с иммерсивными VR устройствами. пять студентов участвовали в пользовательском тестировании взаимодействия с сенсорным экраном. Их возраст варьировался от 20 до 25 лет (средний возраст M = 23, стандартное отклонение SD = 1,47). 12 пользователей были правшами и 1 пользователь - левшой.

### 3.4.2 Оборудование

В качестве устройства отображения использовалась гарнитура виртуальной реальности HTC Vive, а в качестве устройств ввода - контроллер Vive и физический трекер HTC Tracker. Система взаимодействия в данной работе основана на Window 10 и была разработана с использованием Unity 5.6.

1. налобный дисплей HTC Vive

Головной дисплей Vive, показанный на рисунке 9, также известен как гарнитура и состоит из двух AMOLED-экранов с диагональю 3,6", монокулярным разрешением до 1080 x 1200 пикселей и частотой обновления 90 Гц. Головное устройство Vive поддерживает поле зрения до 110 градусов.



Рисунок 9 Наголовный дисплей Vive

2. Контроллер HTC Vive

Контроллер-джойстик HTC Vive отличается от 3D-мыши, которая обычно использовалась для взаимодействия с виртуальной средой в прошлом. Он разрывает границы между контроллером и захватом тела[40], позволяя взаимодействовать с кнопками на джойстике, а также отслеживать положение и ориентацию джойстика. Как и в гарнитуре Vive, джойстик использует технологию отслеживания SteamVR. Входы включают многофункциональную сенсорную панель, захват, двухступенчатую кнопку запуска, системную кнопку и кнопку меню. Джойстик также обеспечивает реалистичную тактильную обратную связь и может быть использован в качестве обратной связи с пользователем путем вызова соответствующего SDK, чтобы заставить джойстик вибрировать. Схема контроллера джойстика показана на рисунке 10.

图示

描述已自动生成

Рисунок 10 Схема контроллера захвата

3. Установка отслеживания пространственного позиционирования

Система отслеживания пространственного положения, также известная как базовая станция, использует Lighthouse в качестве системы позиционирования. В отличие от систем позиционирования других продуктов, базовая станция Vive использует для позиционирования не оптику и маркерные точки, а инфракрасный светодиодный массив и два инфракрасных лазерных излучателя для сканирования пространства с целью определения положения и ориентации шлема и рукоятки. Диапазон отслеживания может достигать 4 м х 3 м, а ощущения можно испытывать сидя, стоя или двигаясь в пространственном масштабе. Устройство отслеживания пространственного позиционирования показано на рисунке 11.



Рис. 11 Устройство отслеживания пространственного положения

4. Физический трекер Vive

Vive Physical Tracker (Tracker) - это новейшее предложение от HTC Vive, обеспечивающее беспроводное подключение к системе Vive VR без задержек. Это отличный способ объединить реальные объекты с виртуальной реальностью. Как и в реальном физическом мире, можно захватывать, перемещать и вращать трекер для управления движением объектов в виртуальной сцене. Этот интерактивный ввод очень естественный и интуитивно понятный, а физический трекер Vive показан на рисунке 12.

手机屏幕的截图

描述已自动生成

Рис. 12 Схема физического трекера Vive

### 3.4.3 Постановка задачи

В общей сложности 10 задач по размещению объектов направлены на манипулирование объектами путем их панорамирования и поворота в соответствии с целевым положением, которое задается каркасной моделью той же формы, что и манипулируемый объект. 10 заданий расписаны по времени, и на каждое из них отводится не более 60 секунд, чтобы пользователь не переутомился. Существует три способа перехода к следующей задаче; пользователь сопоставляет объект с целевой позицией и автоматически переходит к следующей задаче; время выполнения задачи истекло, и пользователь решает отказаться от текущей задачи. Для задачи размещения устанавливается порог ошибки, и когда пользователь размещает объект в пределах порога ошибки от целевого местоположения, цвет объекта меняется на зеленый, что указывает на успешное выполнение задачи и переход к следующей задаче. Для повышения точности размещения порог ошибки 0,002 м установлен для направлений x,y,z. Если время выполнения задания истекло, а пользователь не поместил объект в заданное положение, задание не выполняется, а положение объекта манипулирования в последнюю секунду сохраняется. В таблице 1 приведено описание каждой задачи.

Таблица 1 Постановка задачи

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Задание | Описание |
| 1 | перевод оси x | Перевести объект по оси x для соответствия целевой позиции |
| 2 | перевод оси y | Перевести объект по оси y для соответствия целевой позиции |
| 3 | перевод по оси z | Перевести объект по оси z для соответствия целевой позиции |
| 4 | Перевод по осям x-/y-/z | Перевести объект по оси xyz для соответствия целевой позиции |
| 5 | вращение по оси x | Поворот объекта вокруг оси x для соответствия целевому положению |
| 6 | Поворот по оси y | Поворот объекта вокруг оси y для соответствия целевому положению |
| 7 | вращение по оси z | Поворот объекта вокруг оси z для соответствия целевой позиции |
| 8 | вращение по осям x-/y-/z | Поворот объекта вокруг оси xyz для соответствия целевой позиции |
| 9 | Поворот вокруг оси z и перевод вдоль оси xy | Сопоставление объектов с их целевым положением |
| 10 | Шесть полных степеней свободы манипуляции | Сопоставление объектов с положением цели |

### 3.4.4 Дизайнерское решение

Для разработки эксперимента был использован метод повторных измерений с применением двух устройств ввода (контроллер HTC Vive, физический трекер HTC Vive). Каждый пользователь должен был пройти тесты на обоих устройствах по отдельности, а чтобы избежать предвзятости в последовательности тестов, половина пользователей сначала тестировала взаимодействие с рукояткой управления, а другая половина - взаимодействие с мультифизическим трекером. Для того чтобы соответствовать физическому взаимодействию, при взаимодействии с джойстиком время выполнения задания отсчитывалось с момента захвата объекта джойстиком, не считая времени, которое потребовалось пользователю для захвата объекта.

Для каждого из десяти заданий на соответствие позиций было выполнено по два раунда для каждого пользователя на каждом устройстве. Каждый раунд заданий всегда отображается в одном и том же порядке, как показано в таблице1. Постановка целевой позиции для каждой задачи была дифференцирована между раундами в соответствии с латинской матрицей. Записывалось время выполнения каждого задания, отклонение размещения модели и процент успешного выполнения задания для каждого устройства. Для двух дополнительных заданий тестировались только взаимодействия с ручками, в двух раундах по два задания в каждом, причем каждое задание состояло из двух взаимодействий.

В общей сложности было выполнено 1008 задач взаимодействия, 12 пользователей x 2 устройства ввода x 10 задач x 2 раза x 2 раунда = 960 задач взаимодействия, и две дополнительные задачи 12 пользователей x 2 задачи x 2 взаимодействия = 48 взаимодействий. Перед началом теста пользователя сначала ознакомили с отображением взаимодействия для каждого устройства ввода, рассказали, как пользователь должен манипулировать ручками, значение кнопок на каждой ручке и принцип управления объектами с помощью физического трекера. Между каждым заданием устройства ввода пользователя просили заполнить анкету для субъективной оценки удобства использования устройства ввода по 7-балльной шкале Лайкерта, включая сложность выполнения каждого задания, сложность запоминания каждого отображения взаимодействия и уровень физической усталости при выполнении задания. После выполнения всех заданий пользователя просили сравнить два устройства ввода и указать свои предпочтения и причины, включая интересность взаимодействия и личные предпочтения.

Помимо оценки взаимодействия с объектом, в данной работе также рассматривается пользовательский опыт двух методов взаимодействия с пользовательским интерфейсом, а именно: нажатие кнопки с использованием проектора джойстика и нажатие кнопки с использованием принципа прямой видимости.

Пользователи будут оценивать эти два устройства взаимодействия на основе своего опыта. Также были собраны данные об их предыдущем образовании в области компьютерной графики, опыте работы с 3D играми, опыте работы с большими мультисенсорными дисплеями и опыте использования устройств иммерсивной виртуальной реальности. Наконец, с каждым пользователем была установлена связь, чтобы дать предложения и вдохновение для будущей работы.

## 3.5 Результаты тестирования пользователей

В этой главе сообщается о результатах пользовательских тестов в двух частях, а именно: результаты выполнения заданий, общее предпочтение пользователей в отношении двух протестированных интерактивных устройств и субъективное восприятие их использования. В следующих подразделах анализируются полученные результаты и обсуждаются извлеченные уроки.

### 3.5.1 Результаты тестирования задачи

1. время выполнения задачи

Время завершения взаимодействия с рукояткой начинается, когда пользователь захватывает объект рукояткой, и заканчивается, когда пользователь отпускает рукоятку и помещает объект в пределах допустимого целевого положения. Время завершения взаимодействия с твердым трекером начинается, когда пользователь сталкивается с объектом с помощью трекера, и останавливается, когда объект достиг целевого положения в пределах допуска, рассчитанного триггером обнаружения столкновения. Результаты экспериментов, которые не выполнили задание успешно, не включаются в итоговые результаты. Среднее время выполнения задачи для задачи перевода, задачи вращения и операции завершения работы с 6 степенями свободы показано в таблице ниже.

图表, 条形图

描述已自动生成

Линейная диаграмма времени, затраченного на взаимодействие с трекером твердых тел и джойстиком для каждой задачи, показана на рисунке 13. где время выполнения задачи выражено в секундах. В таблице показаны медиана (горизонтальная линия в рамке), верхний квартиль и нижний квартиль (диапазон рамки), минимальное и максимальное время, затраченное на выполнение (длина вертикальной линии), и выбросы (выброшенные данные).

图表, 条形图

描述已自动生成

Рис. 13 Время, затраченное на взаимодействие между физическим трекером и джойстиком

2. частота отказов задач и ошибка размещения

Интенсивность неудачных миссий определяется отношением числа миссий, в которых не удалось разместить виртуальный объект в течение установленного времени и в пределах допустимой ошибки положения цели, к общему числу миссий. Всего из 1040 заданий не удалось выполнить 14 заданий, что составляет 1,54%. Количество неудачных заданий с использованием джойстика составило 9 (2 панорамирования, 6 вращений и 1 6 степеней свободы), а количество неудачных заданий с использованием твердого трекера - 7 (2 панорамирования, 4 вращения и 1 6 степеней свободы).

В случае, если задание не выполнено в течение заданного времени, положение объекта в последний момент фиксируется по истечении времени и сравнивается с целевым положением для получения ошибки размещения (мм). Ошибка размещения состоит как из ошибки положения, так и из ошибки вращения. Ошибка положения определяется расстоянием между двумя моделями. Ошибка вращения определяется углом (в градусах) между направлениями вперед двух моделей. Ошибки размещения для рукоятки и твердого трекера показаны в таблице 3 ниже.

Таблица 3 Ошибки размещения манипулятора и твердого трекера

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ошибка размещения | Ручка | Надежный трекер |
| Ошибка положения | 1.8mm | 4.0mm |
| Ошибка вращения | 4.45° | 6.36° |

### 3.5.2 Субъективная оценка пользователей

1. сравнение взаимодействия джойстика и физического трекера

Средние оценки пользователей по 7-балльной шкале Лайкерта для устройств взаимодействия с джойстиком и физическим трекером представлены в таблице 4 ниже.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Ручка | Твердый трекер |
| Трудность выполнения задания по панорамированию | 6.08 (легко выполнить) | 6.15 (легко выполнить) |
| Трудность выполнения задания по вращению | 5.46 (легче выполнить) | 5.62 (легче выполнить) |
| Трудности с оперативной памятью | 6.15 (легко запомнить) | 6.5 (легко запомнить) |
| Эксплуатационная точность | 5.62 (более точный) | 5.31 (более точно) |
| Операционная эффективность | 5.38 (более эффективно) | 5.46 (более эффективно) |

Рисунок4 Оценки взаимодействия с рукояткой и физическим трекером

После выполнения всех заданий с помощью обоих устройств, пользователей попросили сравнить два устройства взаимодействия. 61,54% пользователей предпочли взаимодействовать с физическим трекером, который они сочли более легким (×3), более естественным (×4) и более реалистичным (×1). Остальные 38,46% пользователей предпочитали взаимодействовать с 3D-объектами с помощью джойстика, который, по их мнению, был быстрее (×1) и имел более точное управление (×4). Сравнивая уровни усталости двух устройств, 69,23% пользователей считают, что взаимодействие с джойстиком было более утомительным.

2. сравнение методов взаимодействия пользовательского интерфейса с использованием указателя и с использованием линии взгляда

Пользователей также попросили сравнить два метода взаимодействия с пользовательским интерфейсом, и 61,54% пользователей предпочли взаимодействовать с пользовательским интерфейсом с помощью прямой видимости, хотя взаимодействие с помощью указателя джойстика было быстрее, но взаимодействие с помощью прямой видимости было более удобным.

3. Другие комментарии

(1) Информация о глубине, предоставляемая тенями объектов

В экспериментах по взаимодействию с сенсорным экраном большинство пользователей полагаются на тень объекта в сцене, чтобы манипулировать им. Однако в среде VR большинство пользователей не использовали тень в качестве подсказки глубины, а информация о глубине, предоставляемая тенью объекта, получила только оценку 3,15, пользователи сочли тень бесполезной.

(2) Возможность ходить вокруг места происшествия

Возможность ходить по сцене, чтобы видеть объекты в VR-среде, была оценена пользователями в 6,31 балла из 10, которые сочли эту функцию очень полезной для управления 3D-объектами.

(3) Обратная связь, например, выделение объекта и вибрация рукоятки

Пользователи сочли более полезной информацию о выделении ручек, объектов и т.д.

3. сравнение двух интерактивных устройств

Пять из 13 пользователей сочли, что джойстик легче в использовании, а восемь пользователей сочли, что физический трекер легче в использовании. Что касается сложности запоминания взаимодействия, 10 пользователей выбрали физический трекер как более легкий для запоминания, а 3 пользователя выбрали джойстик. Что касается точности, то 6 пользователей считают, что взаимодействие было более точным с джойстиком, а 7 пользователей считают, что физический трекер был более точным. В отношении операционной эффективности результаты совпали с приведенными выше.

4、Отзывы пользователей

Некоторые пользователи отметили, что из-за близорукости шлем неудобен при ношении с очками. Это влияет на фактическую работу, но в целом впечатления хорошие. Точность взаимодействия трудно контролировать, особенно при выполнении тонких настроек, и хотя джойстик более точен при взаимодействии, он может утомлять после длительного периода времени. Физический трекер ближе к реальным объектам, но ему не хватает обратной связи. Некоторые из девушек более низкого роста сообщили, что некоторые экспериментальные задания были поставлены на слишком высокую позицию цели, что затрудняло их выполнение. Единственный пользователь, который привык пользоваться левой рукой, был опрошен отдельно и сказал, что оба способа взаимодействия были удобны и просты для него.

## 3.6 Обсуждение и обобщение опыта

1. время выполнения задачи

Твердотельный трекер имеет преимущество по среднему времени выполнения только для задач перевода, вращения и 6 степеней свободы. В частности, по мере усложнения задач твердотельный трекер показал лучшие результаты, чем взаимодействие с джойстиком.

После детального анализа времени выполнения каждой задачи, результаты показаны на рисунке 13. В целом, похоже, что взаимодействие с джойстиком в целом заняло больше времени, чем с физическим трекером, однако физический трекер имел более высокую вероятность выбросов, то есть промахов, чем джойстик. Это связано с нестабильным отслеживанием физического трекера: некоторые пользователи испытывали дрожание и дрейф сцены во время выполнения задания, возможно, из-за аппаратного обеспечения. Необходимо дальнейшее исследование физического трекера. Время выполнения заданий с помощью джойстика в большинстве случаев было более разнесено, чем с помощью физического трекера, возможно, потому что некоторые пользователи, которые были новичками в VR-оборудовании, не привыкли использовать джойстик для взаимодействия. Данные по физическому трекеру были более концентрированными, за исключением данных по аномалиям, что означает, что каждому пользователю потребовалось примерно одинаковое количество времени для выполнения задания, а физический трекер был проще в использовании, чем джойстик. В заданиях по переводу задач1-4 и джойстик, и физический трекер были относительно стабильны, и разница между двумя методами взаимодействия не была значительной. Однако при выполнении заданий на вращение 5-8 производительность обоих устройств была непостоянной. Для полного манипулирования объектом с 6 степенями свободы физический трекер превзошел взаимодействие с джойстиком, как и ожидалось и в соответствии с отзывами и восприятием пользователей и т.д. В целом, физический трекер превзошел взаимодействие с джойстиком при решении более сложных задач. Что касается задачи вращения, то здесь еще есть большие возможности для улучшения, и будущие исследования будут направлены на повышение эффективности и точности вращения.

2. частота отказов задач и ошибка размещения

Общий процент невыполнения заданий в сочетании с ошибкой размещения невыполненных заданий показывает, что лучшие результаты могут быть получены в среде виртуальной реальности при использовании либо джойстика, либо физического трекера. Для обоих типов взаимодействия задача вращения была сложной. В случае взаимодействия с джойстиком это может быть связано с тем, что для поворота на угол требуется несколько операций, в результате чего время выполнения задания превышает необходимое. Для физического трекера, несмотря на простоту управления, задача не была выполнена из-за нестабильного сигнала слежения, недостаточной точности работы рукоятки и отсутствия подсказок, даваемых рукояткой.

Из результатов этого проекта можно сделать вывод, что конструкция вращательного взаимодействия может быть улучшена. В ходе эксперимента было замечено, что когда пользователи вращали объект, они выравнивали один конец кости, прежде чем регулировать другой. Однако это невозможно сделать одной рукой. Поэтому предлагается предусмотреть способ вращения объекта вокруг фиксированной точки для управления ориентацией объекта с помощью ручки. Например, одна рукоятка будет держать один конец скелета, а другая - регулировать угол. Хотя эта функция предусмотрена в данной работе, подход все еще нуждается в улучшении из-за плохо разработанного отображения движения между двумя ручками. Хотя твердотельный трекер можно использовать двумя руками для контроля ориентации объекта, его нелегко точно настроить из-за неустойчивости рук человека. Поэтому для задач, требующих особенно высокой точности манипулирования 3D-объектами, взаимодействие с рукояткой должно быть лучшим выбором, при условии, что взаимодействие с вращением рукоятки хорошо продумано. Однако для задач, не требующих высокой точности, а только быстрого и естественного взаимодействия с виртуальными 3D-объектами, лучшим выбором может стать твердотельный трекер.

3. Субъективная оценка пользователей

Что касается легкости выполнения заданий, большинство пользователей оценили задание на панорамирование как легкое, в то время как задание на вращение оказалось более сложным. Разница между оценками двух интерактивных устройств для задачи панорамирования не является значительной. В задании на вращение пользователи обнаружили, что физический трекер легче контролировать вращение. Отчасти потому, что это более естественный способ взаимодействия, а отчасти потому, что твердотельный трекер позволяет использовать две руки для управления вращением. Что касается сложности запоминания операций, пользователи обнаружили, что физический трекер легче запомнить, потому что управление им похоже на манипуляции с объектом в физическом мире. С точки зрения точности, по мнению пользователей, управление джойстиком было лучше, что согласуется с рассчитанной ошибкой размещения. С точки зрения эффективности, оба метода взаимодействия были более эффективными, при этом физический трекер оказался лучше.

Что касается взаимодействия с пользовательским интерфейсом, большинство пользователей предпочитали использовать вид шлема для взаимодействия с элементами пользовательского интерфейса. Удобно использовать линию зрения для взаимодействия с пользовательским интерфейсом, особенно когда обеими руками нужно манипулировать объектами.

Удивительно, но информация о тенях, предоставляемая для объектов в сцене, не была замечена большинством пользователей, и тени не использовались для определения того, выровнена ли модель. Возможно, в этом и заключается отличие устройств иммерсивного VR от устройств 2D вывода, таких как сенсорные экраны. Возможность ходить и смотреть на объекты в сцене оказалась сильной стороной устройств иммерсивного VR, и пользователи нашли эту функцию очень полезной для управления 3D-объектами. Кроме того, поскольку взаимодействие происходит в воздухе и не имеет реалистичных ощущений от прикосновения к сенсорному экрану, полезно обеспечить обратную связь, например, выделение и вибрацию объектов с помощью ручки, чтобы пользователь мог взаимодействовать с 3D-сценой.

Ручки и физические трекеры превосходят сенсорный экран и взаимодействие с мышью. Этого результата также следовало ожидать. Благодаря преимуществам самой аппаратуры, можно ощутить пространство и шагнуть в данные. Физические трекеры признаны самым простым устройством взаимодействия, поэтому для простых задач, требующих быстрого практического взаимодействия с физическим трекером, следует отдавать предпочтение физическому трекеру. Для более точного взаимодействия лучше использовать джойстик, клавиатуру мыши или сенсорный экран. Кроме того, судя по отзывам пользователей, тонкая настройка при взаимодействии с джойстиком все еще затруднена, поэтому необходимо разработать более точные взаимодействия для иммерсивных VR-устройств с учетом уровня усталости пользователя. С точки зрения разработки сценариев, сценарии должны быть разработаны таким образом, чтобы оптимизировать рост пользователя и другие характеристики, чтобы ими было легче управлять

## 3.7 Заключение

В этой главе взаимодействие между контроллером захвата и физическим трекером разработано в иммерсивной среде виртуальной реальности. Для решения проблемы, связанной с тем, что физический трекер не может взаимодействовать с пользовательским интерфейсом, также разработан механизм наведения и нажатия на пользовательский интерфейс, основанный на принципе прямой видимости. Кроме того, было проведено пользовательское тестирование для сравнения метода взаимодействия, используемого контроллером джойстика и физическим трекером. Наконец, результаты пользовательского тестирования представлены, проанализированы и обсуждены.

# 4. Резюме и перспективы

## 4.1 Краткое изложение работы в данной статье

Данная работа посвящена изучению и исследованию преимуществ и недостатков различных устройств VR-взаимодействия и различных техник взаимодействия при решении различных задач и работе с различными данными. Разработаны два типа взаимодействия - 2D-вход и выход и 3D-вход и выход. Исследуется взаимодействие нескольких устройств VR, включая большие сенсорные экраны, HTC Vive и беспроводные ручки. Для каждого устройства были поставлены задачи пользовательского тестирования. На основе точности, скорости и удовлетворенности пользователя при выполнении заданий были проведены статистический анализ и сравнение, чтобы определить преимущества и недостатки каждого устройства для взаимодействия со структурированными 3D-моделями. Основная работа, выполненная в данной статье, заключается в следующем.

1. разработать отдельные методы взаимодействия со структурированными 3D-объектами для каждого из двух устройств ввода в иммерсивной среде виртуальной реальности, включая прямое взаимодействие с использованием контроллера-джойстика и взаимодействие с использованием твердотельного трекера.

2. исследуются преимущества и недостатки двух типов 3D устройств ввода для взаимодействия в виртуальных сценах. Результаты пользовательских тестов, сравнивающих эти два метода взаимодействия в иммерсивной виртуальной реальности, показывают, что метод взаимодействия на основе контроллера-джойстика больше подходит для точного взаимодействия с 3D-объектами, в то время как устройство ввода с твердым трекером обеспечивает более быстрый и естественный способ взаимодействия.

3. был разработан механизм наведения и клика пользовательского интерфейса, основанный на принципе прямой видимости шлема, чтобы позволить пользователю использовать шлем для взаимодействия с элементами пользовательского интерфейса в виртуальной сцене, когда ему необходимо использовать обе руки для манипулирования виртуальными объектами.

4. обобщены и проанализированы преимущества и недостатки двух методов взаимодействия с иммерсивной виртуальной реальностью, чтобы предоставить некоторые рекомендации для будущих исследований и разработчиков инструментов.

## 4.2 Следующие шаги

После исследования и разработки взаимодействия между контроллером захвата и устройством отслеживания объектов был выявлен ряд проблем, которые необходимо улучшить, и есть надежда, что в будущей работе удастся разработать лучшее взаимодействие для улучшения пользовательского опыта. Следующие шаги в исследовании следующие.

1. разработать методы взаимодействия с контроллером джойстика, позволяющие более точно управлять им. Например, использование подхода, основанного на разделении степеней свободы, масштабирование количества движений захвата до соответствующих значений, когда требуются небольшие корректировки для отображения трансформации на 3D-объект, добавление некоторых опорных осей к объекту и разработка методов взаимодействия, когда две руки управляют вращением объекта вокруг фиксированной точки.

2. исследовать взаимодействие 3D-устройств ввода, таких как перчатки для работы с данными или Leap motion, с настольными приложениями.

3. исследовать способы взаимодействия со сценами в иммерсивных виртуальных средах с использованием соматосенсорных технологий, таких как Leap motion.

# 7. Список Литературы

1. https://www.xiaoxinys.cn/99665.html
2. https://www.vsdiffer.com/proscons/pros-and-cons-of-virtual-reality.html
3. https://wenku.baidu.com/view/4c23c6c27dd184254b35eefdc8d376eeafaa1751?aggId=d9b3a4aeef3a87c24028915f804d2b160b4e86bb&fr=catalogMain&\_wkts\_=1669149451129&bdQuery=%E8%99%9A%E6%8B%9F%E7%8E%B0%E5%AE%9E%E6%8A%80%E6%9C%AF%E7%9A%84%E5%BA%94%E7%94%A8%E5%89%8D%E6%99%AF%E5%92%8C%E4%BC%98%E5%8A%BF