

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано методической комиссией факультета вычислительной математики и кибернетики для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 010400 “Информационные технологии” и специальности 080801 “Прикладная информатика”

Н. Новгород
2012

УДК 681.3.06(072)
ББК В185
Т38

Т38 Системы виртуальной реальности. Составитель Осипов М.П.: Учебно-методическое пособие – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 48 с.

Рецензент: канд. физ.- мат. наук **Л.И. Лебедев**

Учебно-методическое пособие знакомит читателя с современным состоянием дел в области виртуальной реальности.

Пособие соответствует тематике учебно-научного инновационного комплекса УНИК-2 – «Разработка методов получения, обработки, хранения и передачи информации, включая диагностику природных сред, искусственных материалов и живых систем», который проводится в рамках приоритетного направления развития ННГУ как национального исследовательского университета: «Информационно-телекоммуникационные системы: физические и химические основы, перспективные материалы и технологии, математическое обеспечение и применение».

Предназначено для студентов факультета вычислительной математики и кибернетики ННГУ, специализирующихся в области информационных систем и технологий.

Ответственный за выпуск:
Председатель методической комиссии факультета ВМК ННГУ
к.ф.-м.н, доцент Савельев В.П.

УДК 681.3.06(072)
ББК В185

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| 1. Истоки виртуальной реальности | 5 |
| 1.1 Теоретики виртуальной реальности | 5 |
| 1.2 История технологического развития виртуальной реальности..... | 6 |
| 2. Свойства и виды виртуальной реальности | 15 |
| 3. Технологии объёмного изображения | 17 |
| 4. Устройства виртуальной реальности | 18 |
| 4.1 Система трекинга..... | 18 |
| 4.2 Перчатка виртуальной реальности..... | 18 |
| 4.2.1 История развития..... | 18 |
| 4.2.2 Текущие технологии..... | 23 |
| 4.3 Устройства для перемещения в виртуальной реальности..... | 29 |
| 4.3.1 Разработки университета Цукубы..... | 29 |
| 4.3.2 Всенаправленная беговая дорожка <i>Torus Treadmill</i> | 34 |
| 4.3.3 « <i>Виртусфера</i> » братьев Латыповых..... | 35 |
| 4.4 Устройства вывода..... | 37 |
| 5. Типы и примеры крупномасштабных проекционных систем | 38 |
| 5.1 <i>CAVE</i> | 39 |
| 5.2 <i>CyberStage</i> | 39 |
| 5.3 <i>StarCAVE</i> | 40 |
| 5.4 <i>i-Cone</i> | 41 |
| 5.5 <i>iDome</i> | 41 |
| 5.6 <i>Responsive Workbench</i> | 42 |
| 6. Области применения систем виртуальной реальности | 44 |
| Литература | 45 |

Введение

В последнее время бурное развитие информационных технологий породило рост интереса к виртуальной реальности. По своей сути, виртуальная реальность является новым этапом визуализации. Переходом от двумерного представления изображения к его объемному представлению. То есть изображение становится частью пространства и пользователь имеет возможность погрузиться в него. То, что ранее рождалось в воображении писателей-фантастов, получило возможность воплотиться в реальные разработки. Виртуальная реальность стремительно проникает во все сферы общественной жизни. Рост публикаций и научных работ, посвященных технологиям виртуальной реальности, показывает огромный интерес к этой сфере новых информационных технологий.

Основной задачей данного пособия является знакомство студентов с современным состоянием дел в области виртуальной реальности.

Учебно-методическое пособие содержит описание существующих технологий виртуальной реальности. Для этого произведен целостный обзор текущего положения дел в области виртуальной реальности, который был систематизирован и представлен в доступной форме. Показана история технологического развития виртуальной реальности. Дано определение и свойства виртуальной реальности. Приведены типы и примеры систем виртуальной реальности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №11-07-12049 офи-м.

1. Истоки виртуальной реальности

1.1 Теоретики виртуальной реальности

Виртуальная реальность – искусственный трехмерный мир, созданный с помощью компьютера и воспринимаемый человеком посредством специальных устройств [1].

Идеи, приведшие к возникновению феномена виртуальной реальности, зародились довольно давно. Предвестником виртуальной реальности считается Станислав Лем. В его книге «Сумма технологий» («*Summa technologiae*»), вышедшей в 1964 году, целая глава посвящена «фантоматике» – области знания, решающей проблему: «как создать действительность, которая для разумных существ, живущих в ней, ничем не отличалась бы от нормальной действительности, но подчинялась бы другим законам?». Фантоматика предполагает создание такой ситуации, когда никаких «выходов» из созданного фиктивного мира в реальную действительность нет. По Лемму: «Фантоматизация – это "короткое замыкание", то есть подключение человека к машине, фальсифицирующей действительность и изолирующей его от внешней среды» [2]. В различных своих художественных произведениях Лем также касается вопросов виртуальной реальности. Так в романе «Магелланово облако», изданном в 1955 году, астронавты, находясь на космическом корабле, с помощью «видеопластинки» могут ощущать себя на Земле в джунглях, на берегу моря и т.д. В романе «Возвращение со звезд» (1961 г.) фантомы свободно двигаются среди людей. В рассказе «Два молодых человека», изданном в 1965 году, один из персонажей, отдыхая в гамаке около дома, благодаря размещенной на голове металлической сетке с датчиками, ощущает, что управляет космическим кораблем, а второй персонаж, благодаря аналогичному устройству, во время космического полета ощущает себя на Земле сидящим на краю высокого обрыва [2].

Американский художник Мирон Крюгер в течение десяти лет, начиная с 1974 года, работал над идеей создания искусственного мира, позволяющего погрузить в себя пользователя и реагировать на его движения и перемещения. Для определения такого искусственного мира Крюгер ввел термин «искусственная реальность» («*artificial reality*»).

В начале 80-ых годов писатель из Канады Уильям Гибсон (*William Ford Gibson*) ввел понятие «киберпространство». Само слово *Cyberspace* («киберпространство») было впервые опубликовано в рассказе *Burning Chrome* («Сожжение Хром») в 1982 году. А через два года в романе *Neuromancer* («Нейромант») Гибсон расширил и углубил это понятие. Гибсон дал следующее определение: «Киберпространство – это согласованная галлюцинация, которую каждый день испытывают миллиарды обычных операторов во всем мире. Это графическое представление банков данных, хранящееся в общемировой сети компьютеров, подключенных к мозгу каждого человека. Невообразимая сложность – линии света, выстроенные в пространстве мозга, кластеры и созвездия

данных» [8].

Сам термин «*виртуальная реальность*» (*Virtual Reality*) был предложен в 1984 году американским исследователем *Джароном Ланьер (Jaron Lanier)* и укоренился по сей день. *Под этим словосочетанием он подразумевал «иммерсивную и интерактивную имитацию реалистичных и вымышленных сред, т.е. некий иллюзорный мир, в который погружается и с которым взаимодействует человек, причем создается этот мир имитационной системой, способной формировать соответственные стимулы в сенсорном поле человека и воспринимать его ответные реакции в моторном поле в реальном времени»* [9].

Ланьер был первым человеком, кто попытался коммерциализировать виртуальную реальность. В 1984 году Ланьер основал свою первую виртуальную компанию *VPL (Visual Programming Language) Research, Inc.* Эта компания занималась разработкой и выпуском устройств виртуальной реальности.

1.2. История технологического развития виртуальной реальности

Отсчет истории устройств погружения в виртуальную реальность следует начать с первого имитационного тренажера *Link Trainer*. Данный летный тренажер, созданный для военного ведомства Эдвином Линком в 1929 году, является первым прототипом системы виртуальной реальности. Тренажер представлял собой средство обучения пилотов, путем имитации реальных условий полета. Тренажер Линка состоял из фюзеляжа с кабиной, установленной на комплекте органических мехов, с помощью которых накачивался и спускался воздух, для того чтобы тренажер пикировал, кренился или набирал высоту (рис 1.1). Лётный тренажер синхронно воспроизводил кинокартинку и движение в трех осях.

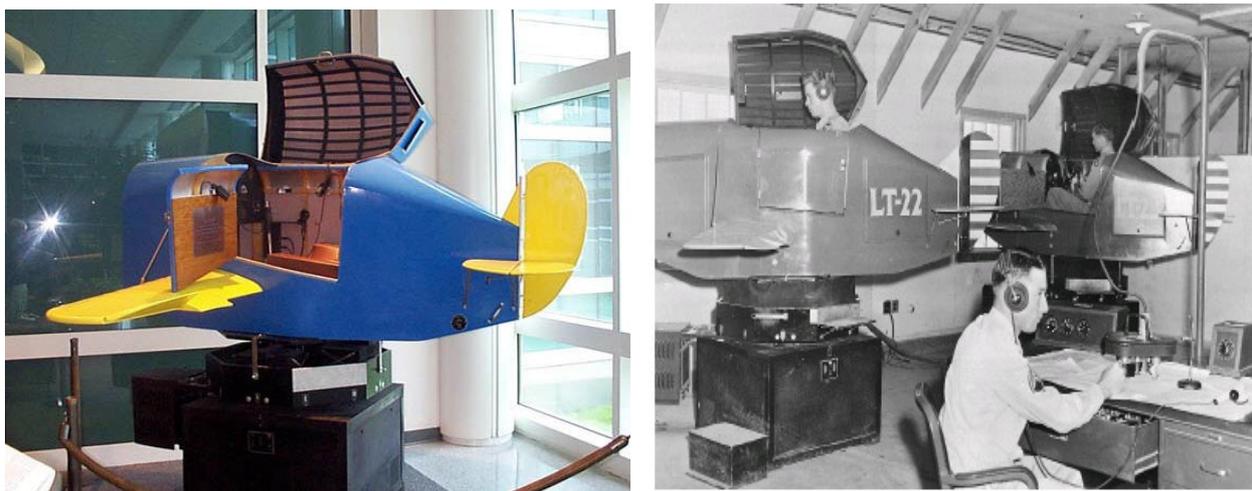


Рис.1.1. Первый имитационный тренажер *Link Trainer* (изображения взяты с сайтов <http://www.linktrainers.com> и <http://www.scienceclarified.com>)

В начале 1950-х годов Линк стал использовать компьютерные технологии при создании тренажеров, что положило начало новому поколению авиационных тренажеров. Симуляторы Линка использовались во многих проектах, вклю-

чая обучение астронавтов Apollo для высадки на Луну и подготовку пилотов шаттлов [3]. Использование тренажеров резко удешевило процесс обучения пилотов без ущерба их безопасности.

В 1939 году на Всемирной выставке в Нью-Йорке была впервые продемонстрирована система *Vitarama* – прообраз современных панорамных кинотеатров. Архитектор Ральф Уолкер и инженер Фред Уоллер создали систему, которая формировала изображение на панорамном экране, создаваемое одиннадцатью проекторами. Каждый проектор демонстрировал только часть изображения. Но благодаря специальному расположению проекторов на панорамном экране создавалась единая картинка. Панорамный экран был спроектирован таким образом, чтобы заполнить изображением все видимое пространство перед зрителем (рис. 1.2). Таким образом, при демонстрации фильма на такой системе зритель полностью погружался в создаваемую иллюзию. Во время Второй мировой войны на основе этой системы Фред Уоллер создал обучающий симулятор *Waller gunnery trainer* (стрелковый тренажер Уоллера). Данный тренажер считается первым прообразом коллективной системы виртуальной реальности.

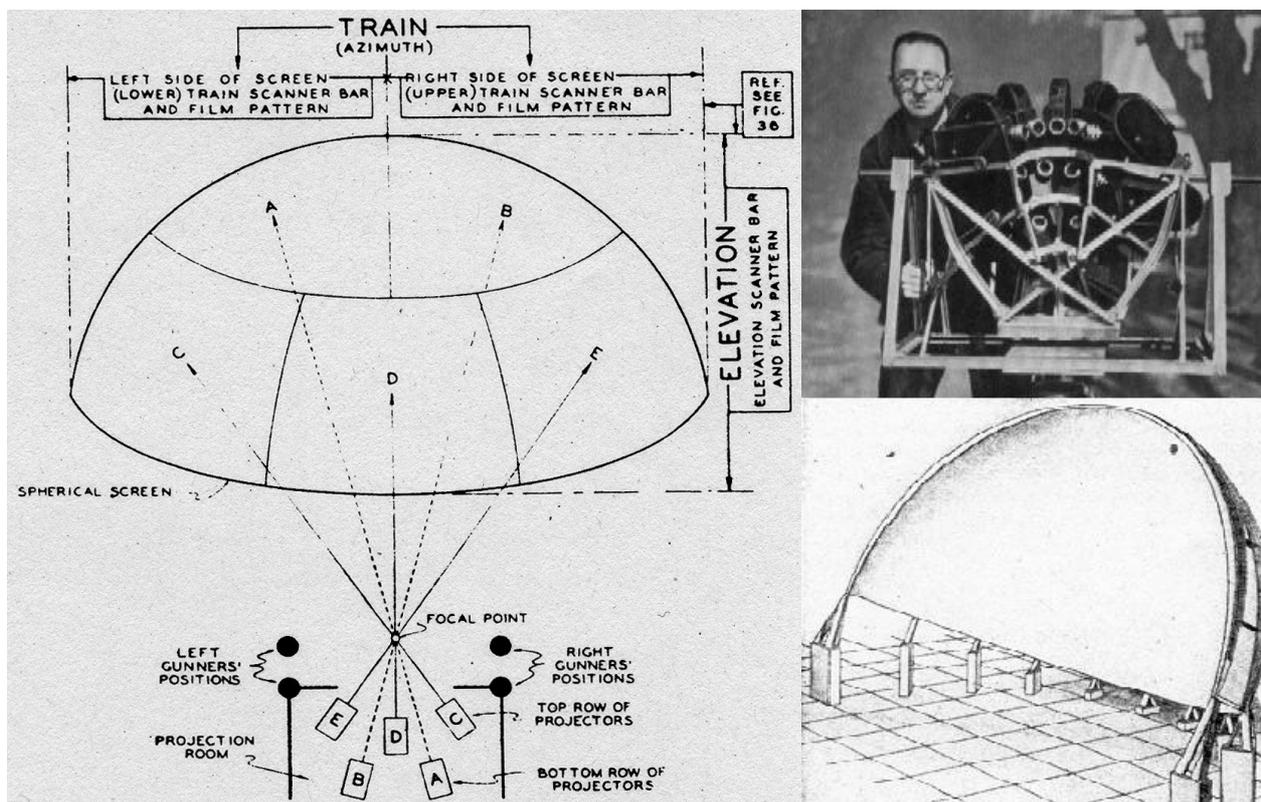


Рис. 1.2. Система *Vitarama* (изображение взято с сайта <http://www.in70mm.com>)

В 1955 году кинодеятель и изобретатель Мортон Хейлинг в книге «*Театр опыта*» предлагал вовлечь в кинопроцесс не только зрение и слух, но и все остальные органы чувств. В 1957 году им был создан экспериментальный театр *Sensorama*, представляющий собой устройство, которое обеспечивало иллюзию реальности с помощью 3D фильма со стерео звуком, запахами, вибрациями сиденья и порывами ветра (рис 1.3). Человек садился на специальное сидение и помещал голову в специальную камеру, где ему демонстрировался набор стерео

видео роликов. Например, он мог совершать имитацию поездки на мотоцикле по улицам Бруклина. Для этого ему демонстрировался трехмерный фильм, снятый одновременно тремя камерами. Синхронно с изображением воспроизводился стереозвук (более двух динамиков). Благодаря вибраторам, пользователь чувствовал выбоины на дороге. Ощущал встречный ветер, созданный специальными вентиляторами. В соответствии с сюжетом фильма вдыхал различные ароматы, синтезированные посредством системы подачи запахов. Данное устройство по своей сути являлось первым прообразом системы виртуальной реальности полного погружения [4]. Позже Хейлинг развил эту идею до устройства *Experience Theater*, позволяющего целому залу принять участие в захватывающем шоу.

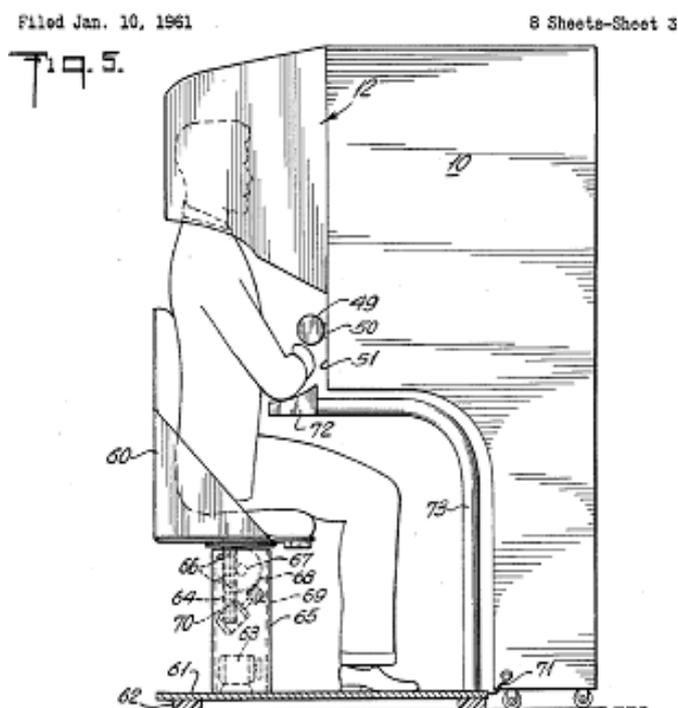


Рис. 1.3. Экспериментальный театр *Sensorama* (изображение взято с сайта <http://www.mortonheilig.com>)

Занимаясь созданием *Sensorama* Хейлинг пришел к еще одной гениальной идее – созданию головного дисплея. Так в 1961 году появился первый прототип шлема виртуальной реальности – головной дисплей *Telesphere Mask*. Это устройство представляло собой шлем с двумя установленными в нем широкоэкранными дисплеями, обеспечивающими стереоэффект, и двумя динамиками, воспроизводящими стереозвук (рис. 1.4.).

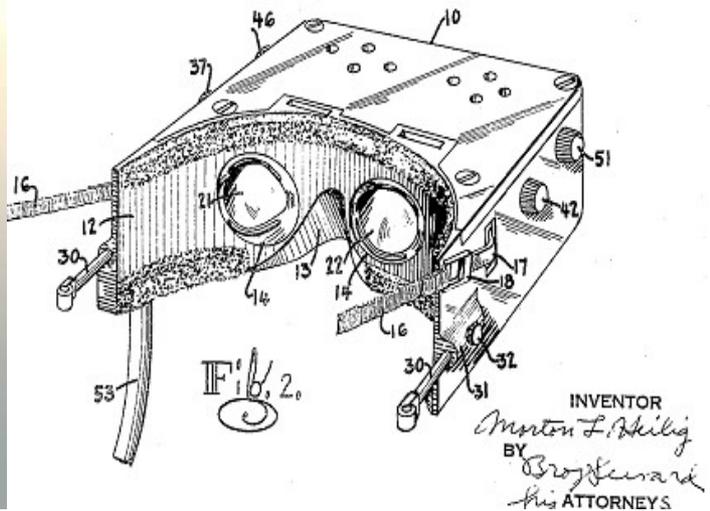


Рис. 1.4. Головной дисплей *Telesphere Mask* (взято с сайта <http://www.mortonheilig.com>)

Все описанные устройства работали с помощью механических приспособлений и погружали пользователя лишь в отображение реального мира, в котором ему отводилась роль лишь стороннего наблюдателя. Появление компьютеров дало возможность создавать искусственные трехмерные миры.

В 1959 году появилась первая графическая система *DAC-1* (*Design Augmented by Computers*), созданная компаниями *General Motors* и *IBM* (рис. 1.5.). С помощью этой системы можно было задать описание модели кузова автомобиля и вращать получившуюся трехмерную модель, рассматривая результат со всех сторон [5].



Рис. 1.5. первая графическая система *DAC-1*



ского интерфейса

Рис. 1.6. *Sketchpad* – первый прототип графиче-

(изображения взяты с сайта <http://sophia.javeriana.edu.co>)

В 1963 году Айвен Сазерленд разработал первый прототип графического интерфейса – программу *Sketchpad*. По своей сути эта программа представляла собой первый прообраз системы автоматизированного проектирования (САПР). Она могла рисовать линии и комбинировать их в различные фигуры (рис. 1.6). Созданные фигуры могли обрабатываться как одно целое. Например, их можно

было копировать, перемещать, поворачивать или масштабировать без изменения их основных свойств. Такой подход позже лег в основу объектно-ориентированного программирования.

Достижения в визуализации и прогресс в области человеко-машинного интерфейса привели к появлению систем виртуальной реальности, позволяющих создавать искусственную реальность с помощью компьютерных технологий. В 1965 году Айвен Сазерленд написал эссе под названием *The Ultimate Display* [6]. В нем он описал идеальную компьютерную систему, которая позволяла пользователям управлять "объектами" из данных, изменяя их форму и положение на экране, так же просто, как люди перемещают физические объекты в реальном мире.

В концепцию Сазерленда входит [7]:

- Виртуальный мир, который кажется реальным для любого наблюдателя, сквозь шлем-дисплей, дополненный трехмерным звуком и тактильными раздражителями.
- Компьютер, который создает и отображает модель мира в реальном времени.
- Возможность для пользователей манипулировать виртуальными объектами как в реальности, интуитивно понятным способом.

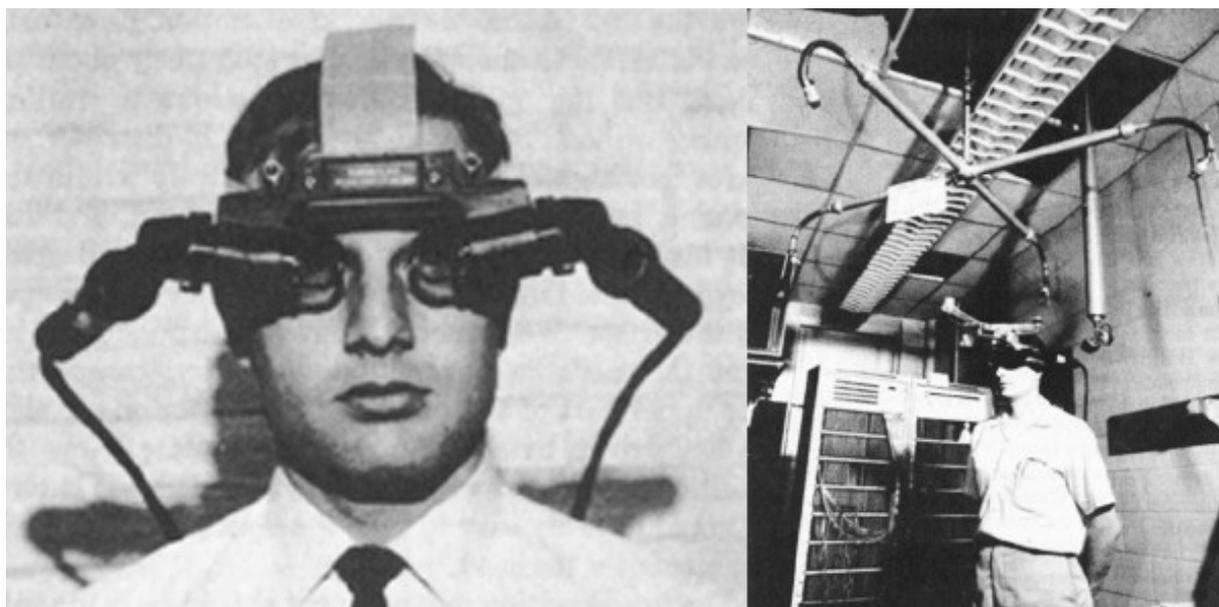


Рис. 1.7. Первый шлем виртуальной реальности «Дамоклов меч»
(изображение взято с сайта <http://vrliving.com>)

Сазерленд понимал, что к тому времени еще не существовало технологии для реализации его концепции, но пытался создать простое устройство, которое бы реализовало некоторые из ее особенностей. Так в 1966 году при поддержке министерства обороны он начал разработку первого шлема виртуальной реальности. В 1968 году Айвен Сазерленд создал головной дисплей, изображение на котором генерировалось с помощью компьютера (раньше шлем подключался только к камерам). Его вес был достаточно большим, поэтому он был подвешен

к потолку. Отсюда и его название «*Дамоклов меч*» («*The Sword of Damocles*») (рис. 1.7). Компьютер формировал изображения и отображал их на экране в режиме «стерео», создавая иллюзию глубины. Одновременно с изображением воспроизводился стерео звук. Также в шлеме были установлены датчики, отслеживающие положение головы пользователя, благодаря чему при повороте головы человека синхронно менялось изображение на экране дисплея. Первым применением такого шлема был куб, подвешенный в воздухе перед пользователем. Таким образом, впервые появилась возможность погрузить пользователя в искусственный мир, где он будет не только сторонним наблюдателем, но и активным участником. Это изобретение придало большой толчок развитию виртуальной реальности.

Первой системой виртуальной реальности принято считать Aspen Movie Map (кинокарта города Аспен). Она была создана в 1977 году в Массачусетском Технологическом Институте и представляла собой симулятор движения автомобиля по городу Аспен (рис. 1.8). Пользователь системы видел улицы города с точки зрения водителя автомобиля. Для этого с помощью четырех камер установленных на автомобиле была проведена съемка улиц всего города Аспен. Камеры были расположены так, чтобы охватить весь обзор вокруг автомобиля. Съемки производились каждые десять футов. В результате из совокупности отдельных сцен был смонтирован фильм, записанный на лазерный диск. Использование лазерного диска, в отличие от ленточных накопителей, позволило свободно перемещаться на любой кадр фильма. Таким образом, пользователь мог выбрать любой путь движения по городу. Единственным ограничением оставалась необходимость находиться в центре улицы и иметь шаг движения десять футов.



Рис. 1.8. Aspen Movie Map

(изображения взяты с сайтов <http://www.inventinginteractive.com> и <http://head.hesge.ch>)

В отличие от предыдущей системы полного погружения *Sensorama*, пользователь стал не только наблюдателем «*виртуального мира*», но и его участником. Он мог свободно перемещаться по улицам города и выбирать летний, зимний либо каркасный вид отображения местности (рис. 1.8). *Aspen Movie Map* стала прообразом популярного сейчас сервиса *Google Map's street view*.

Идею интерактивности развил американский художник Мирон Крюгер. В 1983 году он предложил идею «видеостола» (Video Desk), а затем и «видеопространства» (Video Place). «Видеостол» включал в себя систему, отслеживающую перемещение рук, пальцев и других объектов. Кроме того, он мог реагировать на большой набор жестов. «Видеопространство» представляло собой систему видеоналожения изображения объекта (человека) на генерируемую компьютером картинку (рис. 1.9). Таким образом, был реализован новый уровень взаимодействия человека с искусственным миром. В этом же году эти идеи были опубликованы им в книге «Artificial Reality».

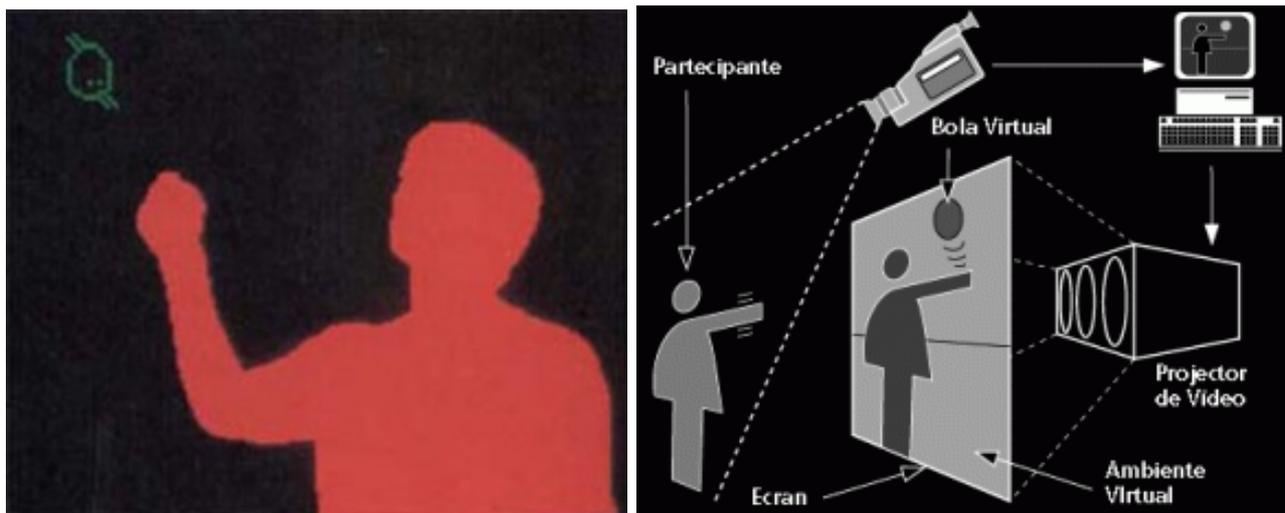


Рис. 1.9. Система «видеопространство» (Video Place) (изображения взяты с сайта <http://interartive.org>)

Начиная с 1984 года, компания VPL (Visual Programming Language) Research, Inc. занималась разработкой и выпуском устройств виртуальной реальности. Сотрудниками компании была сконструирована первая примитивная система виртуальной реальности. Она состояла из разработанных этой же компанией шлема виртуальной реальности VPL HMD и перчаток виртуальной реальности VPL DataGlove (рис. 1.10). Перчатки были предназначены для того, чтобы манипулировать виртуальными объектами в электронном пространстве.

Так же под брендом компании был выпущен первый костюм виртуальной реальности VPL DataSuit (рис. 1.10). VPL DataSuit представлял собой полный костюм, который способен измерять степень сгибания всех основных суставов тела. Таким образом, с помощью DataSuit можно было оцифровать движение рук, ног, туловища. Положение же тела в пространстве измерялось при помощи четырех дополнительных позиционных датчиков Polhemus [10].

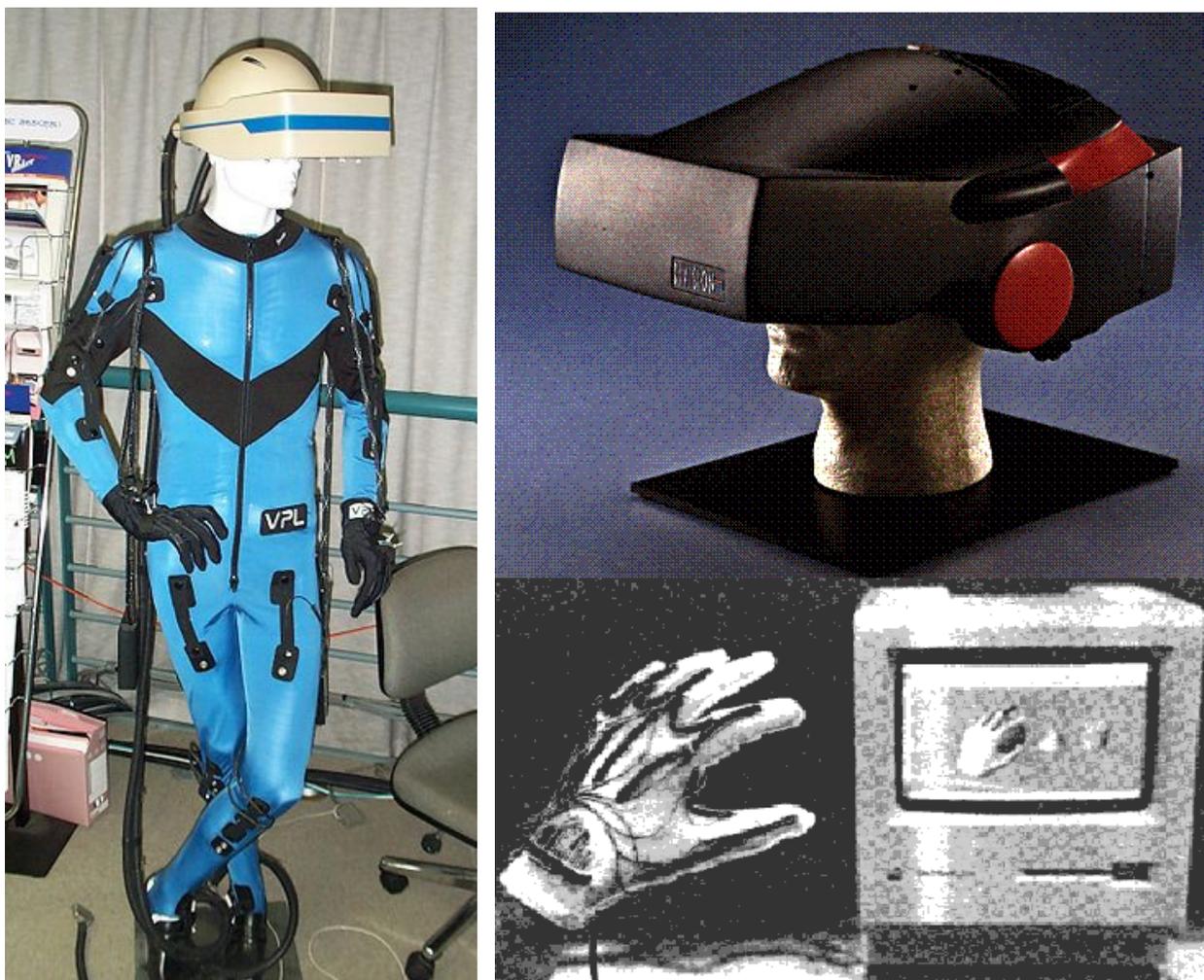


Рис. 1.10. Продукция компании VPL: VPL HMD, VPL DataGlov и VPL DataSuit (изображения взяты с сайтов <http://etc.gdut.edu.cn>, <http://www.cse.unsw.edu.au>, <http://upload.wikimedia.org>)

В 1992 году Дэн Сэндин, Том ДеФанти и Каролина Круз-Нейра разработали проект *The Cave (Computer Assisted Virtual Environment)* (рис. 1.11).

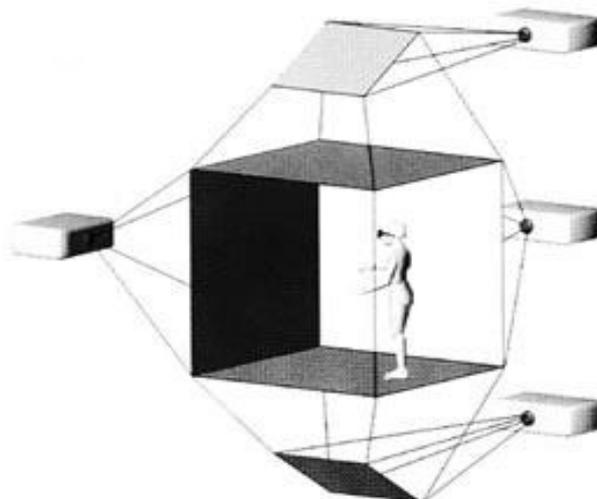


Рис. 1.11. Схема работы системы виртуальной реальности CAVE (изображения взято с сайта <http://www.billbuxton.com/VRtaxonomy.html>)

Идея проекта состояла в создании проекционной системы полного погружения. Для этого была разработана система, представляющая собой небольшую комнату размером 3 метра на 3 метра, на стены которой проецируется стереоскопическое изображение. Находясь в такой комнате, зритель визуально ощущал себя внутри виртуального пространства.

На сегодняшний момент *CAVE* считается стандартом систем виртуальной реальности полного погружения.

2. Свойства и виды виртуальной реальности

Выделяются следующие специфические свойства виртуальной реальности: порожденность, актуальность, автономность и интерактивность. Известный российский исследователь виртуальной реальности Николай Александрович Носов так раскрыл суть этих свойств [11]:

- **«Порожденность.** Виртуальная реальность продуцируется активностью какой-либо другой реальности, внешней по отношению к ней.
- **Актуальность.** Виртуальная реальность существует актуально, только ”здесь и теперь”, только пока активна порождающая реальность.
- **Автономность.** В виртуальной реальности свое время, пространство и законы существования (в каждой виртуальной реальности своя “природа”).
- **Интерактивность.** Виртуальная реальность может взаимодействовать со всеми другими реальностями, в том числе и с порождающей, как онтологически независимая от них».

Различают три класса виртуальной реальности: условные, прожективные и пограничные.

Условная виртуальная реальность воссоздает виртуальный мир при помощи моделей и схем. То есть здесь нет необходимости в полной имитации реальности. Примером условной виртуальной реальности может быть, например «*видеопространство*» Мирона Крюгера.

К прожективным виртуальным реальностям можно отнести реальности, спроектированные на основе некоторых идей. Это может быть придуманный, сюрреалистический мир.

Пограничная виртуальная реальность представляет собой некоторое сочетание настоящей реальности с виртуальной.

Исходя из степени взаимодействия пользователя с виртуальным миром, виртуальную реальность разделяют на пассивную, обследуемую и интерактивную. Словарь-справочник «Информатика. Новый систематизированный толковый словарь» так трактует эти понятия [12]:

- **«Пассивная виртуальная реальность (passive virtual reality)** – графическое изображение и его звуковое сопровождение воспроизводятся ЭВМ и никак не управляются человеком». Такую реальность, например, реализует экспериментальный театр Sensorama Мортон Хейлинга.
- **«Обследуемая виртуальная реальность (exploratory virtual reality)** – возможен выбор и ограниченное управление содержанием предоставляемых пользователям вариантов сценариев изображения и звука». Описанная ранее кинокарта города Аспен (Aspen Movie Map) является реализацией обследуемой виртуальной реальности.
- **«Интерактивная виртуальная реальность (interactive virtual reality)**

– полномасштабная реализация виртуальной реальности. Пользователю предоставляются возможности управления, которые он мог или захотел бы выполнить, если бы он действительно находился в созданном искусственном мире». Системы типа CAVE могут служить примером реализации такого вида реальности.

Интерактивная виртуальная реальность, в свою очередь, разделяется на иммерсионную и смешанную реальности.

Иммерсионная виртуальная реальность обеспечивает как частичное, так и полное погружение пользователя в виртуальную среду [13].

Смешанная реальность (mixed reality) включает в себя дополненную реальность и дополненную виртуальность.

Дополненная реальность (augmented reality) – это реальность, дополненная виртуальными объектами [13].

Дополненная виртуальность (augmented virtuality) – это виртуальный мир, дополненный объектами реального мира.

3. Технологии объёмного изображения

Человек обладает бинокулярным зрением, которое позволяет воспринимать форму, размеры и расстояния до предмета. По сути, головной мозг получает от каждого глаза два различных изображения, а воспринимает их как одно трехмерное изображение. Такой механизм позволяет осуществлять объёмное восприятие объектов в пространстве.

Таким образом, для того чтобы человек воспринимал изображение виртуальной реальности объёмным, требуется сформировать два канала изображения (стереопара) и обеспечить условия передачи изображений отдельно в каждый глаз (стереоскопическая технология). Существует несколько вариантов реализации этой технологии:

- **Пассивная технология.** Применяются очки с поляризационными либо цветовыми (анаглиф) фильтрами. В результате, каждый фильтр формирует отдельную картинку для левого и правого глаза.
- **Активная технология.** Используются очки-затворы (shutter glasses). Затворы на очках поочередно закрываются и на экран выводится изображение для открытого глаза. То есть в единицу времени можно видеть только одно изображение для левого или правого глаза.
- **Автостереоскопическая технология.** Метод не использует специальные очки. Изображение на экране формируется из узких вертикальных полосок, которые представляют собой чередование изображений стереопары. То есть четные полоски в целом составляют одно изображение стереопары, а нечетные – другое. Полученное изображение закрывается «*параллаксным барьером*», представляющим собой слой лентичулярных линз. Такой способ позволяет с одной позиции наблюдателя видеть только первое изображение стереопары (слой четных вертикальных полосок), а с другой позиции второе изображение. Таким образом, при определенном положении наблюдателя отдельно в каждый глаз поступает свое изображение стереопары.

Первое устройство для просмотра объёмных изображений (стереоскоп) построил профессор Лондонского королевского колледжа Чарльз Уитстоун в 1833 году. В 1844 году Людвиг Мозер выпустил свой первый стереоскопический фотоаппарат. Стереоскопические съемки считаются первыми опытами создания виртуальной реальности.

4. Устройства виртуальной реальности

Одной из важнейших технических трудностей виртуальной реальности являются принципы и устройства взаимодействия с виртуальностью. **Системами виртуальной реальности** называют устройства, которые воздействуют на все пять органов чувств человека, тем самым, позволяя пользователю почувствовать, что он действительно находится в виртуальном мире. Такие системы включают в себя **специальные устройства ввода и вывода**, формирующие у человека (пользователя) те же ощущения, которые получает его воплощение в виртуальном мире.

Устройства ввода включают в себя:

- 1) **Систему трекинга.**
- 2) **Перчатки виртуальной реальности для манипуляции с виртуальными объектами.**
- 3) **Устройства для перемещения в виртуальной реальности. Джойстики, шаровые манипуляторы и т.д.**
- 4) **Костюм виртуальной реальности**, который способен измерять степень сгибания всех основных суставов тела. Так же костюм может обладать устройствами обратной связи, которые путем воздействия на нервные окончания могут вызывать тактильные ощущения у пользователя, имитируя реакцию виртуального мира.

4.1 Система трекинга

Система трекинга (*Tracking system*) – устройство, предназначенное для отслеживания перемещений пользователя и/или частей его тела в пространстве [14]. Позиция и ориентация объекта в пространстве определяется с помощью специальных датчиков и маркеров. Система трекинга является важным элементом систем виртуальной реальности, обеспечивающие взаимодействие с виртуальным миром. Это устройство позволяет фиксировать любые изменения в положении пользователя, для того чтобы система визуализации произвела аналогичные изменения в виртуальном мире.

Существуют разные реализации систем трекинга: электромагнитные, ультразвуковые механические, инерционные и оптические.

4.2 Перчатки виртуальной реальности

4.2.1 История развития

Перчатки виртуальной реальности представляют собой устройство ввода в виртуальную реальность, позволяющее манипулировать объектами виртуаль-

ного мира. Выглядят такое устройство в виде перчатки, оснащенной электронными датчиками, которые регистрируют перемещения предплечья и кисти рук.

Первые перчатки виртуальной реальности были разработаны в 1977 году сотрудниками лаборатории «*Electronic Visualization Laboratory*» Даниэлем Сандином (*Daniel J. Sandin*), Томасом де Фанти (*Tomas de Fanti*) и основателем этой идеи Ричардом Сэйри (*Rich Sayre*). Это устройство под названием «*Sayre Glove*» использовало световые датчики, представляющими собой гибкие трубки с источником света на одном конце и фотоэлементами на другом. При сгибании пальца можно было измерить количество света, которое попало на фотоэлемент. Таким образом, измерялась степень сгибания пальца. Перчатки, основанные на этой идее, представляли легкий и недорогой способ мониторинга движения пальцев рук, что обеспечивало эффективный метод многомерного контроля. Устройство имело ограниченный круг применения.



Рис. 4.1. Перчатка *MIT LED Glove*



Рис. 4.2. Перчатка *Data Entry Glove*

(изображения взяты с сайта <http://www.cs.ru.ac.za>)

В 1980-ом году исследователями лаборатории *MIT Media Lab* были разработаны перчатки «*MIT LED Glove*» основанные на технологии оптического захвата движения [15] (рис. 4.1). Перчатки являлись частью светодиодной системы отслеживания положения тела и его конечностей в реальном времени для задач компьютерной анимации.

Первым широко признанным устройством для измерения позиции рук стала цифровая перчатка для ввода данных «*Digital Data Entry Glove*» (рис. 4.2), разработанная и запатентованная в 1983 году доктором Гэри Граймсом из исследовательского центра «*AT&T Bell Laboratories*». Она была оснащена датчиками для определения положения в пространстве, датчиками сгибания на пальцах и тактильными сенсорами на кончиках пальцев. Устройство понимало 80 уникальных комбинаций датчиков, определяющих единый алфавит языка жестов, и разрабатывалось для американских глухих. Перчатки таки и не были введены в широкое использование.

В 1986 году была выпущена первая коммерческая перчатка виртуальной реальности «*Dataglove*» (рис. 4.3). Разработана она была Томасом Циммерманом из компании *VPL (Visual Programming Language) Research, Inc.* для астро-

навтов по заказу космического агентства *NASA*.



Рис. 4.3. Первая коммерческая перчатка виртуальной реальности «*Dataglove*» (изображение взято с сайта <http://www.cs.ru.ac.za>)

Перчатка «*Dataglove*» имела ряд ключевых преимуществ перед своими предшественниками. Она работала в режиме реального времени, не требовала прямой видимости камеры и была достаточно удобна для пользователя.

Для определения положения руки в трехмерном пространстве в перчатке использовался магнит. Движения и изгибы отдельных пальцев перчатки измерялись с помощью оптоволоконных кабелей на тыльной стороне ладони, по два кабеля на каждый палец, за исключением большого. Для определения положения пальцев относительно ладони в перчатках «*Dataglove*» и «*Sayre Glove*», описанной ранее, использовались схожие технологии. С помощью светодиода по оптоволоконному кабелю пропускался свет, который регистрировался на другом конце фотоэлементом. Потеря света на фотоэлементе показывала степень изгиба пальца. Для этого использовались гибкие оптические датчики запатентованные Циммерманом. Передача информации от датчиков на компьютер осуществлялась через кабель по последовательному порту. Заявленная точность датчиков составляла 1° , тем не менее, на практике точность была близка к 10° . Датчики нуждались в постоянной калибровке не только под каждого пользователя. Но и для одного пользователя в течение сеанса приходилось производить калибровку. Жесткость перчатки вызывала быструю усталость пользователя. Перечисленные недостатки и довольно высокая цена (\$9000) не позволили найти данному продукту широкое применение [16].

В 1987 году сотрудники университета Юты и Массачусетского технологического института разработали систему ввода с использованием механического рычажного экзоскелета руки «*Exos Dexterous Handmaster*». Перчатки, использующие данную систему, имели 20 степеней свободы (по четыре на каждый палец) благодаря датчикам углов сгибания пальцев на основе эффекта Холла (рис. 4.4). Такая конструкция обеспечивала более точный ввод координатной информации. Однако точность обеспечивалась в ущерб комфорту. Пользоваться изготовленным из алюминия экзоскелетом, прикрепленным ко всем суставам руки,

было довольно не удобно.

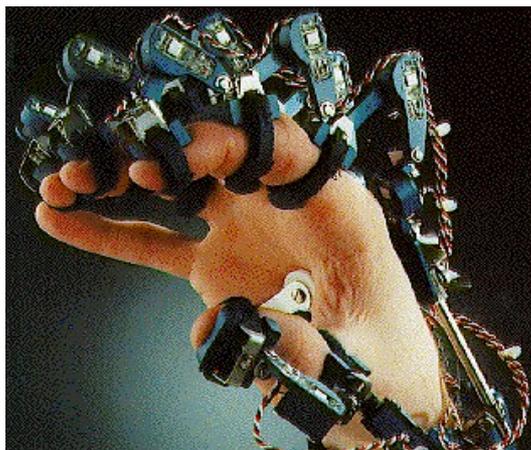
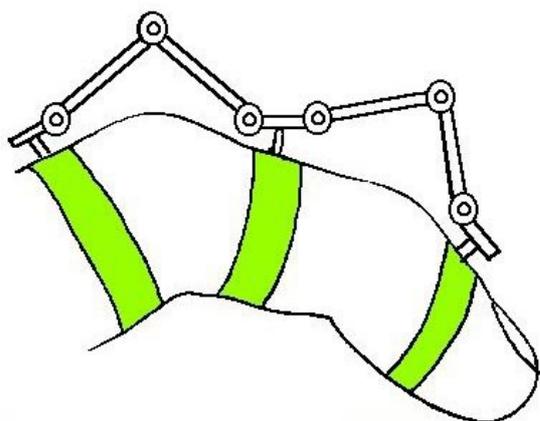


Рис. 4.4. *Exos Dexterous Handmaster* (изображения взяты с сайтов <http://www.visgraf.impa.br> и <http://www.doc.ic.ac.uk>)

В 1989 году фирмой *Abrams-Gentile Entertainment* была разработана перчатка виртуальной реальности *PowerGlove*. За основу разработки была взята перчатка *DataGlove* по лицензии *VPL Research*. В том же году компания *Mattel Toys* выпустила *PowerGlove* в широкую продажу в качестве устройства ввода для игровой консоли *Nintendo Entertainment System* (рис. 4.5). Это была первая попытка внедрить новое средство ввода на массовый рынок. Положение перчатки в пространстве считывалось при помощи нескольких микрофонов, которые улавливали ультразвук с излучателя установленного в перчатке. Кроме того, степень сгибания пальцев на руке определялась с помощью датчиков, покрытых токопроводящим составом, которые были вплетены в перчатку [10]. Перчатка не отличалась хорошей точностью при определении положения руки в пространстве, тем не менее, этого было достаточно в игровых приложениях, для которых она была разработана.

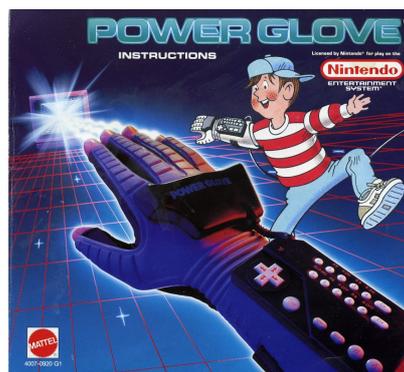


Рис. 4.5. Первая игровая перчатка виртуальной реальности *PowerGlove* (изображения взяты с сайтов <http://www.nintendo-gamer.net> и <http://nintendo.wikia.com>)

В 1989 году Джеймс Крамер из Стэнфордского университета разработал перчатки *CyberGlove* как часть системы по переводу американского языка жестов в разговорный английский. Перчатка представляла собой тонкую ткань с

вшитыми в неё 22-мя тензометрическими датчиками из фольги, позволяющими определить степени изгиба пальцев и запястья. Небольшой электронный блок был предназначен для перевода аналогового сигнала в цифровой поток, который передавался компьютеру с помощью последовательного соединения (рис. 4.6). Производительность перчатки отличалась высокой стабильностью, сохраняя при этом точность определения степени изгиба в пределах 1° [17].

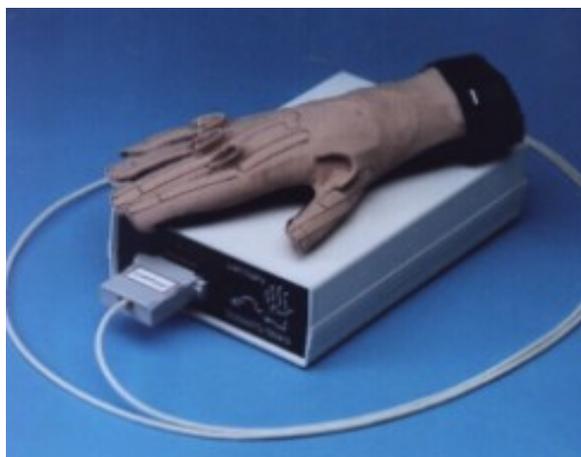


Рис. 4.6. Перчатка *CyberGlove* (изображение взято с сайта <http://www.issia.cnr.it>)



Рис. 4.7. Перчатка *PinchGlove* (изображение взято с сайта <http://www.senztech.cn>)

Более простой вариант компьютерной перчатки под названием *PinchGlove* выпускался компанией *FakeSpace Systems* (рис. 4.7). Это устройство не умело измерять положение, движение и ориентацию руки. Единственное что умела эта перчатка – определять соприкосновение кончиков пальцев. Впрочем, и такой возможности было достаточно для простого манипулирования предметами в виртуальном пространстве [10].

В 1997 году компанией *Humanware Srl* была запатентована и выпущена в продажу перчатка *Humanglove*. Перчатка являлась беспроводной и передача данных компьютеру осуществляется через *Bluetooth*. Таким образом, пользователь мог перемещаться без ограничений. Технология калибровки датчиков под конкретного пользователя была аналогична технологии использующейся для *CyberGlove*. Калибровка осуществлялась с помощью программного пакета *Graphical Virtual Hand*, который отображал на экране анимированную руку, повторяющую движения руки пользователя (рис. 4.8).

Система имела 22 датчика на основе эффекта Холла для определения степени сгибания суставов руки. По 4 датчика на каждый палец и два датчика на запястье. Датчики на эффекте Холла обеспечивали линейный отклик и показывали высокую степень надежности и устойчивости системы [18].



Рис. 4.8. Перчатка «Humanglove» (изображение взято с сайта <http://www.rehab.research.va.gov>)

4.2.2 Текущие технологии

За последние тридцать лет было разработано множество различных модификаций перчаток виртуальной реальности, но лишь немногие из них стали серийно выпускаться и поступили в широкую продажу. В этом разделе речь пойдет об основных моделях перчаток виртуальной реальности представленных на сегодняшнем рынке [15].

Перчатки *5DT Data Glove* (рис. 4.9) производятся компанией *Fifth Dimension Technologies (5DT)* и поставляются в нескольких вариантах [19]:

- ***5DT Data Glove 5 Ultra*** – перчатки обладают пятью сенсорными датчиками, каждый из которых отвечает за отдельный палец руки, благодаря чему регистрируется изгиб пальцев.
- ***5DT Data Glove 14 Ultra*** – имеет 14 датчиков измерений сгиба пальцев. На каждый палец руки пользователя приходится два датчика, а также 4 датчика установлены между пальцами.

В зависимости от серии перчатки имеют следующие особенности:

- ***5DT Data Glove Ultra Serial*** – передача данных между перчаткой и компьютером осуществляется по последовательному порту посредством протокола *RS-232*.
- ***5DT Data Glove Ultra Wireless Kit*** – поддерживается беспроводная работа с помощью технологии *Bluetooth*.
- ***5DT Data Glove 5 MRI*** – система оптимизирована для использования в системах основанных на магнитном резонансе – *Magnetic Resonance Imaging (MRI)* среде. Перчатка не содержит магнитных элементов. Соединяется с контроллером (на расстоянии 5-7 метров) через оптическое волокно. Контроллер соединяется с компьютером через кабель по последовательному порту [19].



Рис. 4.9. Перчатки *5DT Data Glove* (изображения взяты с сайтов <http://www.cgsociety.org> и <http://www.5dt.com>)

Виртуальная перчатка *5DT Data Glove* обеспечивает на порядок более точное позиционирование по сравнению с аналогичными устройствами. Это вызвано тем, что в процессе работы перчатка самокалибруется и это позволяет не накапливать ошибку.



Рис. 4.10. *P5 GLOVE* (изображение взято с сайта <http://www.hwp.ru>)

В 2000 году в компании *Essential Reality Inc* началась работа над созданием перчатки *The Gauntlet*. В основу разработки была положена патентная база от перчатки *Power Glove*, разработанной *Nintendo* для своих приставок еще в 80-х годах. В 2002 году компания выпустила продукт в широкую продажу под названием *P5 GLOVE* (рис. 4.10). Перчатка имела запатентованную систему слежения за положением руки в пространстве. Для этого на ней было установлено восемь датчиков пространственного положения (светодиоды). Инфракрасный приемник (*P5 Receptor*), выполненный в виде пластиковой стойки черного цвета, принимал информацию от датчиков и вычислял положение перчатки в про-

странстве (рис. 4.10). Для соединения с компьютером приемник был оснащен *USB*-интерфейсом. Вдоль пальцев располагались эластичные полосы с сенсорными датчиками изгиба. Они фиксировали изменения положения и формы пальцев пользователя. Точность измерения датчиков составляла порядка 1.4° . По своим функциональным возможностям продукт напоминал перчатку серии *5DT Data Glove 5 Ultra* и позиционировался как недорогая перчатка начального уровня.



Рис. 4.11. CyberGlove II (изображение взято с сайта <http://www.vrealities.com>)

В 2005 году компания *Immersion Corporation* выпустила перчатку *CyberGlove II*, которая представляла собой усовершенствованную модель *CyberGlove*. Перчатка в отличие от предыдущей модели была беспроводной и работала через *Bluetooth*. Передатчик *Bluetooth* с аккумулятором располагался на специальном поясе, который крепился на предплечье пользователя (рис. 4.11). *CyberGlove II* доступна в двух вариантах с 18 или 22 сенсорными датчиками. Частота обновления информации, поступающая от сенсорных датчиков, составляла более 100 измерений в секунду, а погрешность измерений около 1° . Модель с восемнадцатью сенсорными датчиками имела по два датчика на каждый палец руки для регистрации изгиба и движения пальца, по два датчика, регистрирующих движения отводящей мышцы запястья, изгиб ладони и изгиб запястья, два датчика следящих за движениями большого пальца руки и четыре датчика для снятия показаний с отводящих мышц пальцев. В 22-сенсорной модели за регистрацию изгиба и движения пальцев отвечали уже не два, а три сенсорных датчика для каждого пальца руки [20].

Также *Immersion Corporation* запатентовала несколько интересных технологий для своих перчаток *CyberGlove*. Устройство *CyberTouch* позволяет обеспечить передачу тактильных ощущений при прикосновении к объектам виртуального мира. Такой эффект обеспечивают несколько небольших вибросимуляторов, которые крепятся к пальцам и запястью руки (рис.4.12).



Рис. 4.12. *CyberTouch* (изображение взято с сайта <http://www.inition.co.uk>)

С помощью вибросимулятора генерируются короткие импульсы или продолжительные вибрации. Таким образом, происходит имитация простых ощущений. Более сложные ощущения, как прикосновение к жидкости или скольжение по гладкой поверхности, имитируются комбинацией различных сигналов вибростимулятора.



Рис.4.13. *CyberGrasp* (изображение взято с сайта <http://www.wired.co.uk>)

Устройство *CyberGras* позволяет пользователю почувствовать физическое воздействие виртуальной реальности. Специальные тяговые механизмы надеваются поверх перчатки *CyberGlove* и напоминают собой железный каркас руки (рис. 4.13). На каждый палец приходится свой тяговый механизм. Тяговые механизмы с разной силой противодействуют сжатию пальцев руки. Степень противодействия зависит от степени твердости виртуального предмета сжимаемого рукой пользователя. Тем самым пользователь может чувствовать размер, плот-

ность и форму виртуальных предметов.



Рис 4.14. *CyberForce* (изображение взято с сайта <http://www.senztech.cc>)

Устройство *CyberForce* является дополнением к системе *CyberGrasp*. С помощью его можно ощутить вес предметов, находящихся в «виртуальных» руках пользователя (рис. 4.14).



Рис. 4.15. *MoCap Glove* (изображение взято с сайта <http://www.aterux.com>)

В июле 2010 года на выставке *Siggraph*, прошедшей в Лос-Анджелесе компания *CyberGlove Systems* представила перчатки *MoCap Glove*, разработанные для производства анимации и применения технологии захвата движения (*motion capture*). Они представляли собой усовершенствованную модель *CyberGlove II*, дополненную активными сенсорами положения руки отслеживающими маркерами, расположенные на перчатке (рис. 4.15).



Рис. 4.16. Fingertracking (изображение взято с сайта <http://www.ar-tracking.com>)

Перчатки *Fingertracking* разработанные компанией *A.R.T. (Advanced Realtime Tracking GmbH)* основаны на технологии оптического трекинга. На руке крепятся наборы активных мишеней (рис. 4.16). Один набор располагается на кисти руки и служит для определения положения руки в пространстве. Также на кончиках пальцев располагается три или пять активных мишеней для определения положения пальцев рук. Активные оптические мишени представляют собой инфракрасные *LED* источники внутри светорассеивающих сфер. Отслеживание мишеней в инфракрасном спектре осуществляется с помощью трекинговых камер *ARTtrack*. Для подключения системы к компьютеру используется контроллер *Dtrack*. Преимущество таких перчаток над существующими аналогами очевидно. На ряду с высокой точностью измерений положения кончиков пальцев рук, система является более удобной ввиду отсутствия перчаток и проводов (используется оптический трекинг).

В 2009 году американская компания *AnthroTronix* выпустила первую в мире программируемую перчатку виртуальной реальности *AcceleGlove*. В комплект поставки входит открытое *API* и таким образом разработчики, используя язык *Java*, могут настроить работу перчатки с любым приложением.



Рис. 4.17. *AcceleGlove*

(изображения взяты с сайтов <http://www.technologyreview.com> и <http://www.gizmag.com>)

Перчатка изготовлена из материала на основе нейлона и легко растягива-

ется под размер руки. Обрезанные кончики пальцев на перчатке позволяют писать ручкой или печатать на клавиатуре. Считывание движения пальцев рук происходит благодаря акселерометрам, установленным на каждом пальце перчатки. Вращательные движения руки, ее положение относительно плеч и всего тела фиксируются благодаря акселерометрам установленным на растяжимых браслетах, которые надеваются на запястья руки и над локтем (рис. 4.17) [21]. В середине 2012 года компания прекратила выпуск данной продукции.

4.3 Устройства для перемещения в виртуальной реальности

Управление перемещением в виртуальном пространстве зачастую происходит с помощью клавиатуры и манипулятора мышь. В этом процессе задействованы только руки пользователя. Устройства для перемещения в виртуальной реальности позволяют пользователю перемещаться по виртуальному пространству самым естественным образом – двигая собственными ногами. Целью таких устройств является имитация движения пользователя в различных направлениях с сохранением его позиции.

4.3.1 Разработки университета Цукубы



Рис. 4.18. Первый прототип *Virtual Perambulator* (изображение взято с сайта <http://www.isrc.umbc.edu>)

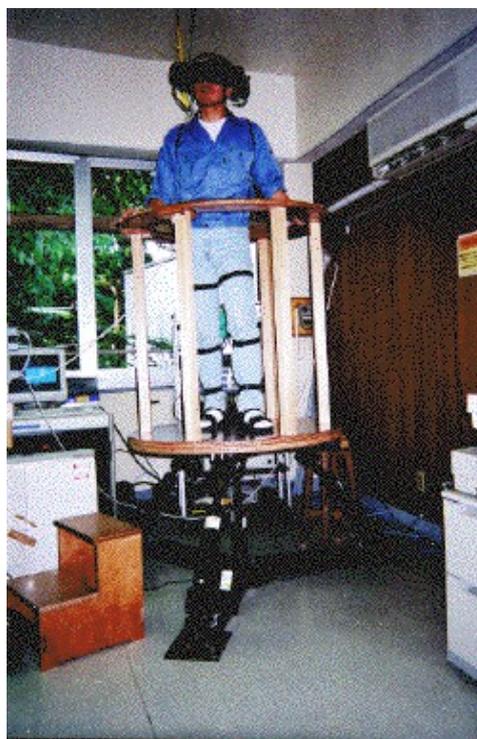


Рис. 4.19. *Virtual Perambulator* (изображение взято с сайта <http://www.nmri.go.jp>)

Существенный вклад в развитие устройств перемещения в виртуальной реальности внесла группа ученых из университета Цукубы. Они занимаются

разработкой двигательных интерфейсов с 1989 года. Результатом этих исследований стал первый в мире прототип двигательного интерфейса *Virtual Perambulator* [22]. Принцип работы такой системы был основан на “скользящей поверхности”. Пользователь надевал всенаправленные роликовые коньки и крепился ремнями к подвесной системе. Роликовые коньки были оснащены четырьмя роликами, что позволяло двигаться во всех направлениях. Подвесная система по своей сути напоминала систему, используемую в тренажерах парашютиста, и позволяла зафиксировать пользователя (рис. 4.18). Позже подвесная система была заменена обручем, установленным вокруг талии пользователя. Обруч фиксировал позицию пользователя и позволял ему поворачиваться вокруг. Также обруч служил дополнительной опорой для сохранения баланса при ходьбе (рис. 4.19).

Virtual Perambulator был впервые показан на конференции *SIGGRAPH* в 1995 году. Основным недостатком такой технологии состоял в том, что для перемещения в виртуальном пространстве пользователь должен был совершать скользящие движения. Поэтому дальнейшим направлением исследований стало разработка устройства, позволяющего имитировать характер перемещения в виртуальном пространстве в соответствии с реальными движениями пользователя. Результатом таких исследований стало устройство *Torus Treadmill* появившееся в 1997 году.

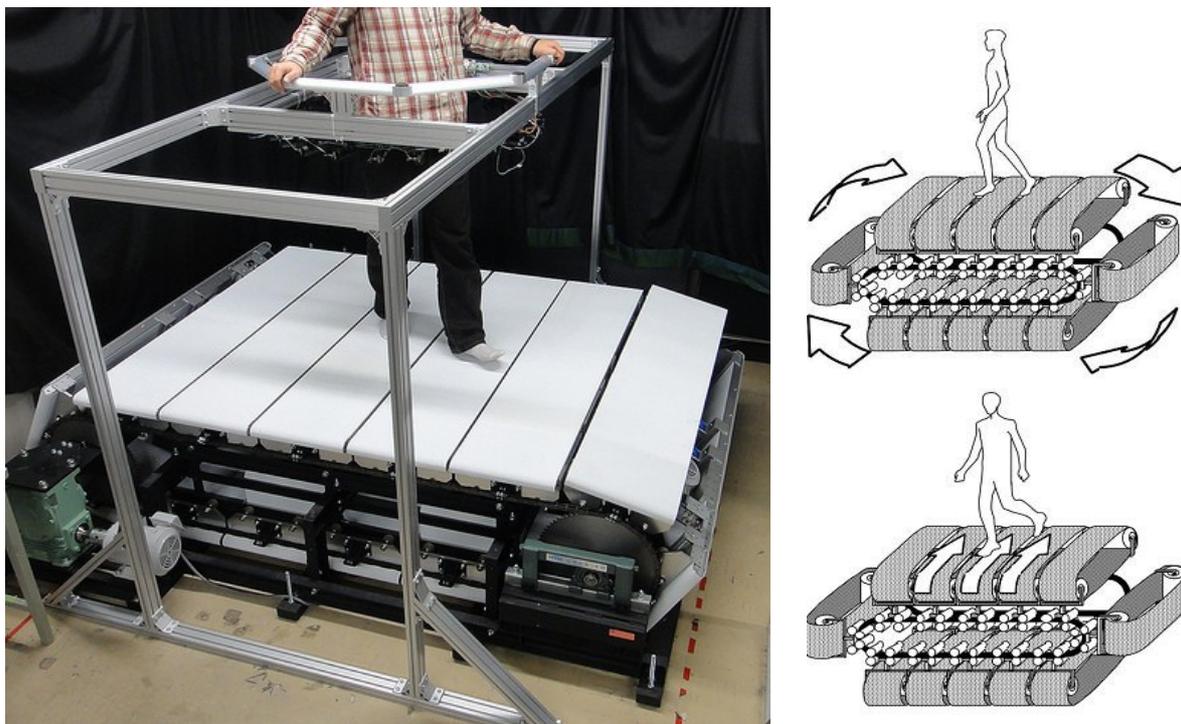


Рис. 4.20. *Torus Treadmill* (изображения взяты с сайтов <http://farm7.staticflickr.com> <http://www.isrc.umbc.edu/HCIHandbook>)

Идея устройства *Torus Treadmill* состояла в использовании принципа беговой дорожки. Беговая дорожка позволяет пользователю бесконечно перемещаться, но только в прямом направлении. Для того чтобы осуществлять движение во

всех направлениях была разработана конструкция, состоящая из 12 беговых дорожек примыкающих друг к другу и образующих тороидальную форму (рис. 4.20). Ленты на беговых дорожках и сама конструкция вращаются перпендикулярно друг к другу (рис. 4.20), что позволяет пользователю двигаться во всех направлениях [23].

Представленные устройства позволяют имитировать передвижение только по ровной горизонтальной поверхности. В 1999 году все в той же лаборатории виртуальной реальности университета Цукубы было разработано устройство для имитации ходьбы по неровной поверхности *GaitMaster* (рис. 4.21). Устройство было оборудовано двумя подвижными платформами, поддерживающими ноги пользователя. Платформы свободно движутся вместе с ногой пользователя, повторяя его движения. В момент, когда нога виртуального прототипа пользователя пересекает поверхность, платформа создает твердую опору. Платформы закреплены на поворачивающемся основании, которое позволяет отслеживать направление движения пользователя. С помощью *GaitMaster* можно имитировать движение по пересеченной местности, подъем (спуск) по лестнице и т.д [24].



Рис. 4.21. *GaitMaster* (изображение взято с сайта <http://intron.kz.tsukuba.ac.jp>)

В 2002 году была разработана интеллектуальная система перемещения в виртуальной реальности *CirculaFloor*. Японские ученые из лаборатории виртуальной реальности университета Цукубы под руководством профессора Хироюки Фукусима создали интерфейс для передвижения с использованием группы подвижных плиток, формирующих бесконечную поверхность. Под ногами пользователя находятся четыре подвижных платформы *Vmax Carrier*. Для опре-

деления положения платформ используется беспроводной ультразвуковой датчик положения *IS-600 Mark2*. Ту же функцию выполняют и два датчика, встроенные в каждую платформу. Положение пользователя в пространстве измеряется с помощью лазерного дальномера *LMS200*. С помощью четырех детекторов засекается направление «изгиба» коленей тем самым, позволяя определить направление движения пользователя. Компьютер анализирует информацию, поступившую со всех датчиков, и предугадывает очередное движение пользователя (рис. 4.22). Таким образом, платформы, управляемые компьютером, перемещаются по кругу и подставляются под каждый шаг пользователя. Представленная технология отличается своей компактностью. Для того чтобы двигаться неограниченно в любом направлении достаточно помещения площадью в 5 квадратных метров [25].

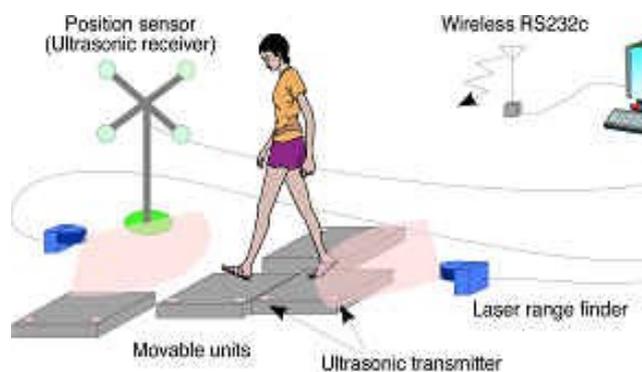


Рис.

4.22. *CirculaFloor* (изображение взято с сайта <http://intron.kz.tsukuba.ac.jp>)

Рис. 4.23. *Robot Tiles* (изображение взято с сайта <http://feber.se/tag/virtual+reality>)

Дальнейшим развитием этого проекта стала система *Robot Tiles*. Эта система полностью повторяет технологию *CirculaFloor*. Основное усовершенствование состоит в наличии у движущихся платформ подъемных механизмов, позволяющих по мере необходимости имитировать лестничный марш (рис. 4.23). Использование большого количества оборудования и небольшая скорость подвижных платформ (до 1.2 метра в секунду) сказываются на скорости работы *Robot Tiles* (*CirculaFloor*). Крайне медленная работа системы не позволяет пользователю имитировать даже обычную скорость ходьбы, что является основным недостатком данной технологии.

В 2006 году на конференции мультимедийных и графических технологий *SIGGRAPH 2006* все той же группой японских ученых была представлена новая технология *Powered Shoes* [26]. Она представляет собой ботинки для перемещения в виртуальной реальности. К подошве каждого ботинка прикреплены моторизированные ролики, движением которых управляет компьютер, расположенный за спиной пользователя. Несмотря на легкий вес и простоту устройства, технология имеет ряд существенных ограничений. Пользователь мог перемещаться только в одном направлении. Боковые шаги не допускались. К тому же систему отличала низкая надежность и долговечность роликовых конструкций,

используемых в данной технологии. Для решения этих недостатков японскими учеными было предложено новое устройство *String Walker*.

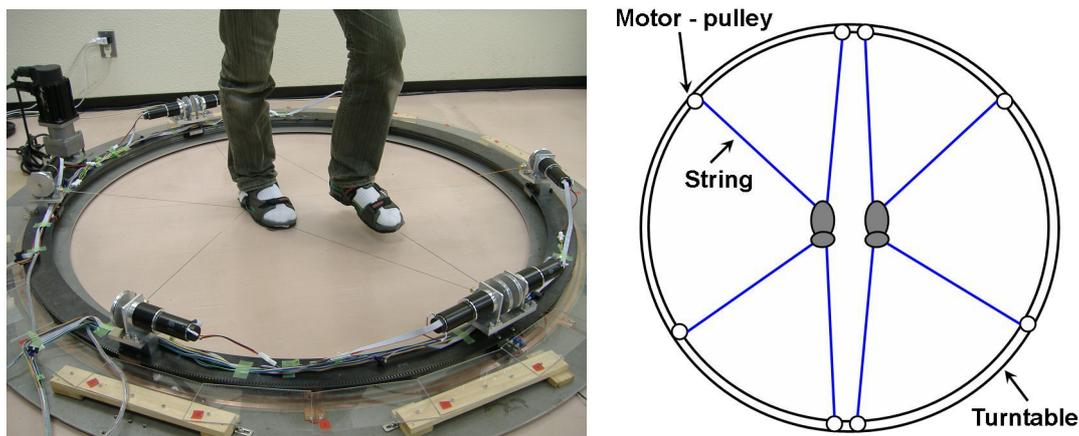


Рис. 4.24. String Walker (изображение взято с сайта <http://intron.kz.tsukuba.ac.jp>)

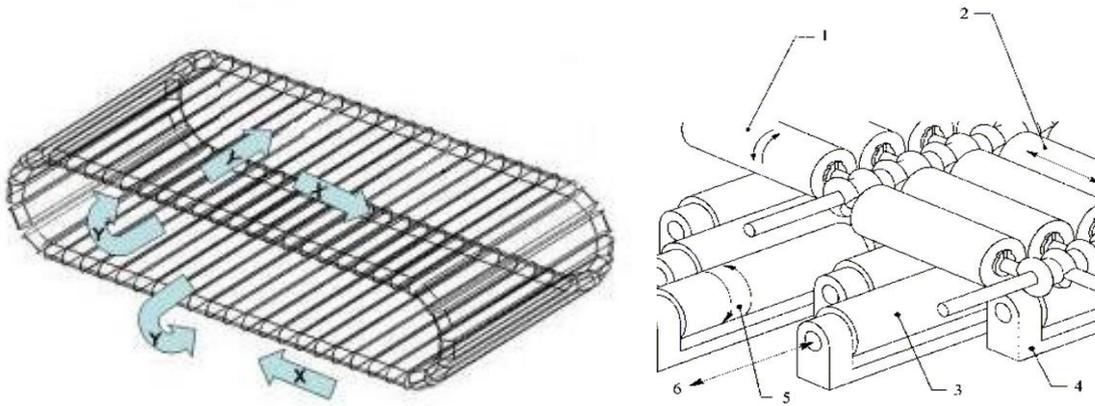
Устройство представляет собой круглый поворотный стол, на краях которого по всему периметру размещены восемь лебедок. Восемь струн соединяют эти лебедки со специальными ботинками (рис. 4.24). На каждый ботинок приходится по четыре лебедки со струнами. Натяжение струн обеспечивает восемь электродвигателей. На валах двигателей установлены специальные датчики, с помощью которых определяется текущее положение и ориентация каждого ботинка. В зависимости от характера движения человека по виртуальной поверхности натяжение струн может изменяться, противодействуя перемещению пользователя в реальном пространстве. *String Walker* позволяет двигаться по виртуальному пространству в различных направлениях, а также назад или вбок.

4.3.2 Всенаправленная беговая дорожка *Torus Treadmill*

Помимо изобретений японских ученых достойны внимания два устройства перемещения по виртуальной реальности, разработанные российскими и американскими учеными. Это «виртуальная сфера» и «всенаправленная беговая дорожка».

Всенаправленная беговая дорожка (*omni-directional treadmill – ODT*) – это устройство, которое позволяет пользователю совершать двигательные перемещения во всех направлениях. При этом пользователь всегда остается на одном месте. Это устройство по своей сути напоминает беговую дорожку, которая меняет направление движения вместе со сменой направления движения пользователя. Устройство дополняется системой контроля перемещения, которая, изменяя скорость электромоторчиков, не позволяет пользователю подойти слишком близко к краю дорожки.

Принцип действия устройства аналогичен технологии работы системы *Torus Treadmill*, описанной ранее. Только вместо двенадцати беговых дорожек используется множество миниатюрных движущихся лент (рис. 4.25).



4.25. Всенаправленная беговая дорожка *Torus Treadmill*
 (изображение взято с сайта <http://withrobot.tistory.com/77>)

Первый прототип всенаправленной беговой дорожки был разработан в 1997 году фирмой *Virtual Space Devices* (рис. 4.26). Финансировали разработку американские военные, потратившие на первый образец *Omni-directional treadmill* более 400000\$. Устройство было установлено в армейской исследовательской лаборатории (*Army Research Lab*) в управлении исследований по взаимодействию человека и техники (*Human Research and Engineering Directorate – HRED*). Оно использовалось для изучения возможности подготовки солдат к военной операции в ситуации приближенной к реальной. Немного позже к разработке второго поколения «всенаправленной беговой дорожки» подключилась корпорация *MTS Systems* (рис. 4.27). На разработку армией США было выделено уже восемь миллионов долларов. В результате был увеличен размер поверхности устройства и снижен уровень шума, производимый дорожкой [27].

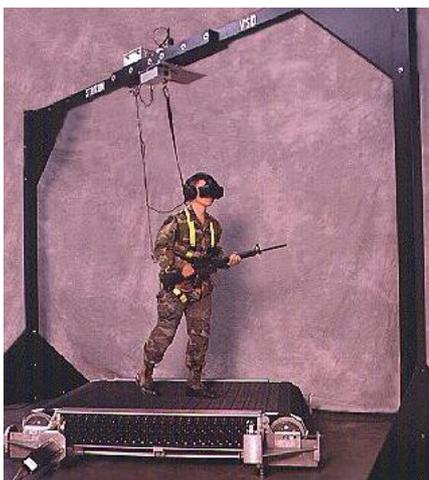


Рис 4.26. Первый прототип
Torus Treadmill



Рис. 4.27. Второй прототип всенаправленной
 беговой дорожки *Torus Treadmill*

(изображения взяты с сайта http://en.wikipedia.org/wiki/Omnidirectional_treadmill)

4.3.3 «Виртусфера» братьев Латыповых

Идея создания устройства перемещения в виртуальном пространстве в виде «гигантского колеса для белки» пришла в голову братьям Латыповым из Московского государственного института электроники и математики в 1995 году. Смысл идеи достаточно прост. Полая сфера, внутри которой находится человек, закрепляется на платформе (рис. 4.28). Платформа представляет собой ряд опор, соединенных ребрами жесткости. На вершине каждой опоры особым образом закреплены колеса. Такая конструкция позволяет сфере вращаться вокруг своей оси в любом направлении на 360° [28].



Рис 4.28. «ВиртуСфера» братьев Латыповых
(изображение взято с сайта <http://www.virtusphere.com>)

По мнению разработчиков системы, сфера была выбрана по тому, что она представляет собой «свернутую плоскость без ограничений по направлению и расстоянию» [29]. То есть пользователь может перемещаться внутри сферы в любом направлении и на любые расстояния без ограничений реального мира. Как только человек, находящийся внутри сферы, начинает двигаться, сфера как бы проскальзывает у него под ногами. Таким образом, при движении человек всегда остается на одном месте. Перекачивание сферы создает вращение роликов на платформе. По вращению роликов определяется направление и скорость движения пользователя.

В ходе экспериментальной проработки технологии были построены и прошли экспериментальную отработку несколько прототипов устройства «Виртусфера». Устройство состоит из механической и электронной частей (рис. 4.29). К механической части относятся сфера и платформа. В электронную часть входят системы визуальной имитации виртуальной обстановки и интерактивного взаимодействия с виртуальной средой. Система визуальной имитации

виртуальной обстановки представляет из себя шлем-дисплей для отображения картин виртуальной среды, 3-мерные датчики ориентации головы пользователя в виртуальном пространстве, датчики слежения за вращением сферы, а также компьютер имитации виртуальной среды.

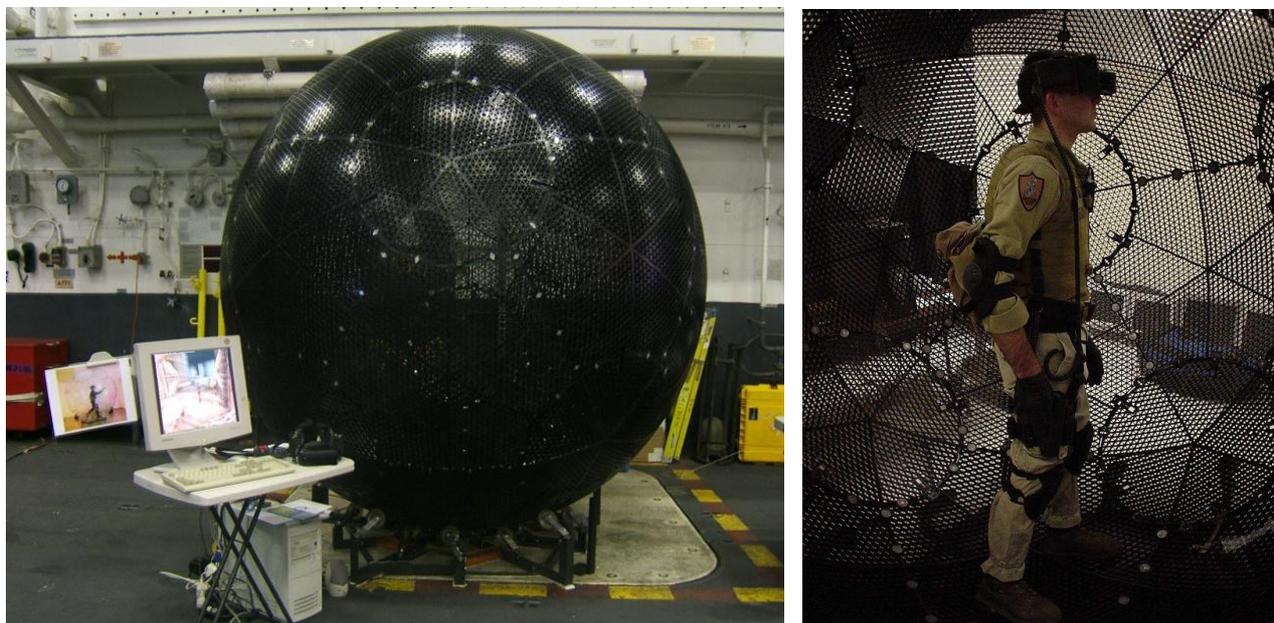


Рис 4.29. «ВиртуСфера» братьев Латыповых
(изображение взято с сайта <http://www.virtusphere.com>)

Дополнительно с системой может использоваться специальный костюм, позволяющий отследить движения пользователя в пространстве. На костюме закреплены специальные датчики, которые используют уникальную запатентованную технологию определения положения и жестов пользователя.

Преимущество такой конструкции заключается в свободе перемещения пользователя в любом направлении. Главный недостаток системы состоит в том, что перемещение всегда идет только в гору, независимо от характера виртуальной поверхности.

4.3.4 Устройства вывода

Устройства вывода в системах виртуальной реальности включают:

- 1) Систему визуализации.
- 2) Звук.
- 3) Устройства с обратной связью (агрегаты, воздействующие на вестибулярный аппарат человека, перчатки виртуальной реальности, костюм виртуальной реальности и т.д.).

Различные системы визуализации в зависимости от степени иммерсивности подразделяются на:

- Шлем виртуальной реальности.

- Дисплей.
- Проекционную систему.

5. Типы и примеры крупномасштабных проекционных систем

На сегодняшний день в мире существует более пятисот крупномасштабных установок виртуальной реальности. Они используются в самых различных областях науки и техники от задач виртуального обучения до проектирования [30]. Особого внимания заслуживают системы виртуальной реальности полного погружения, которые позволяют полностью погрузить пользователя в виртуальную среду. Успех реального погружения пользователя в цифровую среду зависит от многих технических факторов. Технология погружения должна заставить органы чувств человека воспринимать виртуальную среду в целом. Поэтому системы полного погружения включают в себя панорамный стереоскопический экран, позволяющий формировать объемное изображение и закрывающий собой весь угол обзора пользователя, акустическую систему, воспроизводящую объемное звучание, устройства с обратной связью для имитации тактильных или осязательных ощущений. Также пользователь должен иметь возможность взаимодействовать с окружающей средой естественным, интуитивным способом. Среда погружения должна реагировать на действия и движения пользователя. Для этого используется система трекинга.

5.1. CAVE

Первой системой виртуальной реальности полного погружения стала система *CAVE* (*Cave Automatic Virtual Environment*). Она была разработана в лаборатории электронной визуализации при университете Иллинойса в Чикаго и впервые продемонстрирована в 1992 году на конференции *SIGGRAPH*.

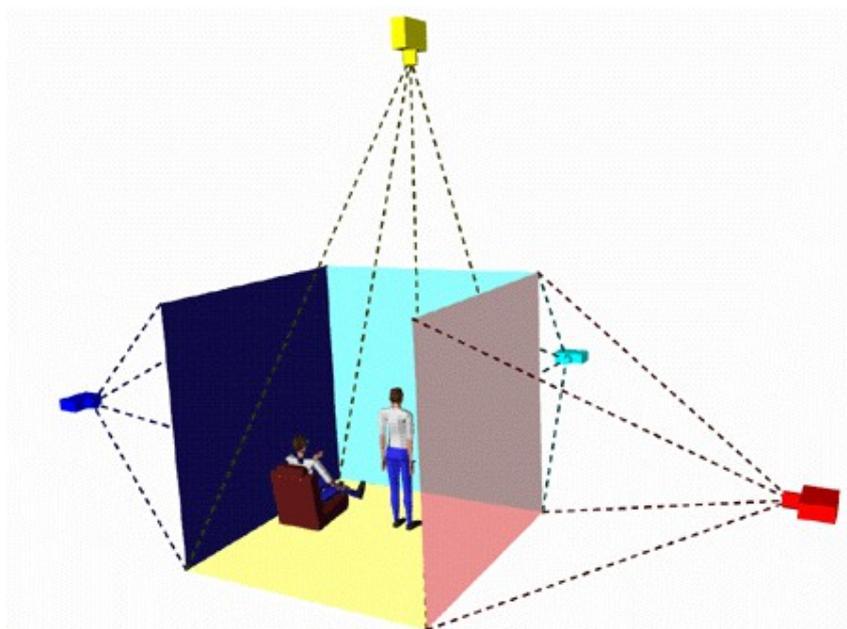


Рис. 5.1. CAVE (изображение взято с сайта <http://www-vrl.umich.edu/intro/>) Система *CAVE* представляет собой помещение, состоящее из четырех

экранов окружающих зрителя (рис. 5.1). Формирование изображения на трех боковых экранах происходит путем обратной проекции. Проекторы в этом случае находятся за пределами системы и подают изображение на обратную сторону экранов. Экран на полу формирует изображение по принципу прямой проекции (проектор расположен сверху и проецирует изображение прямо на экран). Все проекционные экраны стыкуются под прямым углом друг к другу, поэтому основная сложность при настройке системы состоит в сглаживании изображения на местах стыков экранов [31]. Система *CAVE* создает ощущение полной виртуальной реальности. Устройства трекинга фиксируют движения человека, находящегося в «виртуальной среде», чтобы соответствующим образом менять изображение виртуального мира. Таким образом, исследователь может изучать объект, передвигаясь вокруг или внутри его виртуального образа.

5.2 *CyberStage*

Одной из систем виртуального окружения типа *CAVE* является проекционная система *CyberStage*. Она представляет собой небольшую комнату размером 3м x 3м x 2.4м и включает 4-стороннюю *CRT*-проекцию изображений (рис. 5.2). Для объемного восприятия виртуального пространства используются специальные проекторы, обеспечивающие технологию активной стерео проекции, и затворные очки (*Crystal Eyes*). Управление системой осуществляет суперкомпьютер *SGI Onyx 2* с четырьмя графическими подсистемами *Infinite Reality 2* и двенадцатью процессорами *MIPS R12000*.



Рис. 5.2. Система *CyberStage*
(изображение взято с сайта <http://old.sim-mfti.ru/content/972/node23.html>)

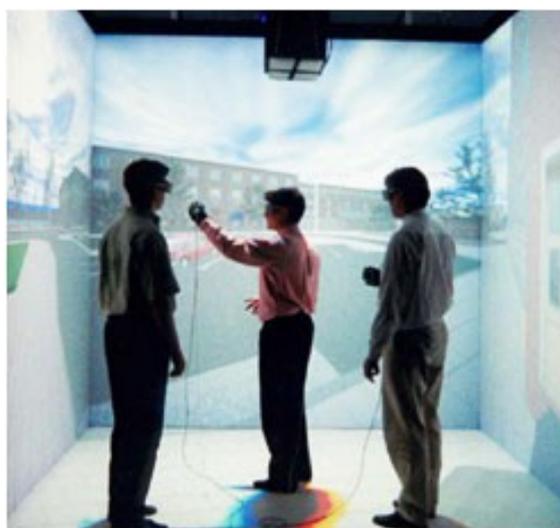


Рис. 5.3. Система *iCUBE™*
(изображение взято с сайта http://www.viztek.com/images/icube_ss1.jpg)

Также *CyberStage* в отличие от классической системы *CAVE* имеет восьмиканальную пространственную проекцию звука и излучатели вибрации, встроенные в пол. Контроль за положением пользователя и различных

устройств взаимодействия производится с помощью электромагнитных датчиков *Polhemus Fastrak*. Поэтому для минимизации электромагнитного шума *CyberStage* имеет деревянный каркас.

Еще одной разновидностью систем виртуального окружения типа *CAVE* является система *iCUBE™*, разработанная компанией *Viz-Tek* (рис. 5.3). В зависимости от требования пользователя система может состоять четырех или шести проекционных стен. Управление системой осуществляет персональный компьютер. Эта особенность и является главным отличием от системы *CyberStage*. В остальном их характеристики идентичны.

5.3 *StarCAVE*

Система *StarCAVE* является третьим поколением систем виртуального окружения типа *CAVE*. Она была построена в Калифорнийском институте телекоммуникаций и информационных технологий (*Calit2*).



Рис. 5.4 Система *StarCAVE* (изображение взято с сайта <http://www.calit2.net>)

StarCAVE представляет собой помещение пятиугольной формы, каждая сторона которого имеет по три экрана (рис. 5.4). Верхний и нижний экраны наклонены на 15° внутрь помещения. Таким образом, система использует 17 проекционных экранов: 15 экранов составляют стены помещения, один экран на полу и один на потолке. Такая форма помещения позволила убрать прямые углы в местах стыков экранов, тем самым, облегчив задачу сглаживания переходов между экранами при формировании единого изображения. Для достижения стереоэффекта изображение на каждом экране формируют два проектора. В итоге система использует 34 проектора высокой четкости, которые формируют единое изображение с разрешением 68 миллионов пикселей.

5.4 *iCone*

Более удобной, по сравнению с представленными, является система полного погружения *iCone*, поскольку использующейся в ней конический экран

обеспечивает отсутствие прямых углов на изображении (рис. 5.5). Тем самым на изображении не видны резкие переходы от одной плоскости к другой [32]. *i-CONE* – это проекционная система полного погружения, работающая по принципу прямой бесшовной проекции.

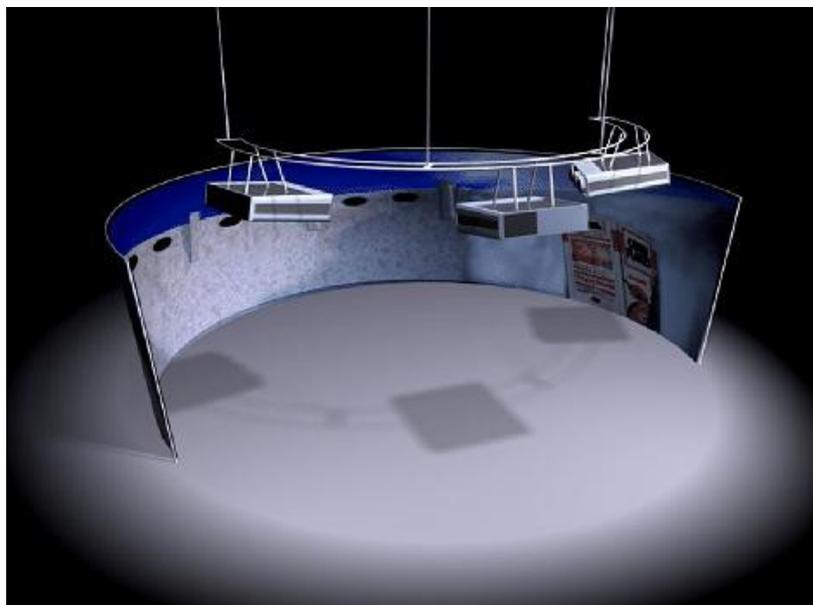


Рис. 5.5. Система *i-CONE* (изображение взято с сайта <http://old.sim-mfti.ru>)

Экран системы имеет форму перевернутого усеченного конуса. Эта особенность и отразилась в названии системы *i-CONE* (от англ. cone — конус). В отличие от цилиндрического экрана, отклонение конусного экрана от вертикали составляет $7^\circ - 10^\circ$. Благодаря такой форме экрана проектор, расположенный наверху, светит на него под углом близким к прямому и отраженный от экрана свет не направляется в сторону наблюдателя. Изображение формируется без засветки и без искажений, что выгодно отличает систему от цилиндрических экранов. Конусный экран имеет высоту 2.8 м, радиусы кривизны верхнего и нижнего края соответственно 2.96 м. и 3.3 м. Остальные характеристики *i-CONE* аналогичны системам типа CAVE.

5.5 *iDome*

Основным недостатком системы *i-CONE* является ограниченное поле зрения по вертикали. Решить эту проблему призваны экранные системы *VisionStation* и *iDome* (от англ. dome — купол). Экран системы *iDome* выполнен в форме усеченной полусферы диаметром 3 метра (рис. 5.6). Такая конструкция охватывает 180 градусов поля зрения по горизонтали и 135 градусов поля зрения по вертикали, тем самым полностью покрывая поле зрения человека. Проектирование на сферическую поверхность осуществляется не напрямую как в обычных системах, а с помощью системы криволинейных зеркал. Поэтому основную трудность при работе с системой составляет сложность калибровки и

настройки проекторов [31].



Рис. 5.6. Система *iDome* (изображение взято с сайта <http://paulbourke.net/dome/iDome/>)

5.6 *Responsive Workbench*

В 1993 году Вольфгангом Крюгером из Фраунгоферовского *института медиакоммуникаций* была создана система *Responsive Workbench* [33].

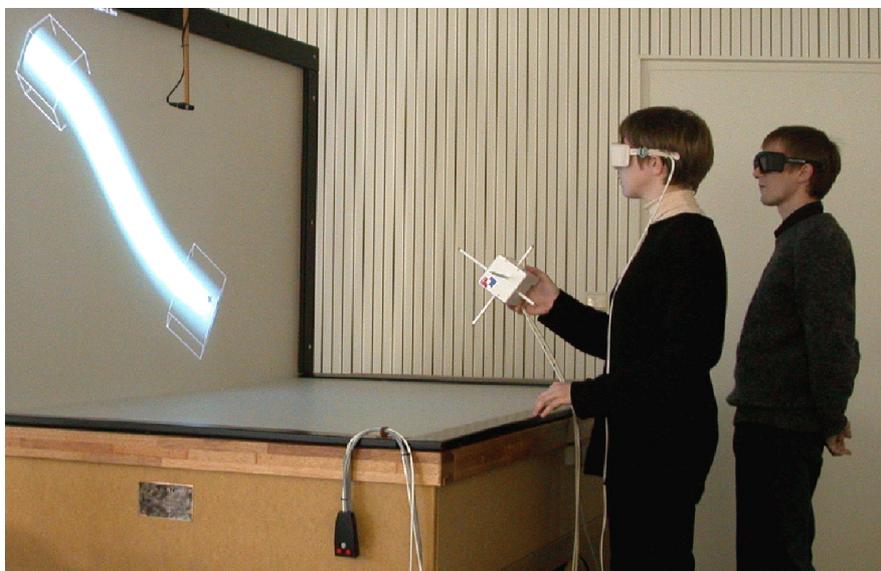


Рис. 5.7. Система *Responsive Workbench*
(изображение взято с сайта <http://old.sim-mfti.ru>)

Responsive Workbench состоит из двух экранов, расположенных под прямым углом друг к другу. Система из проекторов и больших зеркал формируют изображение на экранах. Использование зеркал позволяет компактно расположить проектор и экран. Положение и ориентация пользователя определяется с помощью электромагнитного датчика фирмы *Polhemus*. Система напоминает со-

бой «рабочий стол». Виртуальные объекты проецируются на него. Стереопроекция дает возможность пользователю воспринимать эти объекты в объеме, а система электромагнитного трекинга позволяет взаимодействовать с ними (рис. 5.7). Система *Responsive Workbench* идеально подходит в качестве рабочего места архитектора, дизайнера, хирурга и т.д.

В настоящее время ученые из Фраунгоферовского *института медиакоммуникаций разработали систему L-Shape*. По своей конструкции она напоминает увеличенный в размерах *Responsive Workbench* и является уже следующим усовершенствующим поколением этой системы. Все приведенные ранее системы виртуальной реальности работают только с одним пользователем. Отличительной особенностью *L-Shape* является возможность коллективной работы в системе. Два пользователя одновременно могут взаимодействовать с объектами виртуального мира. Для этого на экраны системы проецируется уже не одно, а два стереоскопических изображения [34].

6. Области применения систем виртуальной реальности

Системы виртуальной реальности представляют собой следующий этап развития систем визуализации после двумерного представления информации. Поэтому их применение имеет множество направлений. Основными же областями активного использования систем виртуальной реальности являются [14]:

- Проектирование, промышленный дизайн, создание прототипов
- Тренажеры, симуляторы.
- Развлечение, аттракционы.
- Маркетинг, реклама.
- Дистанционное управление.
- Центры подготовки и поддержки принятия решений, ситуационные комнаты.
- Управление технологическими процессами.
- Медицина.
- Образование.
- Архитектура и дизайн.

Литература

1. Кондратьев И. Технология – виртуальная, результат – реальный // Computer world. – 1997. – № 35.
2. Фантоматика (виртуальная реальность) Станислава Лемма // Компьютерная газета. – 2000 г. – №3. – Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by/kg/2000/03/kg00309.html>, свободный.
3. Эдвин Альберт Линк, изобретатель // Журнал Форум. – 2010 г. – №01(6). – Режим доступа: <http://www.dinamika-avia.ru/mcenter/forum/detail.php?id=1141>, свободный.
4. Болотов К. Sensorama — первый в мире виртуальный симулятор. – 2003. – Режим доступа: <http://www.membrana.ru/particle/1689>, свободный.
5. Волошин О. В одно касание // Компьютера. – 2008 г. – Режим доступа: <http://www.computerra.ru/input/369064/>, свободный.
6. Sutherland, I. E. "The Ultimate Display" // Proceedings of IFIP 65. – 1965. – vol 2. – pp. 506-508.
7. Jonathan Strickland How Virtual Reality Works. – Режим доступа: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/virtual-reality8.htm>, свободный.
8. Попов И. Виртуальный человек // Журнал «Решение вместе с Decision». – 2002 г. – №1. – Режим доступа: <http://reshenie.vcc.ru/issues/a012002/view/article/27200>, свободный.
9. Коловоротный С.В. Виртуальная реальность: манипулирование временем и пространством // Журнал практической психологии и психоанализа. – 2003. – №1. – Режим доступа: <http://psyjournal.ru/psyjournal/articles/detail.php?ID=2892>, свободный.
10. Константин Афанасьев Компьютерные перчатки. – 2003. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/editorial/comp-gloves/print>, свободный.
11. Носов Н.А. Манифест виртуалистики. // Тр. лаб. виртуалистики. – 2001. – Вып. 15. – 17 с.
12. Воройский Ф.С. Информатика. Новый систематизированный толковый словарь. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 760 с.
13. Холодкова, В. Виртуальная реальность: общие понятия, системы трекинга // Мир ПК. – 2008. – №4. – Режим доступа: <http://stem.osp.ru/text/print/302/5175003.html>, свободный.
14. Бабенко В.С. Виртуальная реальность: Толковый словарь терминов. – СПб.: ГУАП, 2006. – 86 с.
15. Laura Dipietro, Angelo M. Sabatini A Survey of Glove-Based Systems and Their Applications // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part C – Applications and Reviews. – 2008. – VOL. 38, №. 4.
16. The Wii3D Project Background. – Режим доступа: http://www.cs.ru.ac.za/research/g0712273/project_background_gloves.html, свободный.
17. David J. Sturman, David Zeltzer A Survey of Glove-based input // IEEE Computer Graphics & Applications. – 1994. – Volume: 14 , Issue: 1. – pp. 30-

- 39.
18. Laura Dipietro, Angelo M. Sabatini, Paolo Dario Evaluation of an instrumented glove for hand-movement acquisition // Journal of Rehabilitation Research & Development. – March/April 2003. – Vol. 40, No. 2. – pp. 179-190.
 19. Официальный сайт компании Virtual Environment Group. – Режим доступа: www.ve-group.ru, свободный.
 20. VR-перчатки - виртуальный нажим // журнала Chip. – июнь 2002. – с. 36-39. – Режим доступа: www.ichip.ru, свободный.
 21. Kristina Grifantini Open-Source Data Glove // MIT Technology Review. – 2009. – Режим доступа: <http://www.technologyreview.com/article/414021/open-source-data-glove/>, свободный.
 22. Iwata, H. and Fujii, T., Virtual Perambulator: A Novel Interface Device for Locomotion in Virtual Environment // Proc. of IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium. – 1996. – pp. 60-65.
 23. Iwata, H., The Trous Treadmill: Realizing Locomotion in Vess // IEEE Computer Graphics and Applications. – 1999. – Vol.9, No.6. – pp. 30-35.
 24. Iwata, H., Yano, H. and Nakaizumi, F. Gait Master: A Versatile Locomotion Interface for Uneven Virtual Terrain // Proceedings of IEEE Virtual Reality 2001 Conference. – 2001. – pp. 131-137.
 25. Iwata, H., Yano, H., Fukushima, H., and Noma, H., CirculaFloor // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2005. – Vol.25, No.1. – pp. 64-67.
 26. Iwata, H., Yano, H., and Tomioka, H., Powered Shoes // SIGGRAPH 2006 Conference DVD (2006).
 27. Леонид Попов Дорожка без направления ведёт в нереальное. – 2007. – Режим доступа: <http://www.membrana.ru/particle/160>, свободный.
 28. Дмитрий Пензин Российская виртуальная сфера // PC Week/RE («Компьютерная неделя»). – 2000 г. – №30(252). – Режим доступа: <http://www.pcweek.ru/themes/detail.php?ID=55092>, свободный.
 29. Очеловеченный трекбол // Популярная механика. – 2001. – №5(103). – Режим доступа: www.popmech.ru, свободный.
 30. Фурса М. В. Исследование и разработка системы трекинга и методов реконструкции сложных трёхмерных объектов для приложений виртуального окружения // Диссертация. – М.: институт физико-технической информатики, 2007.
 31. Холодкова В. Виртуальная реальность: стереоскопическое изображение, дисплейные системы // Мир ПК. – 2008. – №6. – Режим доступа: <http://www.publish.ru/pcworld/1072598/text/5371423.html>, свободный.
 32. EligoVision. Интерактивные технологии. – Режим доступа: <http://www.eligovision.ru/useful/articles/vr/18/>, свободный.
 33. W. Krueger, Bernd Froehlich The Responsive Workbench // IEEE Computer Graphics and Applications – CGA. – 1994. – vol. 14, №3. – pp. 12-15.
 34. Технологии 3D-визуализации: миф или реальность. – Режим доступа: <http://www.xard.ru/post/18038/?print=true>, свободный.

35. **Профессиональные системы** виртуальной реальности на базе РС / **С. Клименко, И. Вигер, П. Брусенцев** // Проект “Мир NVIDIA”. – 2003. – Режим доступа: <http://nvworld.ru/files/old/docs/reality.html>, свободный.

СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Составитель

Михаил Павлович Осипов

Учебно-методическое пособие

Государственное образовательное учреждение высшего
Профессионального образования «Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

Подписано в печать __. __. ____ г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. ____. Уч.-изд. л. ____
Заказ № ____. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии Нижегородского госуниверситета
им. Н.И. Лобачевского
603600, г. Нижний Новгород, ул. Большая Покровская, 37
Лицензия ПД № 18-0099 от 14.05.01