

УДК 621.865.8

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В РАДИАЦИОННО-ЯДЕРНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Н. Я. Полонская

Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации, Москва, Россия

В. М. Метальников, В. П. Осипов

Министерство оборонной промышленности, Москва, Россия

Представлен обзор научно-технических и исследовательских работ по созданию рабочего места оператора дистанционного управления роботами-манипуляторами на основе аппаратно-программных средств систем виртуальной реальности.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О СИСТЕМАХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ И СИСТЕМАХ ТЕЛЕПРИСУТСТВИЯ

Виртуальная реальность (ВР) — это компьютерная имитация физической реальности, в которой можно перемещаться в трехмерном пространстве с 6 степенями свободы и взаимодействовать с объектами виртуального мира — трогать и ощущать их, видеть их перемещение или деформацию в ответ на ваше воздействие.

Системы виртуальной реальности (СВР) позволяют создать человеку эффект присутствия в некоторой искусственной или удаленной среде посредством комплексного воздействия на него визуальной, звуковой и сенсомоторной информации. Технология СВР обеспечивает максимальное чувственное восприятие пользователя при взаимодействии с персональным компьютером (ПК), формирование стереоскопических "живых" изображений, звуковых образов и тактильных ощущений. СВР основаны на синтезе устройств компьютерной обработки информации, специальной аппаратуры и средств отображения, адаптированных к непосредственному и постоянному контакту с человеком.

В комплекс технических средств СВР, помимо управляющего компьютера, могут входить специальный комбинезон, шлем, перчатки, манипуляторы, снабженные устройствами, которые по задаваемой компьютером программе воздействуют на органы чувств человека-пользователя и формируют у него совокупность зрительных, слуховых, осязательных и иных ощущений, которые он испытывал бы в реальной ситуации.

СВР в настоящее время используются для решения широкого круга задач в различных сферах деятельности человека. Они находят широкое применение в качестве тренажеров различного назначения, систем обучения, в робототехнике, медицине, для моделирования и проектирования, для игр и развлечений.

Следующий шаг в развитии ВР — это переход от взаимодействия человека с моделью, обладающей чертами реального мира, но непосредственно с ним не связанной, к динамически настраиваемой модели, отражающей изменения, происходящие в конкретной физической реальности. Состояние физической среды может отслеживаться с помощью различных активных и пассивных датчиков, систем радио- и лазерной локации, оптического наблюдения и т. п., передаваемых и вводимых в компьютер с помощью телекоммуникационной системы. Благодаря этой системе и некоторым исполнительным органам может осуществляться воздействие на среду, например, на управление функционирующими в ней объектами и протекающими в ней процессами. Это применение есть ни что иное, как телеуправление, однако использование интерфейса, свойственного СВР, существенно отличает это телеуправление от такового в обычном понимании. Даже использование для телеуправления такого мощного канала, как телевизионный, уступает по возможности управлению с использованием того же канала, но с применением интерфейса СВР. В первом случае оператор видит то же, что и удаленная телекамера. Во втором случае поступающая с телекамеры информация используется для динамической настройки модели среды и функционирующего в ней объекта, а использование СВР позволяет оператору видеть среду и объект с выбираемой им точки зрения.

Такое применение СВР позволяет осуществлять телеприсутствие, телесуществование или телеробототехнику, т. е. такие концепции, которые реализуются при построении виртуального мира, когда реальный человек, фактически в своем мире, управляет роботом, находящимся в другом реальном пространстве так, будто он (человек) сам находится на месте робота или рядом с ним. Телеприсутствие и телеробототехника обусловлены использованием дистанционного интерактивного управления роботами с активной обратной связью.

Текущая генерация индустриальных роботов — это не человекоподобные автоматы, а достаточно специализированные, ограниченно-целевые устройства, которые должны быть удобно запрограммированы: эффективно, с компьютерным управлением. И только когда человек-оператор управляет их действиями посредством дистанционного управления, они могут попасть в виртуальный мир.

Одним из преимуществ телеприсутствия в робототехнологии СВР является то, что любой придаток робота можно снабдить визуальным рецептором. В конкретных применениях может быть очень полезным иметь три глаза или второе положение глаз в манипуляторах, которыми вы управляете вашими руками.

Телеприсутствие идеально для работы в опасных средах таких, как открытый космос, на глубоководных работах, в опасных заброшенных удаленных местах, на радиоактивном производстве и в расположении боеприпасов.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕПРИСУТСТВИЯ В АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Робототехника уже достаточно давно используется в радиационно опасных средах из-за насущной потребности уменьшить воздействие радиации на человека. Сочетание технологий СВР и дистанционно управляемых робототехнических систем предоставляет новые возможности для решения многих проблем, стоящих в радиационно опасных производствах.

Окончательное соединение робототехнических систем и СВР будет реализовано в системах полного телеприсутствия, в которых операторы будут ощущать свое физическое присутствие в удаленном месте и смогут использовать свои естественные способности для выполнения задания наиболее удобным и доступным образом.

В данный момент таких промышленных систем нет, но во многих ведущих научно-исследовательских центрах мира ведется интенсивная работа, и в течение ближайших пяти лет ожидается практический результат.

В Англии Национальный центр передовых робототехнических исследований NARRC (National Advanced Robotic Research Centre) Салфордского университета выполняет проект АТТ (Advanced Teleoperation Testbed) — передовая телеоператорная система отладки, который направлен на создание высокоэффективной и простой в использовании телеоператорной системы для работы в атомной промышленности. В проекте принимают участие ведущие промышленные компании British Nuclear Fuels (Британская атомная энергетика); GEC Alsthom, NNC, Rolls Royce & Association (Роллс Ройс и ассоциация), Scottish Nuclear (Шотландская атомная энергетика), его поддерживает Министерство торговли и промышленности Англии.

Определяющим фактором создаваемой системы и используемых средств и методов в АТТ, в том числе и СВР, является их эффективное взаимодействие с оператором. Системы рассматриваются в направлении их удобства и ориентированности на пользователя, преимуществ согласованного взаимодействия всех частей системы, что должно позволить оператору концентрироваться на выполнении самого задания, а не на средствах выполнения этого задания.

В рамках проекта АТТ отрабатываются вопросы, связанные с обеспечением: обзора по непосредственной линии взгляда;

стереообзора в моно и цвете;

телевизионного стереообзора с использованием очков с жидкокристаллическими затворами, закрывающими поочередно то один, то другой глаз синхронно с выдачей изображений на экране монитора или проектора;

стереообзора посредством наголовно устанавливаемых дисплеев — head-mounted display (HMD) с отслеживанием быстрых движений наклона и поворота головы;

высокоточных обзоров посредством "виртуальных" камер, обеспечивающих графическое построение рабочего места робота в реальном масштабе времени.

Простейшую систему телеприсутствия (СТП) обеспечивает наголовный стереодисплей в сочетании с интуитивным устройством управления типа плавающей рукоятки с силовой обратной связью. Это дает возможность оператору для выполнения задания использовать свои естественные возможности, например, движение головы.

В управлении используется сочетание телеоператорного и программного управления. Обычно оператор управляет траекторией движения манипулятора для

избежания столкновений, в то время как система управления программно использует информацию от датчиков для управления конфигурацией манипулятора.

Использование гибких манипуляторов вместо обычных значительно повышает степень свободы их движений. В этом случае система управления должна иметь возможность программно управлять такой избыточностью, иначе оператору слишком сложно сочетать непосредственное ручное управление конфигурацией манипулятора с выполнением задания.

В NARRC успешно используются манипуляторы с семью и восемью степенями свободы. Разрабатываются манипуляторы с 10—20 степенями свободы, так называемые манипуляторы "змея" или "хобот".

Большой интерес для моделирования и отработки рабочего места робота представляет выпущенный фирмой Deneb (США) программный пакет IGRIP. Компания Scottish Nuclear (SN) инвестировала в его разработку около 100 000 англ. фунт. и вместе с еще двумя компаниями исследует пути использования СВР в атомной промышленности. Пакет IGRIP использовался для подготовки в операциях ручного управления маршрутом передвижения атомного топлива на заводе в Торнессе. Компания полагает, что, используя СВР и пакет программ моделирования IGRIP для отработки технологического процесса и для обучения персонала, работающего на ручных операциях с топливом, атомная энергетика в Шотландии сэкономила более чем 4 млн. англ. фунт. в потенциальных потерях.

Исследования по проблемам телеприсутствия активно ведутся также в США и Японии.

В Центре проектных исследований Стенфордского университета (США) исследуются проблемы восприятия телероботических манипуляторов.

В Иллинойском университете (Чикаго) разработана установка SAVE для создания иллюзии пребывания и работы в синтетическом мире, представляющая собой комнату размером 3х3х3 м, в которой три стены и пол являются экранами. На них проецируются изображения, генерируемые четырьмя высокопроизводительными графическими рабочими станциями.

Проект финансируется Национальным научным фондом, Агентством перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США и Национальным институтом здравоохранения. Он поддерживается Аргонской национальной лабораторией, Национальным центром суперкомпьютерных применений и Иллинойским университетом.

В Научно-исследовательском центре Suzuki Motor Corporation (Япония) проводятся экспериментальные работы с уникальным трехмерным человеко-машинным интерфейсом с осязательными функциями.

В Токийском университете ведутся исследования по созданию "Виртуального купола", который позволяет компенсировать в системах телеприсутствия временные задержки передачи изображений в реальном масштабе времени для значительно удаленных сред (например, космических станций).

ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕПРИСУТСТВИЯ, ВЫПУСКАЕМОЕ ЗА РУБЕЖОМ

С 1988 г. NARRC использует оборудование СВР не только для "прогулок сквозь" сформированного по системе САД (САПР) и обработанного изображения конструкций ядерного оборудования, но и для управления реальными робототехническими подсистемами, такими как управляемые головой трехмерные телевизионные системы и гибкие манипуляторы. До недавнего времени погружаемым в ВР пользователям приходилось довольствоваться дорогостоящими стесняющими шлемами, в которых находилась пара жидкокристаллических дисплеев с низким разрешением и тяжелой оптикой. Однако теперь части стереоскопического наголовного оборудования значительно улучшились. Появилось в

продаже много новых конструкций (CyberMaxx, i-Glasses и VFX-1), например, и многие фирмы конкурируют в создании наголовного оборудования более эргономичного, с высоким разрешением, широким полем обзора, стоимостью до 500 англ. фунт.

Американская фирма Telepresence Research производит "Telepresence Mobile Robot" — интегрированную систему, состоящую из камер стереоскопического обзора, установленных на кинооператорском кране, беспроводной линии связи и энергонезависимой мобильной платформы, передвигающей систему камер и ряд сенсоров. Механизм поворота камеры с тремя степенями свободы отслеживает положение головы пользователя в реальном времени. Фирма заключает контракты на исследование и разработку услуг, включающих разработку концепции, изготовление конструкций и прототипа, а также системную интеграцию применительно к виртуальному пространству или ТП.

Для обеспечения движения и взаимодействия с виртуальным миром имеется ряд коммерческих устройств, отличающихся по цене от нескольких десятков до многих тысяч фунтов. Наиболее обычной формой устройств, используемых для погружения в ВР, являются специальные электромагнитные следящие системы, вставляемые в низкостоимостные рукоятки управления. Начинают появляться недорогие (500 англ. фунт.) и достаточно надежные ВР-перчатки. От производителей ВР-продукции в настоящее время ожидают более совершенных систем тактильной и силовой обратной связи. С этой целью проводятся исследования в технологиях пропорциональных пневматик, каркасов, вибропреобразователей, электромеханических джойстиков с обратной проводимостью.

В плане общего программного обеспечения наиболее интересным является недавно выпущенный фирмой Deneb пакет программ системы моделирования TELEGRIP с возможностями ВР. Построение изображений в трехмерном визуальном пространстве системы основано на физических свойствах и геометрии объектов. Моделирование сочленений механизмов, роботов и машин строится на основе их кинематики, включенной в систему. TELEGRIP может быть использована с Deneb/ERGO, который позволяет моделировать человека-оператора внутри рабочего пространства для эргономических усовершенствований.

TELEGRIP и Deneb/ERGO могут быть запущены на обычной рабочей станции. Визуализация может быть представлена на большом экране стереопроектора и на наголовных дисплеях.

СОСТОЯНИЕ РАБОТ ПО СИСТЕМАМ ТЕЛЕПРИСУТСТВИЯ В РОССИИ

В России наблюдается значительное отставание в области создания и практического использования СВР. Тем не менее на многих предприятиях РФ, в том числе и Миноборонпрома, имеются законченные или значительно продвинутые работы мирового уровня, выполняемые применительно к областям, сопредельным СВР — робототехнике, тренажеростроению, высокопроизводительным вычислительным системам, системам отображения информации, нашлемным системам, интерактивной стереовизуализации, сенсорам различного назначения, нейропсихологии и т. д.

Значительные наработки в сфере СВР имеются в ГП "НПО Астрофизика", ГосНИИАС, ГНЦ "Орион", НПО "Молния", ВНИИПВТИ РАН, НИИ "Квант", МАК "Вымпел", НИИ РП, НИИЦЭВТ, ИТМ и ВТ им. Лебедева, ГНПП "Рубин" (г. Пенза), ВСКТБСПС (г. Воронеж), НИИ АО (г. Жуковский), АО "Платан" (г. Фрязино), МНИТИ, ЦНИИТМ (г. Подольск), ВНИИМ им. Менделеева, ВНЦ ГОИ им. Вавилова (С.-Петербург), ЦНИИМАШ, ИАЭ СОАН, ЦНИИ "Курс", ЦНИИ "Морфизприбор", ЦНИИ "Гранит", НИКФИ и многих других, подведомственных Миноборонпрому, РАН и другим структурам. Это дает базу для потенциально быстрого достижения мирового уровня.

Большой научно-технический задел в области систем технического зрения, силомоментного оцувствления роботов, дистанционно-управляемых роботов и манипуляторов, радиационно стойкой автоматики, видеокамер, сенсоров и датчиков, на базе которых могут быть разработаны и созданы СТП, имеется в институтах МГТУ им. Н. Э. Баумана (НИИ СМ, НИИ ИСУ), МНТК "Робот", Институте механики МГУ, НИИ автоматики Минатома, ГосНИИ "Пульсар", НПО "Прометей" (С.-Петербург), НПО "ТАРИС", КБ точмаш, НИКИМТ, ЦКБМ и др.

В ОКБ специальной робототехники (СР) при НИИСМ МГТУ им Н. Э. Баумана разработаны и созданы 14 экспериментальных образцов мобильных робототехнических комплексов (МРК); разработаны основные теоретические положения концепции робототизации сухопутных войск. Дистанционно управляемые МРК снабжены видеосистемами из двух-трех камер и манипуляторами с четырьмя—шести степенями свободы. МРК предназначены для работы в агрессивных средах и боевых условиях.

В фирме "Ультрамед" (Москва) разработано устройство для отслеживания положения зонда в пространстве в реальном масштабе времени при трехмерном ультразвуковом сканировании головного мозга. Сканирование производится одномерным зондом с дигитайзером (механическим устройством типа манипулятора без захвата, состоящим из одного неподвижного и трех подвижных жестких звеньев). В "Ультрамед" разработан также пакет программ, обеспечивающих обмен между дигитайзером и компьютером IBM PC по последовательному порту, преобразование значений углов между звеньями дигитайзера в координаты пластины, устранение ошибки начальной установки дигитайзера, обработку принимаемых данных.

Большую роль в развитии исследований в области виртуальной реальности начинает играть поддержка Российского фонда фундаментальных исследований. В рамках проекта "Гипервизор" (№ 93-01-00445), поддерживаемого этим фондом, проводятся исследования по одновременному наблюдению объекта под несколькими ракурсами, использование настраиваемой модели позволяет переходить от плоского изображения, передаваемого камерами, к стереоизображению.

Миноборопром с 1994 г. активно содействует продвижению передовой технологии СТП, осуществляя руководство программой совместных работ по исследованию, разработке и созданию дистанционно управляемых манипуляторов и мобильных роботов, предназначенных для работы в агрессивных средах. Завершение программы намечено к 2000 г. Разрабатываемые изделия входят в разряд важнейших десяти направлений, отмеченных Советом по научно-технической политике при Президенте РФ.

В выполнении программы принимают участие НПО "ТАРИС", КБ точмаш, АО МФ "БАРС", ЦАГИ, ЦКБА (г. Тула), ЦНИИ АиГ, Подольский электромеханический завод, Красногорский механический завод, НИЦФТ, завод "Аврора" (г. Волгоград), завод "ИОН" (г. Зеленоград) и др.

В рамках этой программы будут созданы унифицированные приводные дистанционно управляемые модули для оснащения мобильной дорожностроительной техники при работе в экстремальных условиях, мобильная аварийно-спасательная роботизированная система "Марс" для выполнения работ в экстремальных ситуациях, мобильная установка "Санация", обеспечивающая безраскопные технологии восстановления трубопроводов различного назначения, многоцелевой дистанционно-пилотируемый аппарат "Верба" с вертикальным взлетом и посадкой.

Исследования, проводимые в рамках этой программы, направлены на получение максимально возможного "эффекта присутствия" оператора на месте работ путем имитации визуальной и сенсорной обстановки, моделируемой компьютером. Создание более полного "эффекта присутствия" человека-оператора в обстановке работы робота позволит значительно повысить производительность

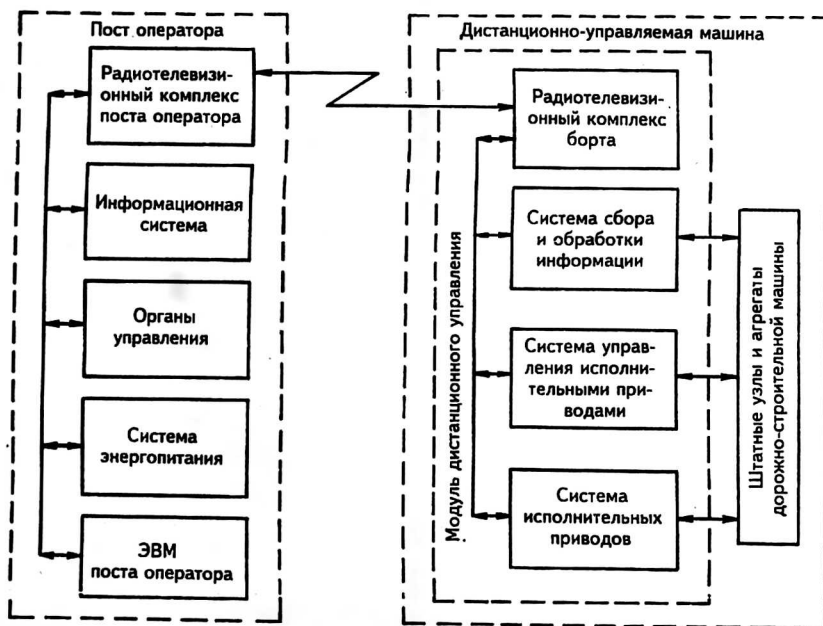
выполняемых работ, снизить количество ошибочных решений оператора, что особенно существенно при работе в опасных ситуациях, таких как манипулирование с радиоактивными материалами.

Кроме того, в рамках программы будут решены проблемы по следующим направлениям:

разработка новых принципов построения исполнительных (приводных) механизмов на основе пьезо, электростатических, электромагнитных и других эффектов;

разработка бионических принципов передвижения (шагание, ползание и т. д.); исследование нетрадиционных способов передачи энергии на микроробот; миниатюризация элементов электронных схем и датчиковой аппаратуры; разработка нетрадиционных способов передачи информации; разработка технологий выполнения ремонта посредством микророботов.

На рисунке представлена схема комплекса дистанционного управления дорожно-строительной техникой, предназначенной для работы в экстремальных условиях, складывающихся при авариях на объектах атомной энергетики, химических производствах, в нефте-, газо- и угольной промышленности, а также в результате природных катастроф (землетрясения, пожары, оползни, сели, наводнения).



Структурная схема комплекса дистанционного управления дорожно-строительной техникой

По данному комплексу изготовлены и прошли испытания макетные образцы блоков системы радиуправления и системы передачи телевизионного изображения и разработана конструкторская документация на экспериментальный образец комплекса. Изготовление экспериментального образца комплекса намечено на конец 1997 г.

Таким образом, основным направлением научно-технических исследований по разработке СТП для атомной промышленности являются технологии дистанционной визуализации и средств силовой обработки связи, причем необходимым условием считается рассмотрение телеоператорных систем как единого целого.

В визуализации особое внимание отводится следующим вопросам:

- непосредственной визуализации по линии взгляда;
- замыканию цепи обратной связи с видеокамерами;

использованию трехмерного обзора;
устройствам стереоскопической визуализации для обзора рабочего места;
использованию графических индикаторов для представления конфигурации манипулятора.

Методы обратной связи могут быть как самыми простыми, например, использование микрофона для индикации физического контакта посредством звуковых сигналов, так и более сложными, такими как использование петли силовой обратной связи для обеспечения прямой индикации силы, приложенной манипулятором.

Манипулятор может быть использован как составная часть СТП, хотя в большинстве ядерных телеоператорных систем пока еще не задействовано все многообразие его движений, находящееся в пределах возможностей систем управления.

По линии работотехнических систем значительное влияние на СТП для радиационно опасных производств будут иметь исследования в части:

- конструкции, ориентированной на пользователя;
- сочетания программного и телеоператорного управления;
- развития гибкости манипуляторов и их систем управления;

Создание и совершенствование алгоритмических, аппаратных и программных средств СВР применительно к интерактивному управлению манипуляторами позволяет повысить эффективность использования рабочих мест операторов при работах на радиационно-ядерных и других опасных производствах и объектах за счет оптимизации и универсализации управления манипуляторами, осуществить высокую физическую защиту персонала, сократить время на его обучение [1—9].

Л и т е р а т у р а

1. Virtual Reality World, 1994. № 7—10; 1995. № 3—8.
2. Virtual Reality, 1995. № 3, 9—12.
3. Virtual Reality Special Report, Winter 1994, Sept/Oct 1995, Spring 1995, Buyer' Guide, 1996.
4. Hamit H. F., Hamit M. D. and C. G. Virtual Reality and Exploration of Cyberspace. Carmel, USA, 1993.
5. Программные продукты и системы, 1994. № 4.
6. Компьютерные технологии в медицине, 1996. № 1.
7. IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS' 93), Sept. 1993, Seattle, USA.
8. Nuclear Engineering International, Oct. 1995.
9. МГТУ им Н. Э. Баумана, НИИАПП. Науч.-техн. разработки. ВНИИТЭМП. — М., 1991.

THE APPLICATION OF VIRTUAL REALITY SYSTEMS IN NUCLEAR INDUSTRY

N. J. Polonskja

The All-Russia Research Institute of Interbranch Information, Moscow, Russia

V. M. Metalnikov, V. P. Osipov

Department of Defence Branches, Moscow, Russia

Article contains the review about research and developments of and operator work cell for robotic manipulator remotely control which is created on a base hard and soft virtual reality system equipment.