Инженерно-психологический анализ технологий дополненной реальности для визуальной поддержки дистанционного управления роботом-манипулятором

Engineering-psychological analysis of augmented reality technologies for visual support the control a remote-controlled robot-manipulator

Усов / Usov V.
Виталий Михайлович
(khoper.1946@gmail.com)
доктор медицинских наук, профессор.
Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина, главный научный сотрудник научного управления.
Московская область, гор. округ "Звёздный городок"

Крючков / Kryuchkov B.
Борис Иванович
(bik43@mail.ru)
доктор технических наук, старший научный сотрудник.
Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина, главный научный сотрудник научного управления.
Московская область, гор. округ "Звёздный городок"

Карпов / Karpov A.
Алексей Анатольевич
(karpov@iias.spb.su)
доктор технических наук, доцент.
ФГБУН Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН),
заведующий лабораторией
г. Санкт-Петербург

Кулаков / Kulakov F.
Феликс Михайлович
(kufelix@yandex.ru)
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ.
СПИИРАН,
главный научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Чернакова /Chernakova S.
Светлана Эдуардовна
(s_chernakova@rambler.ru)
СПИИРАН,
младший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: космонавт – cosmonaut; человек-оператор – human-operator; антропоморфный манипуляционный робот – anthropomorphic robot-manipulator; дистанционное управление – remote control mode; дополненная реальность – augmented reality; виртуальная интерактивная среда - virtual interactive environments.

Рассматриваются инженерно-психологические аспекты информационного обеспечения человека-оператора (Ч-О) при дистанционном управлении роботом-манипулятором. Предлагается расширить систему визуального обеспечения деятельности космонавта, как Ч-О робототехнических систем, с учетом возможностей новых информационных технологий построения искусственной виртуальной интерактивной среды. Предложения по использованию технологии дополненной реальности приводятся с учетом опыта разработки программно-информационного комплекса для реализации метода управления манипуляционным роботом «обучение показом движения».

In this paper, we consider psychological and ergonomic aspects of engineering and information support of a human-operator (H-O) for the remote-controlled robot-manipulator. It is proposed to enhance visual support of cosmonaut, as a human-operator activities with robotic systems taking into account new information technologies for constructing artificial virtual interactive environments (VIE). Proposals for the use of augmented reality (AR) technology are based on the development experience of a computer-based information complex for implementation of the "teaching by showing" method for a remote-controlled robot-manipulator.

Введение

Применение в пилотируемых полетах космических роботов усилило внимание к традиционной проблеме инженерной психологии «разделения функций» между человеком-оператором (космонавтом) и автоматом и к вопросам согласования характеристик звеньев человеко-машинной системы «космонавт – робот-манипулятор – рабочая среда». Ведущиеся исследования в области космической робототехники привели к разработке целого ряда оригинальных решений [1–4]. Эти и многие другие работы дают основание констатировать, что в обозримой перспективе доминирующим трендом в пилотируемой космонавтике будет все более широкое применение для помощи экипажу различных сервисных роботов, в частности манипуляционных робототехнических комплексов (МРТК), так как расширение объема и разнообразия задач внекорабельной и внутрикорабельной деятельности, а также перспективные проекты «напланетной» деятельности космонавтов предполагают активное функционирование МРТК в сложных и экстремальных условиях жизнедеятельности человека.

Заметное место среди разработок последнего времени занимают антропоморфные манипуляционные роботы (АМР). Их применение нацелено на решение задач удаленного взаимодействия с объектами рабочей среды путем воспроизведения АМР в копирующем режиме движений человека-оператора (Ч-О), управляющего им. Данному направлению робототехники способствуют сложившиеся эргономические решения построения рабочих мест космонавтов, органов управления различными бортовыми системами, а также принятые и ставшие стандартными варианты компоновки отсеков, переходных люков и пр. При таком подходе существует возможность без дополнительной радикальной перестройки рабочей среды органично интегрировать в нее АМР, ориентируясь на антропометрические характеристики человека. Это, естественно, не снимает всех проблем, когда возникает необходимость применения МРТК, но способствует поиску путей безопасного взаимодействия экипажа с мобильными АМР и сохранению существующих характеристик обитаемости космических герметически замкнутых объектов (гермообъектов).

В общем случае предполагается, что копирующие режимы могут обеспечить большую универсальность и оперативность динамической перенастройки и более широкую область применения АМР в сравнении с другими режимами управления. Эти отличия имеют особое значение, когда отсутствует возможность заранее предусмотреть и запрограммировать все режимы использования АМР, весь состав исполнительных действий, особенно при возникновении нештатных ситуаций, требующих от Ч-О поиска новых нестандартных способов решения двигательных задач [2].

Чтобы контролировать двигательную активность АМР и в полной мере реализовать профессиональный интеллект, Ч-О должен иметь расширенную информационную поддержку, обеспечивающую как контроль исполнительных действий, так и ведение пространственной ориентировки в сложных условиях для точного позиционирования самого АМР (в том числе средств его фиксации в конкретной рабочей зоне) и того инструмента, который необходим для выполнения конкретной операции. Полноценное информационное обеспечение Ч-О может компенсировать ограничения, присущие режиму дистанционного управления АМР, особенно в случаях, когда длительность передачи сигналов прямой и обратной связи между Ч-О и АМР может привести к снижению точности выполнения двигательной задачи, а также когда конструкция АМР не позволяет с нужной точностью воспроизвести биомеханику движений рук из-за несоответствия кинематических характеристик.

Построение искусственных сред для визуализации взаимодействия реальных и виртуальных объектов в рабочем окружении космонавта

Современные тенденции построения человеко-машинных интерфейсов (ЧМИ) свидетельствуют в пользу все более широкого применения синтезированных компьютером искусственных виртуальных сред (ИВС) для информационной поддержки Ч-О в сложных эргатических системах [5, 6]. Эта тенденция также прослеживается при проектировании систем дистанционного управления манипуляционными роботами. Существенное продвижение технологий робототехники в перспективные космические приложения, включая «напланетное» применение космических роботов, в значительной степени будет определяться достижениями в области рациональной организации взаимодействия Ч-О с МРТК на основе новых (ИТ) VIE [7, 8].

Искусственные виртуальные среды, применяемые для построения визуального интерфейса, как правило, включают 3D-представления рабочей среды и имитационные модели ее активных агентов [9–11]. На программно-аппаратном уровне это достигается применением в различных сочетаниях технологий наложения визуальных сцен, полученных из разных источников, для получения интегрированного представления данных системы отображения информации (СОИ) на рабочем месте Ч-О. В число динамично развивающихся областей инженерной психологии и информатики входит исследование вопросов, каким образом такие синтетические построения влияют на надежность человеческого звена.

Одна из актуальных задач – найти ответ на вопрос, каким образом в динамично изменяющейся рабочей среде, когда заведомо не выполняются жесткие условия ее «константности во времени и пространстве», обеспечить Ч-О визуальной информацией для оперативного контроля ситуативной обстановки с учетом мобиль-

ности АМР и потенциального наличия помех движению и выполнению двигательных актов при управлении в дистанционном режиме. Предметом выбора для инженерно-психологического проектирования взаимодействия Ч-О с АМР могут стать технологии дополненной реальности (augmented reality – AR), как одного из вариантов построения ИВС (VIE). Системы на базе AR имеют следующие отличительные характеристики [12]: 1) объединение в восприятии пользователя реального и виртуального пространства с погружением в него объектов физической и виртуальной природы (средствами, обеспечивающими точность совмещения и реалистичность перемещения и взаимодействия); 2) интерактивность при взаимодействии со средой и ее объектами в реальном масштабе времени, то есть доступность объектов для воздействия в соответствии с принятыми соглашениями о предоставленных полномочиях и инструментах пользователя; 3) пространственное отображение визуальных сцен в формате 3D. На рис. 1 показан пример совмещения виртуального (1а) и реального (1б) изображений в дополненном изображении (1в).

В общем случае можно говорить, что дополненная реальность – это область ИТ, предназначенная не для «пассивной» визуализации объектов различного уровня реалистичности, а для «активного» управления объектами виртуальной среды, воздействия на эти объекты и наблюдения «поведения» этих объектов при действии различных физических законов, моделировании сложных явлений, включая экстремальные ситуации (пожар, взрывы и пр.), воспроизведение которых встречает трудности реализации в реальной физической среде, но имеет очевидные преимущества в аспектах обучения, тренировки Ч-О и изучения его психофизиологических возможностей [12].

Оценка трудностей дистанционного управления активным агентом определяется тем, насколько «консервативна» или, напротив, «динамична» окружающая среда, в которой работает космический экипаж и в которой применяется манипуляционный/мобильный робот. Высокая изменчивость рабочей среды, особенно в случаях, когда затруднен оперативный (в первую очередь, визуальный) контроль со стороны Ч-О, может существенно ограничить возможности человеческого звена. В этом случае возникает необходимость отработки состава и алгоритма действий на той или иной модели (разного уровня сложности) с последующей реализацией в реальных условиях. Здесь можно говорить о комбинированном подходе, так как предпочтение, которое отдается супервизорному варианту управления АМР на этапе воздействия инструментом на реальный объект, базируется на предварительной отработке двигательной задачи в копирующем режиме с использованием виртуальной модели [7]. За Ч-О остается принятие решений на применение АМР с учетом ситуационной обстановки, что особенно важно в свете обеспечения работ во внутреннем объеме гермообъекта (безопасности экипажа и сохранности критически важных бортовых систем).

Опыт «парирования нештатных ситуаций», например при осуществлении стыковки транспортного корабля с «некооперируемым объектом» (имеется в виду реальный эпизод выполненных пилотируемых полетов: потерявший управление космический комплекс типа орбитальной станции и поставленная экипажу задача выполнения на «замерзшей» космической станции операций ремонта и восстановления работоспособности бортовых систем [13, 14]) показал, что наиболее оперативно и качественно эти работы выполняются космонавтами на борту космического комплекса в том случае, когда в

(а) (б) (в)

Рис. 1. Совмещение виртуального (а) и реального (б) изображений в дополненном (в)

наземных условиях удается выполнить имитационное моделирование на компьютерных моделях и отработать на технических средствах подготовки космонавтов рациональный алгоритм действий экипажа, который затем передается на борт. Этот методический подход стимулирует поиски способов проектирования применения АМР в разных полетных ситуациях методами имитационного моделирования и 3D-визуального представления результатов планирования действий экипажа в зависимости от состояния рабочей среды и объекта управления.

Особенности информационного обеспечения Ч-О при дистанционном управлении АМР в пилотируемых космических полетах

Общепризнано, что при дистанционном управлении сложными автоматизированными системами Ч-О нуждается в информационной поддержке, имеющей применительно к АМР ряд специфических особенностей, связанных с оперативным контролем точности выполнения движений в сложноконфигурированной рабочей среде. Как правило, речь идет о предоставлении Ч-О недостающих, достоверных и доступных для оперативного восприятия визуальных данных о состоянии окружающей среды, статических и динамических объектах в этой среде, реакциях управляемого объекта на соответствующие команды от Ч-О, реакции объекта труда на воздействия со стороны исполнительных устройств АМР и пр. При этом, как известно из инженерной психологии, предъявление Ч-О инструментальных данных измерений динамических параметров подвижных объектов в форме цифровых показателей приборной информации на СОИ часто вызывает большие сложности перекодирования таких данных в оперативный психический образ текущей ситуации [15, 16].

Свои ограничения и специфические трудности перекодирования имеет и отображение данных для Ч-О только в виде визуальных образов 3D-моделей подвижных объектов в составе воспроизводимой компьютерными средствами сложной визуальной сцены. В этом случае зрительное восприятие данных на дисплеях СОИ имеет существенные отличия в сравнении с тем, как это обеспечивается физиологическими механизмами непосредственного зрительного наблюдения реальной физической среды [17, 18]. Это может приводить к ошибкам зрительного контроля глубины сцены, взаимного расположения объектов, зрительной оценки движения объектов и др., что неизбежно сказывается на надежности и точности исполнительных действий, реализуемых системой «Ч-О – АМР», включая решение даже простых сенсомоторных задач. Дополнительные сложности возникают из-за воздействия неблагоприятных факторов космического полета на анализаторы человека. В частности, в невесомости может возникнуть ряд новых рисков ошибок управления АМР в дистанционном режиме из-за нарушений в работе зрительного, вестибулярного и проприоцептивного анализаторов человека и их взаимодействия (в плане сенсомоторной координации) [19–21].

Основная сложность инженерно-психологического проектирования деятельности Ч-О по дистанционному управлению АМР состоит в обеспечении условий выполнения двигательного акта «здесь и сейчас», «точно по месту» расположения объекта труда в рабочей зоне, исходя из четко сформулированных Ч-О задач и в точном соответствии с требованиями текущей ситуации, в то время как сама ситуация может достаточно динамично изменяться, а при нарушениях замыкания обратной связи от сенсоров АМР может отсутствовать возможность для Ч-О «однозначной интерпретации получаемых от робота сенсорных сигналов, без которых невозможно управление его (двигательным) поведением» [22]. Принципиально важным также является положение, что «для системы зрительного обеспечения» контроля двигательной активности робота необходимо, чтобы зрительный канал поступления информации обеспечивал условия, которые в психологии называются «объектностью и константностью восприятия».

Если за период прохождения сигналов прямой и обратной связи зрительная сцена претерпевает значимые изменения, то снижаются гарантии того, что Ч-О «включен» в текущую ситуацию и не запаздывает с управляющими воздействиями. В такой ситуации ограниченность каналов (обратной связи) для контроля актуальных событий и (текущей) ситуации необходимо заменять искусственными приемами, которые ориентированы на зрительное обеспечение решения операторской задачи, состоящей в установлении того факта, что заранее сформированная схема управления АМР пригодна к исполнению в конкретной текущей ситуации.

Аналогию здесь можно найти с задачей обучения летчика способам принятия решения на управляющее действие при выполнении фигур высшего пилотажа на высокоскоростных самолетах по опорным точкам путем актуализации сенсорного образа пространства и положения летательного аппарата [23–25]. Смысл такого методического подхода состоит в использовании зрительных эталонов и системы опорных точек на траектории движения, относительно которых у летчика надежно формируется регуляторный психический образ, позволяющий преобразовывать показания на приборной доске в образ пространственных перемещений летательного аппарата, и принимать на этой основе (с учетом располагаемого времени и запаса высоты полета) решения о рациональном маневре даже после временной потери пространственной ориентировки. По аналогии для системы «Ч-О – АМР» можно предложить алгоритм принятия решений, когда космонавт располагает априорной информацией об опорных

точках и заранее сформировал для некоторого набора опорных точек (методом обучения робота «показом движения») рациональные способы выполнения движений для наведения исполнительных органов робота на объект воздействия.

Такие предположения переводят проблему обеспечения надежности и безопасности взаимодействия Ч-О с АМР в плоскость построения сложных имитационных моделей расчета перемещений активных агентов в рабочей среде и 3D-визуализации сложных сцен с возможностью реализации интерактивных режимов взаимодействия Ч-О с активными агентами и объектами реальной и виртуальной среды. Можно утверждать, что для этого имеются соответствующие программно-информационные средства, что не снижает актуальности инженерно-психологического проектирования человеко-машинного интерфейса и его практической реализации для космической робототехники [9, 26].

АРК в составе эргатических систем и проблемы организации человеко-машинного взаимодействия

Предполагается, что применительно к пилотируемой космонавтике робототехнические комплексы, основанные на принципах антропоморфного подобия, могут управляться Ч-О дистанционно из некоторого (в том числе, наземного) пункта управления или специально сконструированного рабочего места на космическом комплексе, вынесенного за пределы зоны проведения работ исполнительными органами АМР. При этом полагается, что решение задачи управления достигается выполнением таких управляющих движений, какие Ч-О выполнял бы: а) непосредственно взаимодействуя с органами управления в пределах досягаемости объекта воздействия; б) при непосредственном зрительном и проприоцептивном контроле, который сопровождает решение задач сенсомоторной координации. Более сложная ситуация возникает при переходе к дистанционному управлению на значительных удалениях Ч-О от управляемого им АМР и от той рабочей зоны, в которой необходимо решать производственные задачи.

Очевидно, что в любом случае значимо возрастают требования к каналам связи между Ч-О и мехатронным роботом по быстродействию, пропускной способности, защищенности от помех и другим характеристикам, что на текущем уровне развития технических средств связи далеко не просто обеспечить в условиях космических расстояний с высоким качеством. Эта задача постоянно находится в поле зрения разработчиков космической техники и неоднократно освещалась, например, в контексте постановки и обсуждения результатов космических экспериментов (КЭ) [27, 28]. Дело в том, что большие задержки в поступлении сигналов, особенно при организации обратной связи с Ч-О, приводят к снижению качества деятельности из-за нарушения сенсомоторной координации. При превышении некоторых пороговых значений утрачивается способность Ч-О по построению качественного прогноза на основе визуальных данных. В этой связи признается необходимым улучшение учета силомоментных связей при построении и реализации двигательного акта и обеспечения доступа Ч-О к этой информации.

Фактически, постановка задачи телеуправления АМР заставляет обратить пристальное внимание на технологии моделирования и визуализации сложных динамических сцен для оперативного отображения Ч-О информации, недостающей ему для полноценного контроля ситуации и текущей обстановки, составления целостного представления о задаче управления и принятия решений об оперативной коррекции ошибок управления. Кроме того, актуален вопрос о каналах связи с высокой пропускной способностью и включения в эргатическую систему специальных устройств и сенсоров, позволяющих собирать информацию о взаимодействии АМР с элементами рабочей среды и объектом воздействия, что диктуется жесткими требованиями по обеспечению безопасности космического полета. В совокупности эта область дает пример междисциплинарных подходов, где инженерно-психологическое проектирование является одним из составных направлений, определяющих уровень информационного обеспечения Ч-О в реальном масштабе времени в интерактивных режимах управления сложными объектами. Другими словами, Ч-О для решения возложенных на него задач по дистанционному управлению АМР нуждается в некотором наборе технических средств и программно-информационных модулей, которые позволили бы «замкнуть» на него информацию, которую он может получить по типу обратных связей от сенсоров и системы технического зрения (СТЗ) АМР и от средств информационной поддержки, размещенных в рабочей среде.

В широком плане эргономический анализ системы «Ч-О – АМР – объект воздействия – окружающая среда» должен преследовать цель раскрыть, каким образом необходимо построить и реализовать прямые и обратные связи в деятельности Ч-О при взаимодействии с АМР, чтобы решить задачу телеуправления с высокой точностью и надежностью. Психологическое содержание этой проблемы определяется тем, что в отличие от непосредственно наблюдаемой картины взаимодействия исполнительных органов АМР с объектом воздействия в доступном для «прямого» визуального наблюдения, в случае удаленного контроля Ч-О вынужден довольствоваться рядом косвенных данных, которые в своей исходной совокупности не всегда могут гарантировать точное соответствие планируемого хода работ реальному состоянию объектов в рабочем пространстве из-за запаздывания поступления информации, ее искажения вследствие ошибок совмещения в процессе «наложения» зрительных сцен и технического смешения сигналов, полученных из разных источников визуального контроля обстановки.

Такого рода трудности связаны с отсутствием полной адекватности между действиями Ч-О и движениями АМР, возникающей при считывании, передаче и обработке управляющих сигналов в системах, имеющих силомоментные связи [9, 26].

Таким образом, данный тип эргатической робототехнической системы, в отличие от многих «классических» систем, попадающих под традиционные классификации в разных областях эргономики [6, 29, 30], характеризуется тем, что «виртуальные построения и конструкции, часто совмещаемые с объектами реальной среды специальными приемами визуализации», являются необходимым звеном процесса управления АМР, так как без реконструкции рабочего пространства и всех его стационарных и динамических объектов в виде 3D-моделей Ч-О не в состоянии вести пространственную ориентировку, осуществлять позиционирование и навигацию робота, прецизионное перемещение его схвата, рабочего инструмента и обеспечивать безопасное взаимодействие исполнительных органов робота с объектом воздействия.

Проиллюстрируем вышеприведенные положения о технологиях AR примерами приложений. Для пилотируемой космонавтики особую роль играют операции по поддержанию жизнеспособности космического комплекса в целом и отдельно взятых агрегатов, что обеспечивается проведением силами экипажа операций визуальной инспекции, технического обслуживания и ремонта бортовых систем. Технологии AR показали свою полезность в такого рода приложениях, так как монтаж, техническое обслуживание и ремонт сложной техники значительно проще осуществлять, когда не приходится вручную разбирать агрегаты и узлы, а есть возможность предварительно (с использованием специальных меток, активирующих и инициирующих запуск виртуального представления) ознакомиться с конструкцией и планом проведения работ на объекте. Речь идет о наложении 3D-изображений на реальное оборудование в интерактивном режиме по мере выполнения операций, чтобы оперативно принять решение на выбор способа действия, просматривая шаг за шагом те действия, которые должны быть выполнены, уточняя каким инструментом и каким способом. Эти наложенные 3D-изображения составляют важное практическое направление применения AR и не только при эксплуатации сложных технических систем, но и в их конструкции, при контроле прокладки и состояния кабельных систем и пр.

На рис. 2 приведен пример использования технологии AR на полунатурной модели космической станции.

Применительно к использованию мобильных роботов при проведении визуальной инспекции стоит отметить такой аспект, что помимо визуализации бортовых инструкций по применению инструмента для тех или иных агрегатов, система AR может помочь Ч-О наложить на заранее подготовленный виртуальный объект контролируемого агрегата сопутствующий набор показателей, измеренных инструментально, что существенно ускоряет процесс и расширяет качество контроля, а также повышает уровень безопасности эксплуатации и обслуживания бортовых систем, кабельного хозяйства и пр.

Также близка по смыслу задача мониторинга состояния и содержания полок и шкафов хранения, особенно в тех случаях, когда доступ к ним затруднен или осложнен ограниченным объемом рабочего пространства и его скученностью. В этом случае AR также предполагает использование электронных или графических меток, по которым можно активировать визуальное объемное представление о хранимых грузах. Кроме того, можно обеспечить наложение электронных «аннотаций», которые могут представлять собой частные заметки, «прикрепленные к реальным объектам». Такие заметки могут выполняться с использованием объекта «окна» стандартного пользовательского интерфейса на определенных местах в окружении, либо «прикрепленных меток к конкретным объектам в качестве напоминания» [31]. Одним из новых перспективных направлений может являться прокладка пути при навигации

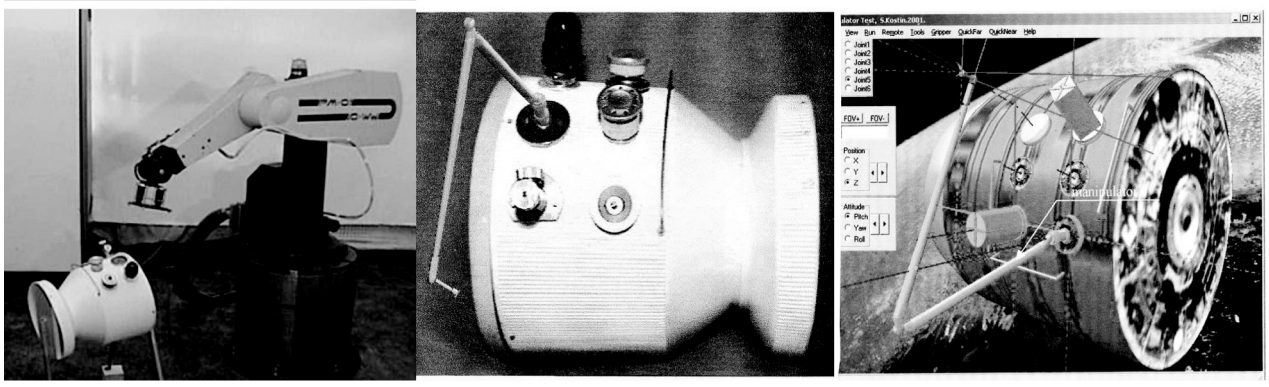

Рис. 2. Пример использования технологии AR на полунатурной модели космической станции

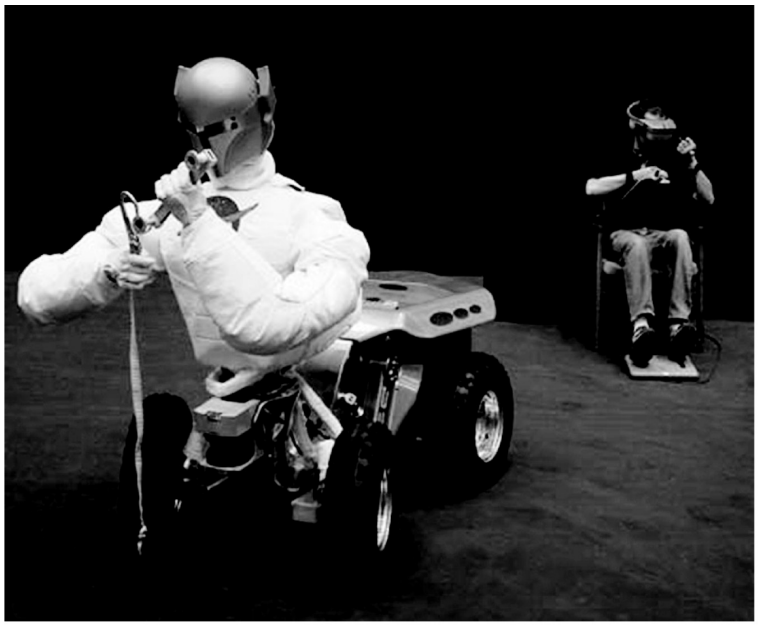

Рис. 3. Пример телеуправления космическим роботом NASA Robonaut с использованием шлема виртуальной реальности и технологии AR

с помощью AR и планирования двигательных актов для исполнения манипуляционным роботом.

На рис. 3 показан пример телеуправления прототипом антропоморфного космического робота NASA Robonaut, с использованием шлема виртуальной реальности и технологии AR[1].

Планирование маршрута мобильного робота в сложно конфигурированной среде

Технологии AR для использования в сложно конфигурированной среде при построении взаимодействия космонавта с мобильным роботом-помощником во многих случаях должны подкрепляться технологиями позиционирования, навигации, а также ассистивными технологиями, если речь идет о необходимости передвигаться в условиях невесомости на пилотируемом космическом комплексе (ПКК). В земных условиях предпринимаются попытки построить с помощью AR маршруты движения в супермаркетах, аэропортах и даже на местности, допускающие множественные и не всегда очевидные по критерию экономии времени решения. На ПКК передвижение мобильного робота также во многих ситуациях требует предварительного планирования. В этом случае AR может содержать информацию о тех маршрутах, которые оборудованы специальными приспособлениями для фиксации и удержания робота в процессе перемещения, местами для подключения к электропитанию, местами с дополнительными метками, содержащими справочную и/или навигационную информацию и пр. В данном случае Ч-О может посредством наложения цифровой карты модулей и отсеков с представлением средствами AR помещений, оборудованных приспособлениями для передвижения (например, с помощью системы лееров) и фиксации роботов (используя поручни специального вида и размещенные на специальной площадке устройства крепления), принять решение о допустимости того или иного выбора маршрута. Аналогичная ситуация возникает в случае появления временных запретов на проникновения в те или иные помещения и отсеки, блокирования переходных отсеков и люков и пр. В этом случае, кроме добавления объектов в реальной среде, технологии AR также могут быть использованы, чтобы их «удалить» из визуального представления Ч-О.

Таким образом, добавлением виртуальных объектов к реальной среде возможности AR не ограничиваются, так как графические или электронные метки могут быть использованы для того, чтобы скрыть часть реальной среды от пользователя [12]. В эргономических приложениях можно использовать такой прием, очерчивая для конкретного расположения манипуляционного робота область досягаемости рабочих инструментов и объектов воздействия, а также указывая области, запрещенные для доступа.

В первом случае для объектов вне зоны досягаемости может быть использовано представление только контура, а не насыщенного цветом изображения, в то время как для запрещенных зон может быть использо-

[1] http://robonaut.jsc.nasa.gov/R1/sub/telepresence.asp

вано представление объектов в предупреждающем об опасности «красном» цвете. Этот подход может применяться для обеспечения безопасности труда космонавта, если предполагается совместное выполнение конкретной операции несколькими членами экипажа в непосредственной близости от АМР.

Планирование траектории движения при обучении АМР выполнению двигательной задачи (методом «обучение показом движения»)

Как уже отмечалось ранее, телеуправление движением робота – часто трудная для выполнения задача, особенно, когда он находится на удалении и имеют место длительные задержки в линии связи. В таких условиях, вместо того, чтобы контролировать робота непосредственно в реальной среде, может оказаться предпочтительным «обучать исполнению действий» виртуальную модель манипуляционного робота, а затем переносить план действий с командой на исполнение реальному мехатронному роботу в реальной среде [7]. В этом варианте пользователь планирует и определяет действия робота посредством манипуляций с локальной виртуальной версией робота в режиме реального времени. Результаты вскоре непосредственно проявляются в реальном мире и представляются Ч-О на СОИ для контроля правильности и точности воспроизведения действий.

После того как план выполнения действий для АМР протестирован на виртуальной модели и сделан выбор (принято решение), пользователь передает сообщение реальному роботу для реализации указанного плана. Это позволяет избежать наведенных Ч-О индуцированных колебаний, вызванных длительными задержками. Виртуальные версии могут также предсказать последствия воздействия на окружающую среду в ходе манипулирования, и, таким образом, служат средством планирования и предварительного просмотра, чтобы помочь пользователю в выполнении требуемой задачи.

С точки зрения инженерной психологии такой способ решения задачи построения движения полностью укладывается в концепцию антропоцентрического подхода к разделению функций в эргатической системе «Ч-О – АМР – виртуальная среда – реальная рабочая среда», когда принятие решения возлагается на Ч-О, а робот выполняет действие под контролем Ч-О и в строгих рамках допустимых отклонений от предписанной (сконструированной) траектории или маршрута движения [12, 32].

Идея построения управления автоматическим устройством на основе метода «обучение показом» известна из ряда публикаций [32–35]. Оригинальные подходы к решению указанной задачи «обучения показом движения», состав и назначение программно-информационных средств для планирования и оперативного управления роботом-манипулятором в реальных условиях представлены в отечественных работах [36], где предлагается реализация способа «обучение показом» на основе программно-аппаратного комплекса, функционирование которого предполагает использование технологии виртуальной и дополненной реальности.

Использование информационной технологии "виртуального наблюдателя" применительно к методу "обучение показом движения" предполагает выполнение ряда условий, значимых с точки зрения полноты контроля человеком-оператором точности выполнения двигательного акта манипуляционным роботом.

Одним из этих условий является реализация такого способа смешения визуальных картин, полученных как от СТЗ робота, так и методом синтеза изображения по результатам моделирования, чтобы: 1) соблюдалось точное совмещение осей, связанных с направлением взгляда наблюдателя; 2) достигалось хорошее совпадение масштаба объектов, попадающих в поле зрения, прежде всего, объекта воздействия и схвата (либо инструмента воздействия); 3) обеспечивалось синхронное изменение объектов обоих изображений при изменении фокусного расстояния и/или положения "виртуальной камеры"/мониторов СТЗ; 4) обеспечивалась возможность для Ч-О достаточно просто и легко различать реальные и виртуальные объекты за счет использования для виртуальных синтезированных элементов таких приемов, как "проволочные каркасы", "прозрачность" визуальных объектов, различия в яркости и текстурах (при необходимости).

Все сказанное выше свидетельствует о том, что контроль исполнения движения с использованием виртуальных сред является сложной задачей не только в свете планирования действий и построения модели супервизорного управления, но и в отношении синтеза визуальных сцен дополнительно к индицируемых человеку набору инструментальных данных в составе СОИ.

Заключение

До настоящего времени в области пилотируемой космонавтики остается актуальной и недостаточно исследованной в форме испытаний на реальных изделиях задача, каким образом можно наиболее рационально управлять антропоморфным роботом в дистанционном режиме и как при этом организовать всестороннюю информационную поддержку Ч-О. Ответы на эти вопросы может дать инженерно-психологический эксперимент на наземных моделях и реальный КЭ [27], отдельные составляющие которого уже сегодня реализуются участниками программы полетов на МКС. Следуя современным разработкам в области человеко-машинных интерфейсов можно полагать, что технология AR должна являться предметом выбора для инженерно-психологического проектирования взаимодействия Ч-О с АМР. При этом применение космического робота в дистанционном режиме требует

развитых средств поддержания коммуникации, отображения информации и создания виртуальной среды для осуществления эффективного контроля со стороны Ч-О «поведенческой» и двигательной активности АМР. В качестве инструментария создания ИВС, в числе прочих подходов, может рассматриваться программно-аппаратный комплекс, построенный на базе информационной технологии обучения роботов методом «показа движений» и технологий AR. Новая трактовка применения технологий AR при визуализации текущей информационной обстановки на СОИ рабочего места Ч-О предполагает акцент на ранее недостаточно использованные возможности AR для создания условий Ч-О в процессе подготовки и принятия решений на выполнение такого управления АМР в дистанционном режиме, которое предусмотрено заранее сформированными образцами-эталонами выполнения двигательных актов АМР. Такой подход выводит задачу на более высокий уровень планирования и контроля в условиях трудностей организации обратных связей для Ч-О в дистанционном режиме управления АМР.

Литература

1. Градовцев, А. А. Средства робототехнического обеспечения перспективной космической инфраструктуры / А.А. Градовцев, А.С. Кондратьев, А.В. Лопота // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – № 1. – С. 111–118.

2. Тимофеев, А. Н. Проблемы применения в космосе антропоморфных роботов / А.Н. Тимофеев, И.В. Шардыко / Сб. трудов 7-го международного симпозиума «Экстремальная робототехника – робототехника для работы в условиях опасной окружающей среды» (ER-2013). – СПб.: Политехника, 2013. – С. 213–218.

3. Возможности применения многомодальных интерфейсов на пилотируемом космическом комплексе для поддержания коммуникации космонавтов с мобильным роботом – помощником экипажа / Р.М. Юсупов [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 3 (8). – С. 23–34.

4. Крючков, Б. И. Перспективные подходы к применению сервисных роботов в области пилотируемой космонавтики / Б.И. Крючков, А.А. Карпов, В.М. Усов // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 32. – С. 125–151.

5. Афанасьев, В. О. Модели структур и данных для решения задач управления поведением и взаимодействием объектов в индуцированной виртуальной среде / В.О. Афанасьев // Космонавтика и ракетостроение. – 2005. – № 2 (39). – С. 168–179.

6. Сергеев, С. Ф. Обучающие и профессиональные иммерсивные среды / С.Ф. Сергеев. – М.: Народное образование, 2009. – 432 с.

7. Включение робота-ассистента в совместную с космонавтами деятельность методом «обучения показом движения» / Б.И. Крючков [и др.] // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 2 (3). – С. 29–32.

8. Крючков, Б. И. Антропоцентрический подход в организации совместной деятельности космонавтов ПКК и робота-помощника андроидного типа / Б.И. Крючков, В.М. Усов // Пилотируемые полёты в космос. – 2012. – № 3. – С. 42–57.

9. Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике: учеб. пособие / Г.В. Алферов [и др.]. – СПб.: «СОЛО», 2006. – 146 с.

10. Михайлюк, М. В. Видеотренажерный комплекс управления роботами и манипуляторами / М.В. Михайлюк // Сб. трудов международного симпозиума «Инновационные технологии в исследовании окружающей среды», Ларнака-Москва, 2013. – С. 84–85.

11. Использование виртуальных 3D-моделей для экспериментальной отработки бортовых полетных операций, выполняемых с помощью антропоморфных роботов / Б.В. Бурдин [и др.] // Робототехника и техническая кибернетика. – 2013. – № 1. – С. 42–46.

12. Azuma, R. T. A Survey of Augmented Reality / R.T. Azuma // Teleoperators and Virtual Environments 6. – 1997. – No. 4. – P. 355–385.

13. Савиных, В. П. Записки с мертвой станции / В.П. Савиных ; Лит. редактор: С. Лукина. – М.: «Издательский Дом Системы Алиса», 1999. – 88 с.

14. Костин, А. Н. Эргономическая история спасения орбитальной станции «Салют-7» / А.Н. Костин // Эргономист. – 2013. – Т. 27. – С. 18–22.

15. Пленцов, А. П. Решение проблемы: «Потеря пространственной ориентировки и управление самолетом в полете» / А.П. Пленцов, В.И. Желонкин, Н.А. Законова // Вестник Международной академии проблем человека в авиации и космонавтике. – 2007. – № 3 (26). – С. 13–18.

16. Проблема использования электронных пилотажных дисплеев в системе отображения информации вертолетов / В.В. Давыдов [и др.] // Вестник Международной академии проблем человека в авиации и космонавтике. – 2007. – № 3. – С. 40–50.

17. Зинченко, В. П. Роль моторных компонентов в процессах восприятия / В.П. Зинченко // Образ и деятельность. – М.: Изд. «Институт практической психологии»; Воронеж: НПО «МОДЭК», 1997. – С. 131–195.

18. Колтунова, Т. И. Особенности движений глаз при осмотре динамической виртуальной среды / Т.И. Колтунова, М.В. Петрушан, А.И. Самарин // Экспериментальная психология. – 2012. – Т. 5. – № 1. – С. 23–34.

19. Корнилова, Л. Н. Результаты исследования вестибулярного аппарата и функции восприятия пространства у космонавтов / Л.Н. Корнилова // Космическая биология и авиакосмическая медицина. – 1982. – Т. 16. – № 1. – С. 20–25.

20. Влияние опорно-проприоцептивной депривации на зрительно-мануальное слежение и вестибулярную функцию / Л.Н. Корнилова [и др.] // Физиология человека. – 2013. – № 5. – С. 13–24.

21. Саенко, Д. Г. Характеристика позных коррекционных ответов до и после длительных космических полетов / Д.Г. Саенко, А.А. Артамонов, И.Б. Козловская // Физиология человека. – 2011. – Т. 37. – № 5. – С. 91–99.

22. Самарин, А. И. Нейросетевые модели в задачах управления поведением робота / А.И. Самарин // Труды III Всероссийской научно-технической конференции «НЕЙРОИНФОРМАТИКА-2001»: Лекции по нейроинформатике. – М.: МИФИ, 2001. – С. 62–102.

23. Завалова, Н. Д. Специфика психического образа, регулирующего действия человека в условиях искаженной афферентации / Н.Д. Завалова, В.А. Пономаренко // Вопросы психологии. – 1984. – № 2. – С. 26–34.

24. Ломов, Б. Ф. Проблема образа в психологии / Б.Ф. Ломов // Вестник АН СССР. – 1985. – № 6. – С. 85–92.

25. Пономаренко, В. А. Развитие теоретических концепций пространственной ориентировки человека в особых условиях жизнеобеспечения / В.А. Пономаренко, А.А. Ворона, С.В. Алешин // Психологический журнал. – 1985. – Т. 6. – № 5. – С. 41–51.

26. Информационная технология добавления виртуального объекта в реальный мир. Часть 1 / Ф.М. Кулаков [и др.] // Труды СПИИРАН. – 2004. – Вып. 2. – Т. 1. – С. 236–256.

27. Удаленное управление робототехническими объектами в космических экспериментах серии «Контур» / В.С. Заборовский [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2012. – № 6 (162). – С. 23–32.

28. Заборовский, В. С. Применение киберфизического подхода в задачах сетецентрического управления роботами / В.С. Заборовский, М.Ю. Гук, В.А. Мулюха // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 2 (3). – С. 12–18.

29. Инженерно-психологические аспекты построения «тренажера-интерфейса» для дистанционного управления манипуляционным роботом / Б.И. Крючков [и др.] // Труды Международной научно-практической конференции «Психология труда, инженерная психология и эргономика 2014» (Эрго 2014). – Санкт-Петербург, 2014. – С. 366–372.

30. Богомолов, Д. В. Система дистанционного экзоскелетонного управления и контроля состояния сложных систем в различных средах с использованием средств стереопространственных изображений, принципа синестезии и обучения / Д.В. Богомолов, В.П. Богомолов, А.Е. Никольский // Сб. трудов XIV Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» ПУМСС-2012. – Самара, 2012. – С. 184–190.

31. Windows on the World: 2D Windows for 3D Augmented Reality / S. Feiner [et al.] // Proc. 6th annual ACM symposium on User interface software and technology UIST'93. – Atlanta, USA, 1993. – P. 145–155.

32. Milgram, P. Applications of Augmented Reality for Human-Robot Communication / P. Milgram // Proc. International Conference on Intelligent Robotics and Systems IROS'93. – Yokohama, Japan, 1993. – P. 1467–1472.

33. Montgomery, J. F. Learning helicopter control through «teaching by showing» / J.F. Montgomery, G.A. Bekey // Proc. 37th IEEE Conference on Decision and Control, 1998. – Vol. 4. – P. 3647–3652.

34. Drascic, D. Stereoscopic Vision and Augmented Reality / D. Drascic // Scientific Computing & Automation 9. – 1993. – No. 7. – P. 31–34.

35. Ollero, A. Control and perception techniques for aerial robotics / A. Ollero, L. Merino // Annual Reviews in Control. – 2004. – Vol. 28 (2). – P. 167–178.

36. Кулаков, Ф. М. Информационная технология обучения роботов показом движений. Часть I. Концепция и принципы моделирования движений / Ф.М. Кулаков, С.Э. Чернакова // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 7. – С. 23–28.