

УДК: 004.896
DOI: 10.31776/RTCJ.10403
С. 261-266

Мультимерные интерфейсы в активной управляющей индуцированной виртуальной среде

А.В. Сергеев^{1✉}, А.Ю. Юсупова¹, С.Ф. Сергеев²

¹Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Российская Федерация, etechnician@gmail.com

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, Российская Федерация

(Материал поступил в редакцию 1 марта 2022 года)

Аннотация

Рассмотрена проблема обеспечения человеко-машинного взаимодействия человека оператора с управляемым объектом в активной виртуальной среде с применением мультимерных 2D-интерфейсов в виде WIMP моделей. В работе продемонстрировано, что 3D представление информации в виртуальной реальности 3D интерфейса недостаточно для обеспечения эффективной деятельности. Была выявлена связь между ограничениями зрительного восприятия и оперирования в виртуальной реальности компьютерной клавиатурой и мышью. Показаны варианты решения данной проблемы методами классической инженерной психологии и эргономики на примере создания объектов виртуального музея ЦНИИ РТК. Проанализированы перспективы использования мультимерных интерфейсов для управления автономными мобильными роботами.

Ключевые слова

Виртуальная реальность, интерфейс «человек-робот», мультимерные интерфейсы, WIMP-интерфейс.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ № 075-00913-21-00 от 25.12.2020.

Multimeric interfaces in an active control induced virtual environment

Alexey V. Sergeev^{1✉}, Anastasiia Iu. Iusupova¹, Sergey F. Sergeev²

¹Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), Saint Petersburg, Russia, etechnician@gmail.com

²Peter the Great Saint Petersburg Polytechnical University (SPbPU), Saint Petersburg, Russia

(Received March 1, 2022)

Abstract

The present work focuses on the usage of multi-dimensional 2D interfaces in the form of WIMP models to ensure human-machine interaction of a human operator with a controlled object in an active virtual environment. We demonstrate that 3D representation of information in a virtual reality 3D interface is not enough to ensure effective activity. We identified the connection between the limitations of visual perception and operating in virtual reality with a keyboard and mouse. We have proved solutions to this problem using the methods of classical engineering psychology and ergonomics for the example of creating objects for the virtual museum of The Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics. We have analyzed the prospects of using multimeric interfaces to control autonomous mobile robots.

Key words

Virtual reality, human-robot interface, multi-dimensional interfaces, WIMP interface.

Acknowledgements

Work was accomplished within the frame of state task of Ministry of Education and Science of the Russian Federation No 075-00913-21-00 dated 25.12.2020.

Введение

Развитие компьютерных технологий моделирования позволяет создавать активные виртуальные интерфейсные среды в виде интерактивных миров деятельности, позволяющие эффективно управлять сложными робототехническими системами. Используются интерфейсные представления различной метрики. Главным образом это 2D и 3D-мерные интерфейсы. К преимуществам 2D рабочей среды интерфейса относят ее возможность обеспечивать работу с большими массивами текстовой информации. Наиболее полно используется пространство экрана. Он понятнее пользователю, быстрее в контексте обучаемости, менее подвержен совершению ошибок (позволяет быстро их ликвидировать), не требует больших объемов оперативной памяти, что и приводит к его большей популярности в среде разработчиков и пользователей. Популярность 3D-представления информации и среды рабочего пространства в интерфейсах на данный момент невысока по ряду причин инженерно-психологического плана, приемлемых решений возникающих при этом проблем пока нет. Это проблемы, связанные с особенностями и свойствами зрительного восприятия и синхронизацией чувственных модальностей между собой и исполнительными системами. Однако потенциально появляются новые возможности: работа со сложными геометрическими построениями, интеграция данных в рамках понятных многомерных изобразительных форм; восприятие сложных динамических объектов; формирование чувства присутствия в пространстве деятельности; навигация в пространстве; манипуляции естественным образом с объектами искусственной среды; функциональные объединения физической и виртуальной реальностей [1]. По мнению Bowman D.A., Chen J., Wingrave C.A. с соавторами, можно выделить две главные проблемы трёхмерного представления среды интерфейса. Первая заключается в том, что реальность не может быть репродуцирована в виртуальной форме в полной мере. Восприятие реальности у людей различается, что не даёт возможности создать одну, «универсальную для всех» реальность. Вторая причина ещё более важная и весомая, чем первая: реалистичный 3D-интерфейс чаще всего не нужен. Большинство задач намного удобнее решать посредством кнопок и списков, чем с помощью манипуляций виртуальными предметами, транспортом и вещами [2].

Следует отметить, что огромную роль в проектировании интерфейсов играет метафора, в рамках которой построен тот или иной интерфейс. Основная роль метафоры интерфейса заключается в том, что

она способствует лучшему пониманию семантики взаимодействия, а также обеспечивает визуальное представление диалоговых объектов и определяет набор манипуляций пользователя с ними.

Концепция визуальной метафоры интерфейса основана на представлении новых или непривычных для пользователя явлений посредством других явлений, хорошо ему известных из повседневной жизни, причем эти явления должны иметь те же основные свойства, что и явления, которые они объясняют. Таким образом, выдвигаются требования привычности и полноты метафоры. Часто метафоры основываются на использовании бытовых и общеизвестных понятий, что позволяет использовать обыденный человеческий опыт и привлекать интерес пользователя, что облегчает понимание и усвоение принципиальных моментов исходного процесса.

К недостаткам такого подхода можно отнести потерю деталей и некоторых специфических понятий, аналоги к которым не удалось подобрать в выбранной сфере, необходимость сопоставления понятий из разных сфер в процессе обучения, а также появление дополнительных и нежелательных аналогий, связанных с обыденными метафорами.

На первых порах развития метафора играла в человеко-компьютерном интерфейсе достаточно ограниченную роль, и служила только формированию понятийного аппарата новой дисциплины. Можно вспомнить такие метафорические термины как «меню», «мышь» или «джойстик».

В конце 70-х при создании визуального интерфейса была использована метафора рабочего стола. Она появилась при визуализации систем автоматизации конторской деятельности. Ее успех связан с глобальной метафорой компьютерного мира как некоего глобального офиса. На базе этой метафоры были созданы интерфейсы Windows, с иконическим интерфейсом. Одной из удачных визуальных метафор, реализованных в программе Norton Commander, явилась метафора бухгалтерской книги.

Отметим, что попытки спроектировать в рамках глобальной метафоры «глобального офиса» метафору интерфейса «рабочая комната» в общем, не были успешными. На данный момент нет ни одной сферы применения 3D-технологий в интерфейсах, где бы была доказана их более высокая эффективность по сравнению с привычными для пользователей 2D-интерфейсами. Заметим также, что и другая глобальная компьютерная метафора «всемирная паутина» (World Wide Web) не породила подобной визуальной метафоры.

В настоящее время идут попытки разработки но-

вых визуальных метафор интерфейса. В них используется семиотика, так как знаковая природа визуализации позволяет применить к ней семиотический анализ, приводящий к выделению языка компьютерной визуализации. Аналогичный анализ применим и к визуальным интерактивным системам [3].

Графические пользовательские интерфейсы появились в 80-х годах прошлого века и их принято обозначать аббревиатурой WIMP (Windows, Icon, Menu, Pointing device), что отражает используемые интерактивные элементы – окна, пиктограммы, меню и позиционирующее устройство (обычно мышь). Такие пользовательские интерфейсы актуальны и в настоящее время, что может говорить о том, что они удовлетворяют требованиям значительной части задач человеко-машинного интерфейса [4].

Следующее поколение интерфейсов связано с появлением на массовом рынке устройств виртуальной реальности в виде шлемов и рукояток, что привело к созданию у пользователей иллюзии присутствия в искусственно созданной реальности. Погружение в такой виртуальный мир позволяет взаимодействовать с сущностями этого мира с помощью рук, естественным для человека способом. Однако использование клавиатуры и мыши в физическом мире становится затруднительным [5].

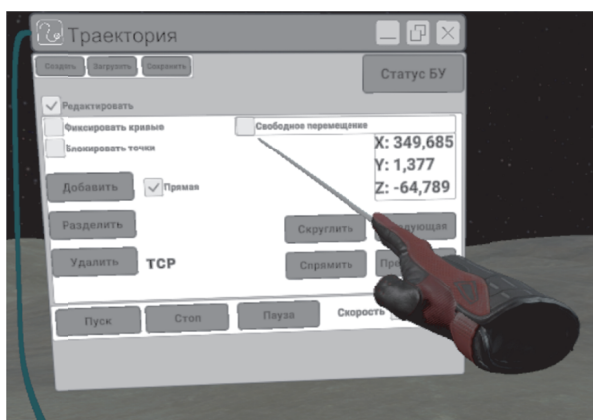


Рисунок 1 — WIMP-интерфейс в виртуальной реальности
Figure 1 — WIMP-interface in virtual reality

Для удовлетворения потребностей в WIMP-интерфейсах виртуальный мир должен наполняться аналогичными сущностями, взаимодействие с которыми должно происходить в трёхмерном пространстве. Наш опыт показывает, что такими сущностями могут выступать плоские поверхности, на которые можно располагать двумерные графические элементы пользовательского интерфейса (кнопки, меню, изображения и др.). Такие окна выглядят привычно для всех пользователей персональных компьютеров. Разработка этих оконных интерфейсов ведётся с использованием существующих практик разработки предыдущего поколения двумерных интерфейсов. Пример такого интерфейса представлен на рисунке

1. Для взаимодействия с ними можно использовать кисти рук оператора в виртуальной реальности, положение и ориентация которых отслеживаются благодаря джойстикам.

Взаимодействие может строиться разными способами, среди которых можно выделить два основных:

- касание пальцем виртуальной руки оператора элементов интерфейса в виртуальном пространстве;
- при указании пальцем в сторону окна появляется луч, в месте пересечения которого с окном элементы интерфейса реагируют как на наведение компьютерной мыши. Кнопки на джойстике используются пользователем как кнопки мыши.

Второй способ, менее естественен, поскольку в реальном мире такой способ больше похож на использование лазерной указки. Однако, такой способ имеет ряд преимуществ, например, он позволяет реализовать все виды взаимодействия, реализуемые обычными WIMP-интерфейсами. Примером таких взаимодействий можно считать четыре состояния кнопки (не нажата, нажата, наведён курсор мыши, не активна), в то время как при первом способе реализовать состояние, когда курсор наведён на кнопку не представляется возможным.

Другим важным преимуществом использования лазерной указки является, разное взаимодействие с одним и тем же элементом интерфейса путём нажатия разных кнопок джойстика (например, клик правой или левой кнопкой мыши). Следующим важным преимуществом является возможность взаимодействия с интерфейсом, находящимся на большом удалении от пользователя. Способ, основанный на касании объекта пальцем руки, ограничивает дистанцию, с которой пользователь может взаимодействовать с элементами интерфейса длиной руки оператора. С другой стороны, слишком далеко расположенный интерфейс становится не читаемым, а лазерная указка на большом расстоянии становится не очень точным указателем из-за естественного тремора рук. Но этот недостаток легко компенсируется с помощью увеличения размеров интерфейса.

В ЦНИИ РТК уже несколько лет создаётся виртуальный музей робототехники [6, 7]. В 2021 году в рамках работ по расширению экспозиции музея была проведена разработка программного обеспечения, реализующая взаимодействие в виртуальной реальности посредством лазерной указки и набор графических интерфейсов пользователя. Разработанные интерфейсы пользователя позволяют управлять трёхмерной моделью робота «Луноход-РТК» разработанной на предыдущих этапах создания виртуального музея. Также в виртуальную экспозицию музея ЦНИИ РТК была включена трёхмерная модель малого лунохода исследователя (МЛИ) являющегося перспективным робототехническим средством для исследования и освоения Луны.

Разработанные графические интерфейсы пользователя могут использоваться для отображения двумерной информации, такой как видеоизображение, текст, цифры, графики и т.д. В отличие от обычных двумерных интерфейсов, окна в виртуальной реальности могут иметь указатель на объект, с которым они логически связаны или на который они указывают. Указатель представляет собой плавную линию в пространстве начинающуюся в верхнем левом углу окна и заканчивающуюся на целевом объекте. Пример такого указателя представлен на рисунке 2.

По желанию, пользователь может скрывать и раскрывать указатель на объект, для чего необходимо кликнуть на иконку в верхнем левом углу окна. Также все окна имеют свои координаты привязки в виртуальном пространстве, где они располагаются по умолчанию.

Для упорядочивания работы пользователя с окнами был реализован механизм рабочего стола, который позволяет закреплять окна в пространстве рядом с пользователем, так чтобы ему было удобно читать с них информацию и взаимодействовать с ними. При перемещении пользователя в виртуальном пространстве закреплённое окно перемещается вместе с ним. При закреплении нескольких окон они автоматически располагаются рядом друг с другом по радиусу от условного местоположения пользователя. Перемещение пользователя в физическом пространстве позволяет ему приближаться-отдаляться от закреплённых окон, также можно изменять радиус, на котором рас-

полагаются окна относительно пользователя. Пример закрепления нескольких окон относительно пользователя представлен на рисунке 3.

Для управления движением представленных робототехнических систем были реализованы различные графические пользовательские интерфейсы. Например, была разработана панель управления движением взаимодействуя с которой пользователь может перемещать «Луноход-РТК» по лунной поверхности, в том числе по различным возвышенностям и неровностям. Внешний вид «Луноход-РТК» и панели управления движением представлен на рисунке 4.

Панель позволяет перемещаться вперёд и назад, а также изменять углы поворота колёс. Доступно три режима управления: «автомобильный», «все поворотные» и «плоское движение». Автомобильный режим подразумевает поворот только передних колёс, задние, при этом, всегда повернуты прямо. Режим, когда все колёса поворотные, поворачивает задние колёса на тот же угол, что и передние, но в противоположную сторону, что обеспечивает меньший радиус поворота, чем при автомобильном повороте. Режим плоского движения поворачивает все колёса на один угол, что приводит Луноход-РТК к прямолинейному движению под определённым углом. К сожалению, угол поворота колёс ограничен 30 градусами, что не позволяет совершать движения перпендикулярно направлению ориентации лунохода и не может использоваться без других режимов.

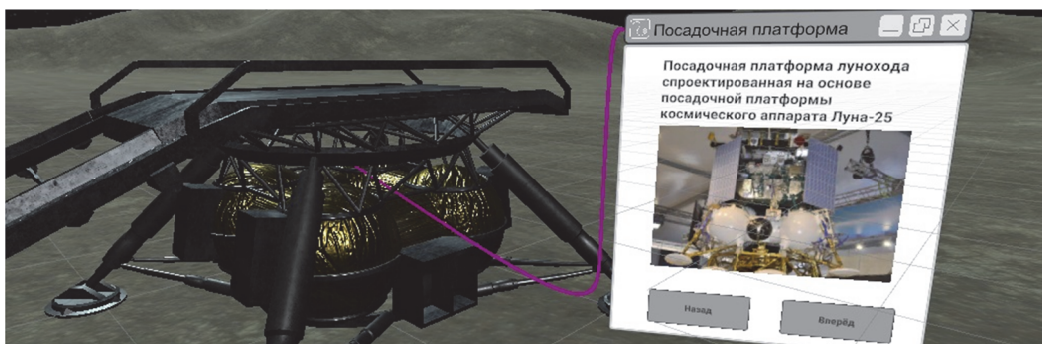


Рисунок 2 — Окно с указателем на целевой объект
Figure 2 — Window with a pointer to the target object

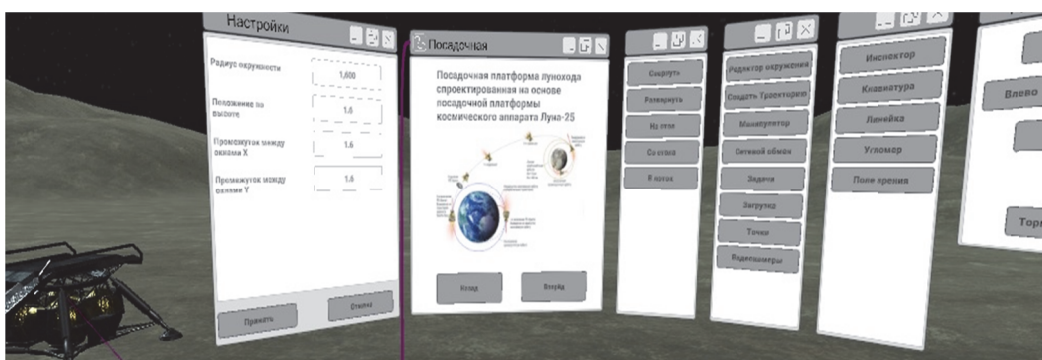


Рисунок 3 — Рабочий стол пользователя виртуального музея ГНЦ ЦНИИ РТК
Figure 3 — Desktop of the user of the virtual museum of RTC

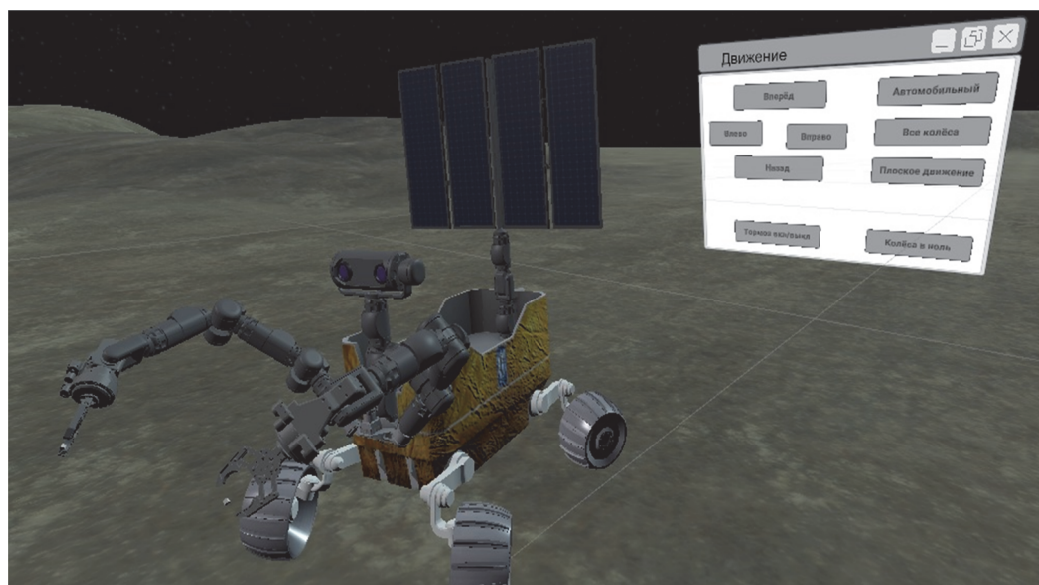


Рисунок 4 — трёхмерная модель «Луноход-РТК» и панель управления движением в виртуальной реальности
 Figure 4 — 3D-model of «Lunokhod-RTC» and motion control panel in virtual reality

Для испытания мобильных возможностей Луноход-РТК были созданы несколько участков поверхности Луны, включающие различные комбинации неровностей и препятствий. Луноход-РТК под управлением пользователя преодолевает препятствия в соответствии с физическими законами, которые реализуются посредством встроенных библиотек Unity3D.

Пользователь может по своему желанию скрывать все графические пользовательские интерфейсы, для чего на запястье левой руки располагается объект с эмблемой ЦНИИ РТК, которого необходимо коснуться кончиком пальца правой руки. Таким образом был реализован и другой способ человеко-компьютерного взаимодействия в виртуальной реальности. Этот способ показал свою простоту и естественность, но к сожалению его применение ограничено размерами поверхности, до которой можно дотянуться рукой и при этом не происходило ложных срабатываний при обычной работе пользователя.

Заключение

Показано, что использование 2D WIMP интерфейсов в виртуальной реальности позволяет создать эффективные интерфейсы управления сложными динамическими объектами. В рамках работ по расширению экспозиции виртуального музея ЦНИИ РТК и внедрению новых технологий представления информации была проведена разработка программного обеспечения реализующая взаимодействие в виртуальной реальности посредством лазерной указки, разработан набор графических интерфейсов пользователя. Разработанные интерфейсы пользователя позволяют управлять трёхмерной моделью робота «Луноход-РТК». Также в виртуальную экспозицию музея ЦНИИ РТК была добавлена трёхмерная модель малого лунохода исследователя, являющегося перспективным робототехническим средством для исследования и освоения Луны.

Литература

1. Мартина В.С. Инженерно-психологические проблемы мультимерных интерфейсов / В.С. Мартина, С.Ф. Сергеев // III международная конференция «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах» (Эрго-2018): труды (Россия, Санкт-Петербург, 4–7 июля 2018 г.). – Санкт-Петербург. – С. 196-201. – Текст: непосредственный.
2. New Directions in 3D User Interfaces / Doug A. Bowman [et al.]. – URL: http://www.gm.fh-koeln.de/~hk/lehre/sgmci/ss2012/material/new_directions_in_3D_UI.pdf (дата обращения: 09.06.2022). – Text: electronic.
3. Сергеев С.Ф. Проектирование интерфейсов: учеб. пособие. – Санкт-Петербург: Изд-во ВВМ, 2020. – 132 с. – Текст: непосредственный.
4. Andries van Dam. Post-WIMP user interfaces // Communications of the ACM, Vol. 40, Issue 2Feb. – 1997. –Pp. 63-67. – DOI: [org/10.1145/253671.253708](https://doi.org/10.1145/253671.253708) (дата обращения: 09.06.2022). – Text: electronic.
5. Сергеев С.Ф. Обучающие и профессиональные иммерсивные среды. – Москва: Народное образование, 2009. – Текст: непосредственный.
6. Сергеев А.В. Применение технологии виртуальной реальности для популяризации достижений космической робототехники / А.В. Сергеев, М.Ю. Гук, И.Ю. Даляев // XIII международная научно-практическая конфе-

ренция "Пилотируемые полеты в космос": материалы, ФГБУ "НИИ ЦПК", Звездный городок, 13-15 ноября 2019 г. – С. 16-18. – Текст: непосредственный.

7. Сергеев А.В. Управление мобильным роботом космического назначения с применением виртуальной реальности и силомоментного оцувствления / А.В. Сергеев, М.Ю. Гук // Пилотируемые полеты в космос. – 2018. – Вып. 4. – С. 44-52. – Текст: непосредственный.

References

1. Martina, V.S. and Sergeev, S.F. (2018). Inzhenerno-psihologicheskie problemy mul'timernyh interfejsov [Engineering and psychological problems of multidimensional interfaces]. In: *Trudy III Mezhdunarodnoj Konferencii «Chelovecheskij Faktor v Slozhnyh Tekhnicheskikh Sistemah i Sredah» (Ergo-2018) [III International Conference «The Human Factor in Complex Technical Systems and Environments» (Ergo-2018): Proceedings]*, pp.196–201. (in Russian).
2. Bowman, D.A. et al. (2020). *New Directions in 3D User Interfaces*. [online]. Available at: http://www.gm.fh-koeln.de/~hk/lehre/sgmci/ss2012/material/new_directions_in_3D_UI.pdf (Accessed 9 June 2022).
3. Sergeev, S.F. (2020). *Proektirovanie Interfejsov. Uchebnoe posobie. [Interface Design: Textbook]*. Saint Petersburg : VVM, p.132. (in Russian).
4. Andries van Dam (1997). Post-WIMP user interfaces. *Communications of the ACM*, 40(2), pp.63–67. DOI: 10.1145/253671.253708.
5. Sergeev, S.F. (2009). *Obuchayushchie i Professional'nye Immersivnye Sredy [Educational and Professional Immersive Environments]*. Moscow : Narodnoe obrazovanie, p.132. (in Russian).
6. Sergeev, A.V., Guk, M.Yu. and Dalyaev, I.Yu. (2019). Primenenie tekhnologii virtual'noj real'nosti dlya populyarizacii dostizhenij kosmicheskoy robototekhniki [The use of virtual reality technology to popularize the achievements of space robotics]. In: *Materialy XIII Mezhdunarodnoj Nauchno-Prakticheskoy Konferencii «Pilotiruemye Polety v Kosmos» [XIII International Scientific-Practical Conference «Manned Space Flights»: Materials]*, pp.16–18. (in Russian).
7. Sergeev, A.V. and Guk, M.Yu. (2018). Upravlenie mobil'nym robotom kosmicheskogo naznacheniya s primeneniem virtual'noj real'nosti i silomomentnogo ochuvstvleniya [Control of a mobile robot for space purposes using virtual reality and force-torque sensing]. *Pilotiruemye Polety v Kosmos [Manned Space Flights]*, 4, pp.44-52. (in Russian).

Информация об авторах

Сергеев Алексей Викторович, Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК), ведущий инженер, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 21, тел.: +7(921)975-04-97, etechnician@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4798-6570

Юсупова Анастасия Юрьевна, ЦНИИ РТК, инженер, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 21, тел.: +7(999)529-25-08, a.yusupova@rtc.ru

Сергеев Сергей Федорович, д.псх.н., профессор, Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), заведующий лабораторией, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, тел.: +7(911)995-09-29, sergeev_sf@spbstu.ru, ssfpost@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6677-8320

Information about the authors

Alexey V. Sergeev, Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), Leading Engineer, 21, Tikhoretsky pr., Saint Petersburg, 194064, Russia, tel.: +7(921)975-04-97, etechnician@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4798-6570

Anastasiia Iu. Iusupova, RTC, Engineer, 21, Tikhoretsky pr., Saint Petersburg, 194064, Russia, tel.: +7(999)529-25-08, a.yusupova@rtc.ru

Sergey F. Sergeev, Doctor of Psychological Science, Professor, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnical University (SPbPU), Head of Laboratory, 29, Politekhnikeskaya ul., Saint Petersburg, 195251, Russia, tel.: +7(911)995-09-29, sergeev_sf@spbstu.ru, ssfpost@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6677-8320