

УДК 004.946 эта статья ползет

Принципы адаптивной компоновки элементов пользовательского интерфейса в виртуальной реальности

Ченарани Сасан^(*)

chenarani94sasan@gmail.com

SPIN-код: 1654-7925

Шариати Фаридоддин

Shariati_f@spbstu.ru

SPIN-код: 5304-7277

Щур Семен Юрьевич

semmyon@yandex.ru

SPIN-код: 2228-0828

СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрены принципы геометрической компоновки элементов меню в среде виртуальной реальности, реализованные в составе адаптивного программного комплекса VR Personalizer. Цель исследования заключалась в оценке геометрии меню как самостоятельного параметра интерфейса, влияющего на удобство, точность и естественность взаимодействия пользователя с виртуальной средой. Представлены четыре схемы размещения элементов: круговая, дуговая, кластерная и силовая. Показано, что различные варианты пространственной организации меню формируют различную структуру движений пользователя, по-разному влияют на распределение зрительного внимания и эргономику взаимодействия. Сделан вывод о том, что геометрическая компоновка может рассматриваться как значимый инструмент адаптации VR-интерфейса к индивидуальным особенностям пользователя.

Ключевые слова: виртуальная реальность, пользовательский интерфейс, адаптивный интерфейс, компоновка меню, эргономика взаимодействия, персонализация интерфейса, геометрическая компоновка

Principles of adaptive layout of user interface elements in virtual reality

Chenarani Sasan^(*)

chenarani94sasan@gmail.com

SPIN-code: 1654-7925

Shariati Faridoddin

Shariati_f@spbstu.ru

SPIN-code: 5304-7277

Shchur Semyon Yurievich

semmyon@yandex.ru

SPIN-code: 2228-0828

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Abstract. The paper considers the principles of geometric layout of menu elements in a virtual reality environment implemented in the adaptive software system VR Personalizer. The aim of the study is to evaluate menu geometry as an independent interface parameter affecting usability, accuracy, and the naturalness of interaction in a virtual environment. Four layout schemes are presented: circular, arc-based, clustered, and force-directed. It is

shown that different variants of spatial menu organization form different movement patterns, affect visual attention distribution, and influence interaction ergonomics in different ways. It is concluded that geometric layout can be regarded as a significant tool for adapting a VR interface to individual user characteristics.

Keywords: virtual reality, user interface, adaptive interface, menu layout, interaction ergonomics, interface personalization, geometric layout

Введение. Разработка интерфейсов виртуальной реальности требует учета не только визуального оформления и функционального наполнения, но и пространственной организации элементов управления [1, 2]. В отличие от традиционных двумерных интерфейсов, в виртуальной среде пользователь взаимодействует с объектами в трехмерном пространстве, а значит эффективность работы определяется не только логикой меню, но и тем, как именно элементы размещены относительно пользователя, зоны досягаемости руки, направления взгляда и особенностей моторного поведения [1, 3]. На практике многие VR-интерфейсы по-прежнему наследуют принципы двумерных меню, что приводит к перегрузке визуального поля, увеличению времени выбора цели и росту числа коррекций движения. В связи с этим особый интерес представляет анализ геометрических схем компоновки элементов меню, которые могут служить основой для последующей адаптации интерфейса под конкретного пользователя.

Цель исследования состоит в оценке геометрической компоновки элементов VR-интерфейса как самостоятельного параметра интерфейса, влияющего на удобство и эргономичность взаимодействия пользователя. Научная новизна работы заключается в рассмотрении геометрии меню не только как средства визуальной организации, но и как адаптивного параметра, подлежащего персонализации. Практическая значимость исследования определяется возможностью использования предложенных схем в образовательных, тренажерных и профессиональных VR-приложениях.

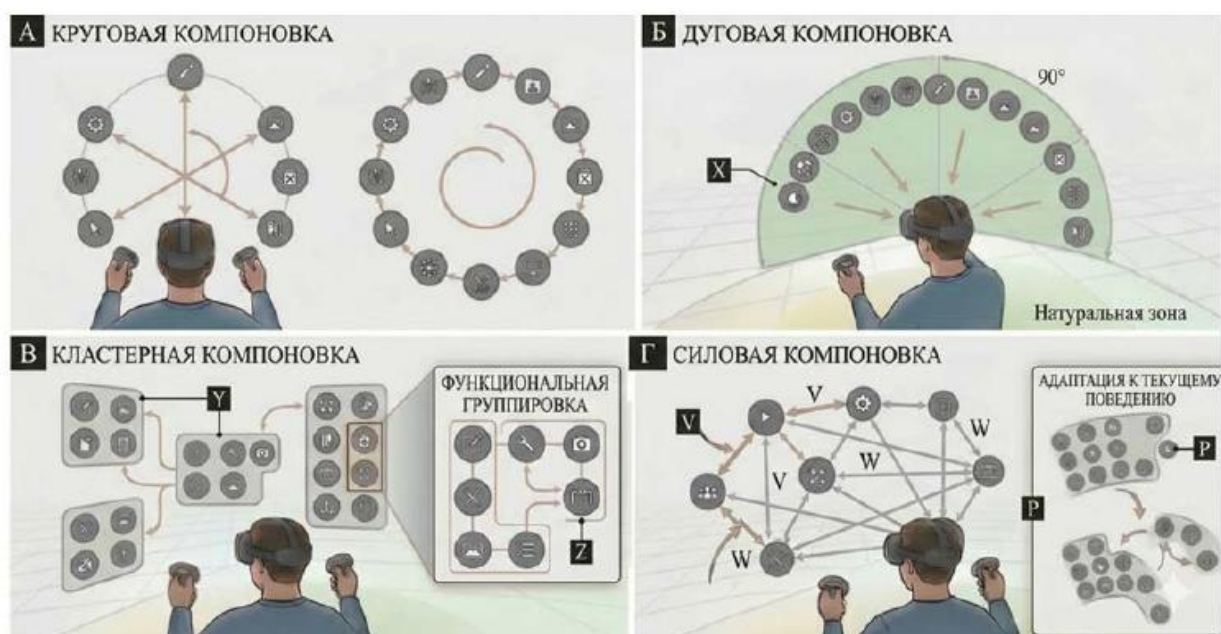
Материалы и методы. В прототипе были реализованы четыре базовые схемы геометрического размещения элементов VR-интерфейс: круговая, дуговая, кластерная и силовая (см. рисунок). Каждая из схем рассматривалась как отдельный способ организации пространства взаимодействия, задающий различную структуру зрительного восприятия и моторного ответа пользователя. При разработке прототипа предполагалось, что геометрия меню может выступать не только средством визуального упорядочения элементов, но и самостоятельным параметром адаптивного интерфейса, влияющим на удобство достижения целей в виртуальной среде.

При проектировании компоновки элементов учитывались не только визуальные свойства интерфейса, но и особенности движения пользователя в трехмерном пространстве. Перемещения контроллера рассматривались как пространственные траектории, по которым можно оценивать удобство доступа к объектам меню, длину движений и характер моторного взаимодействия. Это позволило использовать геометрическое моделирование как основу для

выбора таких схем размещения элементов, которые лучше соответствуют рабочей зоне пользователя и повышают эргономичность VR-интерфейса [4, 5].

В составе программного комплекса VR Personalizer указанные схемы были включены в единое параметрическое пространство интерфейса. Система позволяла изменять размер элементов меню, радиус раскладки, форму расположения объектов и тип геометрической схемы, а также учитывать параметры взаимодействия пользователя с виртуальными целями. В качестве анализируемых характеристик рассматривались длина траектории движения контроллера, количество корректирующих движений, удобство доступа к элементам и общая компактность интерфейса. Такой подход позволял оценивать схемы компоновки не только по их визуальной организации, но и по их влиянию на эргономические и временные характеристики взаимодействия [6, 7].

Методически исследование носило сравнительный характер. Реализованные схемы сопоставлялись по их предполагаемому влиянию на характер перемещений пользователя, распределение внимания и доступность элементов интерфейса. Основной акцент делался на качественном анализе пространственных свойств компоновки и на определении тех особенностей, которые могут использоваться в дальнейшем для персонализации VR-интерфейса. Таким образом, геометрическая компоновка рассматривалась как управляемый параметр, способный адаптироваться к индивидуальным особенностям пользователя, включая опыт работы в виртуальной среде, предпочтительную рабочую зону и стиль движений.



Схемы геометрической компоновки элементов VR-интерфейс в адаптивном интерфейсе

Результаты. Проведенный анализ показал, что различные схемы геометрической компоновки формируют разные режимы взаимодействия пользователя с VR-интерфейсом. Круговая схема обеспечивает наиболее предсказуемую и симметричную структуру меню, что упрощает ориентацию пользователя,

однако при большом числе элементов может увеличивать длину движений. Дуговая схема отличается большей компактностью и позволяет сократить амплитуду перемещений, что делает ее удобной для одноручного взаимодействия и длительной работы в виртуальной среде. Кластерная схема облегчает поиск команд за счет их функциональной группировки и снижает когнитивную нагрузку, особенно в интерфейсах с большим числом функций. Силовая схема демонстрирует наибольшую гибкость, так как позволяет адаптировать плотность и структуру расположения элементов в зависимости от условий взаимодействия.

В целом установлено, что выбор геометрии меню влияет на длину траектории движения, распределение зрительного внимания, удобство доступа к элементам и общее восприятие интерфейса. Это подтверждает, что геометрическая компоновка может рассматриваться как значимый параметр адаптивного VR-интерфейса и использоваться как средство его персонализации [3, 8–10].

Обсуждение полученных результатов. Проведенная апробация показала, что включение геометрической компоновки в число управляемых параметров интерфейса повышает гибкость проектирования VR-интерфейса и создает основу для дальнейшей интеллектуальной персонализации. Даже без учета полного механизма обучения с подкреплением уже на уровне выбора схемы размещения можно добиться различий в характере пользовательского взаимодействия: меняются длина траектории, степень прямолинейности движения, удобство доступа к элементам и субъективное восприятие структуры меню. Это подтверждает, что геометрическое моделирование следует рассматривать как полноценный компонент адаптивного проектирования, а не только как вспомогательный этап визуальной компоновки.

Отдельное значение имеет то, что рассмотренные схемы могут использоваться не только в системах общего назначения, но и в образовательных, тренажерных и профессиональных VR-приложениях. В таких сценариях требования к интерфейсу особенно высоки: он должен быть одновременно понятным, компактным, быстрым и не вызывать лишнего утомления. Геометрическая параметризация позволяет варьировать эти свойства без радикального изменения логики самого приложения, а значит может применяться как универсальный инструмент настройки пользовательского взаимодействия.

Заключение. Таким образом, анализ вариантов геометрической компоновки элементов VR-интерфейса показывает, что пространственная структура интерфейса является самостоятельным и значимым фактором эффективности взаимодействия. Круговая, дуговая, кластерная и силовая схемы задают различные режимы организации виртуального пространства и по-разному влияют на доступность, плотность, предсказуемость и эргономичность меню. Включение этих схем в адаптивный интерфейс позволяет рассматривать геометрию как основу для последующей интеллектуальной настройки системы под конкретного пользователя. Полученные результаты подтверждают пер-

спективность использования геометрического моделирования при проектировании VR-интерфейсов и показывают, что именно пространственная компоновка может служить отправной точкой для построения более гибких, персонализированных и удобных систем взаимодействия в виртуальной реальности.

Список источников

- [1] Bowman D.A., Kruijff E., LaViola J.J., Poupyrev I. 3D User Interfaces: Theory and Practice. Addison-Wesley, 2017.
- [2] Chen M.-X., Hu H., Yao R., Qiu L., Li D. A Survey on the Design of Virtual Reality Interaction Interfaces. *Sensors*, 2024, vol. 24, no. 19, art. no. 6204.
- [3] Fitts P.M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 1954, vol. 47, no. 6, pp. 381–391.
- [4] Графский О.А., Усманов А.В., Холодилов А.А. Графоаналитические исследования инволюции. *Геометрия и графика*, 2017, т. 5, № 1, с. 3–11.
- [5] Соколова Л.С. Многомерное пространство и наглядная геометрия в учебной программе по геометрической подготовке для бакалавриата. *Геометрия и графика*, 2015, т. 3, № 1, с. 40–46. <https://doi.org/10.12737/10457>
- [6] Волошинов Д.В. О перспективах развития геометрии и ее инструментария. *Геометрия и графика*, 2014, т. 2, № 1, с. 15–21. <https://doi.org/10.12737/3844>
- [7] Ярошевич О.В., Зеленевская Н.В. Резервы совершенствования геометро-графической подготовки современного инженера. *Геометрия и графика*, 2014, т. 2, № 2, с. 37–42. <https://doi.org/10.12737/5590>
- [8] Ченарани С. Создание прототипа интеллектуального интерфейса в виртуальной среде. *Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023). XII Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: сб. ст.* Санкт-Петербург, СПбГУТ, 2023, с. 897–900.
- [9] Ченарани С. Адаптивная персонализация интерфейсов виртуальной реальности с использованием обучения с подкреплением. *Неделя науки инженерно-строительного института-2025. Всерос. конф.: сб. матер.* Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2025, с. 255–257.
- [10] Ченарани С., Волошинов Д.В. Оптимизация взаимодействия в виртуальной реальности: эргономическая оценка движений руки в 3D пространстве. *Неделя науки ИСИ. Всерос. конф.: сб. матер.* Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024, с. 152–154.

