

УДК 004.51

Экспериментальное изучение вергентно - аккомодационного конфликта с применением методов нейроиконики и адаптивной оптики

Стафеев Сергей Константинович^{1,2}

stafeevs@yahoo.com

Шаров Даниил Дмитриевич^{2(*)}

d.sharov@spbu.ru

SPIN-код: 5403-9550

¹ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Раскрывается подход к изучению вергентно-аккомодационного конфликта, возникающего у пользователей систем дополненной реальности. Рассмотрены условия проявления дискомфорта у пользователя и риски, связанные с его возникновением. Перечислены возможные варианты минимизации данного явления. Использование методов нейроиконики, в сочетании с предложенными техническими решениями, позволяет оценивать ряд эргономических особенностей носимых устройств дополненной реальности, влияющих на удобство и безопасность их использования.

Ключевые слова: вергентно-аккомодационный конфликт, носимые устройства дополненной реальности, бинокулярные соперничество

Experimental study of vergence - accommodation conflict using neuroiconics and adaptive optics methods

Stafeev Sergey Konstantinovich¹

stafeevs@yahoo.com

Sharov Daniil Dmitrievich^{2(*)}

d.sharov@spbu.ru

SPIN-code: 5403-9550

¹ ITMO University, Saint Petersburg, Russia

² Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The study explores an approach to investigating the vergence-accommodation conflict experienced by users of augmented reality systems. The conditions under which user discomfort arises and the associated risks are examined. Possible strategies for minimizing this phenomenon are outlined. The application of neuroiconics methods, in combination with the presented optical setups, enables the assessment of various ergonomic characteristics of wearable augmented reality devices that influence their usability and safety.

Keywords: vergence-accommodation conflict, wearable augmented reality devices, binocular rivalry

Введение. Устройства дополненной реальности призваны расширить возможности человека к получению и усвоению информации в окружающем мире. Несмотря на доступность и широкое разнообразие таких устройств, их высокому вычислительному потенциалу и возможность вывода релевантной информации пользователю, остается важный вопрос, касающийся удобства и безопасности подобного рода взаимодействия. Существуют конструктивные особенности устройств дополненной реальности (AR), вызывающие дискомфорт пользователя: в связи с невозможностью удаления экрана AR-устройств на расстояние демонстрируемого объекта, возникает вергентно-аккомодационный (ВАК) конфликт [1]; необходимость наблюдения близко расположенных от пользователя объектов приводит к возникновению бинокулярного соперничества; монокулярное наблюдение приближающихся реальных объектов приводит благодаря аккомодационному механизму к субъективному уменьшению наблюдаемого в AR виртуального изображения.

Существует принципиальное различие в восприятии AR-контента в устройствах с проекцией на HUD-дисплей и в носимых HMD-гарнитурах. Воспринимая «фиксированный» AR посредством HUD дисплея, пользователь наблюдает один источник информации двумя глазами, что позволяет ему чувствовать себя более естественно. Однако при просмотре дополненной реальности в носимых HMD устройствах, цифровой контент проецируется отдельно на каждый глаз или на один глаз. Это усложняет процесс восприятия: сужается поле зрения, требуется более точная фокусировка, технически система дополняется рядом сложных оптических элементов. С другой стороны, вес таких устройств меньше, и они мобильны, а представляемая информация является более индивидуальной. Описываемые ниже эксперименты проводились для оценки влияния этих факторов, а также для выявления индивидуальных пользовательских особенностей при восприятии информации дополненной реальности.

Материалы и методы. В ранее опубликованных работах было начато изучение вопроса ВАК конфликта, путем создания имитации HUD дисплея [2]. Такая установка, схема которой представлена на рис. 1, позволила провести эксперименты по контролю внимания при симуляции вождения, оценке усталости при проведении фланговой задачи Эриксона [3]. В последнем случае использовались методы айтрекинга и ЭЭГ для отслеживания психофизиологических показателей, являющихся коррелятами усталости. Разработанный HUD дисплей позволяет изменять расстояние между проекционным дисплеем и дисплеем, имитирующим реальный мир, что давало возможность менять величину ВАК конфликта, а именно отличия в расстоянии фокусировки на реальном и проекционном дисплее.

Следующим шагом в работе с дополненной реальностью стало изучение пользователей носимых AR-устройств HMD. В нашем распоряжении оказались очки, выполненные по зеркальной технологии birdbath, с двумя дисплеями, размещенными между полупрозрачными отражателями и линзами. Их принципиальная схема представлена на рис. 2.



Рис. 1. Принципиальная схема собранного проекционного HUD дисплея

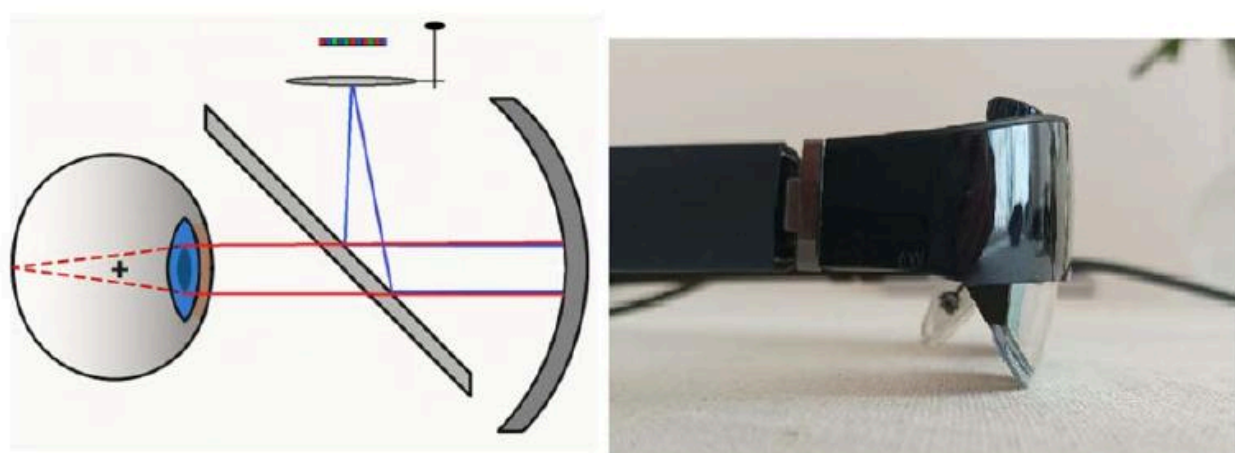


Рис. 2. Схема расположения элементов очков AR, выполненные по зеркальной технологии birdbath

В данном эксперименте собирались данные, которые включали в себя возраст испытуемого, уровень остроты зрения, ведущий глаз, а также четыре базовых параметра: расстояние до видимого объекта в бинокулярном режиме, монокулярное расстояние до видимого объекта для левого и правого глаза, а также расстояние, при котором возникает двоение изображения, вследствие бинокулярного соперничества. Для определения вышеуказанных параметров экспериментатор перемещался с прямоугольной плоскостью перед испытуемым и вел опрос его перцептивных ощущений в отношении расстояния до наблюдаемого цифрового объекта.

На текущем этапе производится оценка первых результатов для корректировки методики эксперимента. Например, с целью более детального изучения глазной кинематики, в ситуации регулярной перефокусировки испытуемого на разные объекты, был разработан механизм на основе адаптивной оптики — зеркала переменной кривизны. Предполагается, что использование адаптивной оптики позволит более точно измерять и минимизировать эффекты ВАК у пользователей AR-устройств.

Данное устройство имеет общие принципы работы с глазами эргометрами, используемыми в офтальмологии и способными испытывать различные

участки мышц глазодвигательного аппарата, однако разработанный вариант способен, в отличие от имеющихся на рынке приборов, работать с большими расстояниями, а также менять геометрические размеры наблюдаемых объектов. Особенности работы такого устройства представлены на рис. 3.

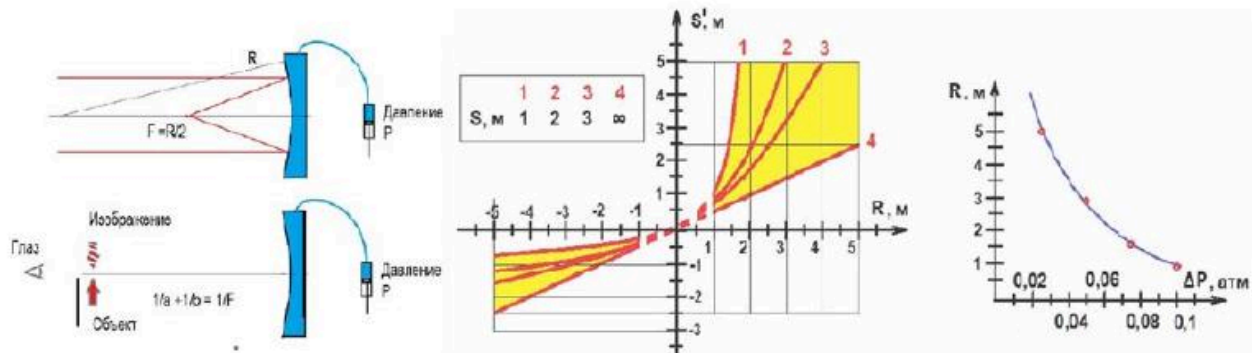


Рис. 3. Определение дистанции до изображения при заданной кривизне зеркала

Данная разработка позволяет в широких пределах варьировать дистанцию от наблюдателя до мнимого изображения объекта, одновременно фиксируя изменения координат центров зрачков обоих глаз относительно опорных эллипсов. Для исследования особенностей восприятия человеком различных систем AR необходимо иметь возможность совмещать виртуальную цифровую информацию (тексты, инфографика, полноцветные изображения и т. п.) с панорамой реального окружающего трехмерного пространства различной глубины [4]. В частности, одной из актуальных задач может быть сравнительное исследование AR-очков различных типов или систем с проекцией на поверхность шлема или ветрового стекла в условиях одновременного наблюдения за наиболее важными реальными объектами, находящимися на варьируемых дистанциях — от ближнего плана до значительно удаленных [5].

Исследования подобного рода являются весьма актуальными по многим причинам, в том числе из-за отмеченного в ряде отечественных и зарубежных работ возможного конфликта между системой аккомодации каждого глаза, определяющей плоскость фокусировки его хрусталика, и механизмом конвергенции зрительных осей обоих глаз, который напрямую связан с восприятием трехмерных сцен. Считается, что такой конфликт может быть основной причиной снижения комфортности работы в гарнитурах AR, возникновения усталости зрительной системы или даже головных болей [6].

Результаты. Несмотря на наличие первых результатов, окончательная обработка данных остается предметом работы авторов. В эксперименте по изучению внимания испытуемых при симуляции вождения, было установлено, что имеющие водительский опыт участники эксперимента реагировали на дорожные события, а также задаваемые вопросы, без значимых вариаций коррелятов стресса, таких как изменение диаметра зрачка. Эти результаты разделили испытуемых на две группы. Более того, участники со специфическими особенно-

стями: имеющие права, но не имеющие опыта вождения и имеющие опыт вождения, но не имеющие прав, вошли в соответствующие их опыту группы. Результаты показали оправданность использования созданной установки HUD, имитирующей водительский опыт, хотя данный эксперимент учитывал лишь данные айтрекинга и опроса, проводимого во время эксперимента.

В следующем эксперименте ключевым был процесс решения испытуемыми фланговой задачи в дополненной реальности. Здесь стояла задача соединения данных с айтрекера и ЭЭГ. На текущий момент, результаты по отдельности демонстрируют сходство с аналогичными работами, проведенными другими авторами [7]. Также фиксируется увеличенные амплитуды вызванных потенциалов в условиях дополненной реальности. Это может свидетельствовать о более активной на работе мозга при решении задачи в условиях AR. Авторы продолжают анализировать полученные результаты.

Окончательный эксперимент, проведенный в рамках текущей серии, был связан с носимым устройством дополненной реальности, на котором испытуемый наблюдал изображение. Задачей было определить расстояние, на котором участники видят его. Результаты показали, что наиболее важный фактор, влияющий на расстояние обзора объекта — это офтальмологические особенности зрения испытуемого. Благодаря возможности подстройки фокусного расстояния линзы очков, испытуемые могли с комфортом наблюдать изображение на экране, однако испытуемые с плохим зрением видели окружающую среду нерезко. В связи с этим, многие испытуемые с близорукостью чаще оценивали расстояние до изображения ближе по сравнению с испытуемыми с нормальным зрением, или дальнозоркостью.

Следующий результат эксперимента заключался в том, что при монокулярном наблюдении изображения в AR-очках, испытуемым было гораздо труднее определить расстояние до наблюдаемого объекта. Это связано с тем, что в основном мозг использует бинокулярный механизм для определения расстояния до объекта, а в данном случае человеку приходилось полагаться на иные механизмы. Более того, было замечено, что при расстоянии ближе 50 см, возникал эффект субъективного уменьшения наблюдаемого объекта. Это связано с работой глазодвигательных мышц при рассмотрении близких объектов. Поскольку испытуемым приходилось соотносить цифровой контент с реальным миром, глаза подстраивались под реальный мир и цифровой контент видоизменялся по причине перестройки аккомодации глаза. Несмотря на указание наблюдать за цифровым объектом, глаз естественным образом подстраивался под окружающую среду и объект, в соответствии с теорией, казался уменьшенным [8]. С одной стороны, это затрудняло процесс измерения кажущегося расстояния, с другой, — данный результат для авторов казался примечательным, поскольку в случае с носимыми AR-устройствами монокулярного типа, возрастает влияние окружающей среды на воспринимаемые цифровые объекты.

В рамках данного эксперимента был также выявлен эффект бинокулярного соперничества, выражающийся в двоении изображения при наблюдении

объектов окружающего мира. Что особенно важно, для многих испытуемых это значение было часто больше, чем расстояние до наблюдаемого объекта. Это показывает, что в ситуациях сравнительно ограниченного пространства, требующих активного взаимодействия с реальным миром, очки, выполненные по зеркальной технологии birdbath, могут отрицательно влиять на пользовательский опыт, вызывая диплопию.

Обсуждение полученных результатов. Авторы видят необходимость проведения более точного эксперимента в очках AR с применением вышеописанного метода с использованием адаптивного зеркала, способного облегчить процесс определения расстояния до объекта. В таком случае испытуемые могли бы самостоятельно, более точно, оценивать расстояние, что, в свою очередь, должно привести к возрастанию точности данных. Кроме того, планируется использовать авторефрактометр для более точного определения остроты зрения и повышение достоверности полученных результатов [9]. Несмотря на существующие у AR-очков с зеркальной технологией birdbath ограничения, они остаются перспективной и сравнительно бюджетной технологией создания AR среды. Более того, при условии «подстройки» изображения при наблюдении пользователем близкорасположенных объектов, возможно минимизировать, или даже исключить вышеописанные проблемы.

Заключение. Развитие AR-технологий вскоре приведет к изменениям на рынке персональных устройств. Проведенные эксперименты показали, что использование таких устройств оправдано позволяет не только дополнять, но и улучшать условия взаимодействия человека с цифровым контентом. Беря во внимание возникающие физиологические трудности пользователей AR-устройств, производители смогут преодолеть существующие ограничения и создать готовые рыночные продукты высокого качества.

Список источников

- [1] Kramida G. Resolving the Vergence-Accommodation Conflict in Head-Mounted Displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2016, vol. 22, pp. 1912–1931. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2015.2473855>
- [2] Подвигина Д.Н., Пустынников И.П., Шаров Д.Д. ЭЭГ-корреляты процессов выполнения фланговой задачи в условиях дополненной реальности. *Психология познания. Всерос. науч. конф. памяти Дж.С. Брунера: материалы*. Ярославль, ЯГУ им. П.Г. Демидова, 2024, с. 242–245.
- [3] Eriksen C.W. The flankers task and response competition: A useful tool for investigating a variety of cognitive problems. *Visual Cognition*, 1995, vol. 2, no. 2–3, pp. 101–118. <https://doi.org/10.1080/13506289508401726>
- [4] Azuma R.T. et al. The challenge of making augmented reality work outdoors. *Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. Springer-Verlag, 1999, vol. 1, pp. 379–390. https://doi.org/10.1007/978-3-642-87512-0_21
- [5] Diaz C. et al. Designing for depth perceptions in augmented reality. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. IEEE, 2017, pp. 111–122. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2017.28>
- [6] Kim J. et al. Assessing vergence-accommodation conflict as a source of discomfort in stereo displays. *Journal of Vision*, 2011, vol. 11, no. 11, art. no. 324. <https://doi.org/10.1167/11.11.324>

- [7] Amin R., Tat P., Seitz A. Validation of a virtual reality flanker task. UC Riverside Undergraduate Research Journal Submit, 2023, vol. 17, no. 1. <https://doi.org/10.5070/rj517162167>
- [8] Heinemann E.G., Tulving E., Nachmias J. The Effect of Oculomotor Adjustments on Apparent Size. The American Journal of Psychology, 1959, vol. 72, no. 1, pp. 32–45. <https://doi.org/10.2307/1420209>
- [9] Koulouris G.-A., Bui B., Banks M.S., Drettakis G. Accommodation and Comfort in Head-Mounted Displays. ACM Transactions on Graphics, 2017, vol. 36, no. 4, art. no. 87. <https://doi.org/10.1145/3072959.3073622>