

Измерение феномена присутствия с помощью счётчика разрыва присутствия

Н.В. Авербух¹, Н.С. Провков², И.С. Стародубцев²

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, ул. Мира 19, Екатеринбург, 620002, Россия

² Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, Софьи Ковалевской, д. 16, Екатеринбург, 620108, Россия

Аннотация

В работе представлена методика оценки состояния присутствия для сред виртуальной реальности на основе метода счётчика присутствия. Счётчик присутствия основывается на подсчете перерывов в присутствии: моментов, когда испытуемый только что переживал присутствие, субъективно находился внутри виртуальной реальности, но это состояние было прервано, и испытуемый ощутил себя в обычной реальности, в лаборатории. Приводится обобщенная математическая модель, основанная на марковских случайных процессах, позволяющая рассчитывать вероятность состояния присутствия на основе дискретных данных и использующая непрерывное время. Также приведено описание пилотного эксперимента в виртуальной реальности, проведенного для проверки описанной методики. В рамках пилотного эксперимента испытуемые передвигаются по виртуальному азиатскому парку и стреляют в увиденные ими круглые вазы. Ведется подсчет попаданий. Также испытуемым включают звуковые дистракторы – сигналы, которые возвращают их из состояния V (ощущения себя в виртуальной реальности) в состояние R (ощущение себя в обычной реальности), фактически, стимулируя перерывы в присутствии. Обсуждаются результаты пилотного исследования и его перспективы.

Ключевые слова

Виртуальная реальность, феномен присутствия, марковские цепи, перерыв в присутствии.

Measuring the Phenomenon of Presence with a Break-in-Presence Counter

N.V. Averbukh¹, N.S. Provkov², I.S. Starodubtsev²

¹ Ural Federal University, 19 Mira street, Yekaterinburg, 620002, Russia

² N.N. Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics (IMM UB RAS), 16 S.Kovalevskaya Str., Yekaterinburg, 620108, Russia

Abstract

The paper presents a methodology of presence state estimation for virtual reality environments based on presence counter method. The presence counter is based on counting breaks in presence: moments when the subject just experienced presence, was subjectively inside virtual reality (state V), but this state was broken, and the subject felt himself in ordinary reality, in the laboratory (state R). A generalized mathematical model based on Markov random processes is given, which allows to calculate the probability of presence state on the basis of discrete data using continuous time. The description of a pilot experiment in virtual reality, conducted to verify the described methodology. As part of a pilot experiment, subjects move around a virtual Asian park and shoot at round vases they see. The hits are being counted. Also, sound distractors are turned on for the subjects - signals that return them from state V (the sence of being in virtual reality) to state R (the sence of being in ordinary reality), in fact, stimulating breaks in presence. The results of the pilot study and its prospects are discussed.

ГрафиКон 2023: 33-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-21 сентября 2023 г.,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

EMAIL: Natalya_averbukh@mail.ru (Н.В. Авербух); sp_8@list.ru (Н.С. Провков); starodubtsevis@imm.uran.ru (И.С. Стародубцев)

ORCID: 0000-0002-8232-6711 (Н.В. Авербух); 0009-0006-8882-4654 (Н.С. Провков); 0000-0002-3494-4611 (И.С. Стародубцев)



© 2023 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Keywords

Virtual reality, presence phenomenon, Markov chains, break in presence.

1. Введение

При разработке и использовании виртуальных сред встает вопрос о феномене присутствия в виртуальной среде, сопровождающем опыт пребывания в ней. Невозможно однозначно предсказать, возникнет ли феномен присутствия при взаимодействии конкретного пользователя с конкретной средой. Также неизбежно встает вопрос об измерении феномена присутствия. Под феноменом присутствия понимается переживание, при котором человек ощущает себя внутри виртуальной среды так, как если бы она была реальной и он мог бы физически взаимодействовать с ее объектами.

Традиционно используются поведенческие, физиологические и субъективные методы измерения присутствия. У каждого из этих методов есть свои достоинства и недостатки. Так, например, поведенческие и физиологические относительно объективны, позволяют измерять присутствие непосредственно в момент его переживания, однако измеряют, фактически, не само присутствие, а возникающее в виртуальной среде переживание страха. Субъективные методы вынуждают исследователя доверять оценке испытуемым своего состояния, кроме того, используются постфактум, когда переживание присутствия фактически уже закончилось.

Предложенный М. Слейтером и А. Сидом счетчик присутствия, основанный на математической модели марковской цепи, позволяет измерить присутствие в момент его непосредственного переживания, при этом метод не зависит от страха, стресса и беспокойства. В данной работе показаны этапы создания экспериментальной виртуальной среды и подход к обработке результатов на основе данных, полученных в ходе пилотажного исследования.

2. Проблема измерения феномена присутствия

2.1. Поиск валидной меры присутствия

Присутствие рассматривается как измеряемый феномен [1, 2]. Измеряемость присутствия ставит вопрос о валидной мере присутствия. Мера присутствия необходима для того, чтобы установить, действительно ли присутствие увеличивает взаимодействие с системой виртуальной среды, и лучше понять факторы, которые могут управлять этим феноменом [3].

Для измерения присутствия применяются поведенческие, физиологические и субъективные методы.

При использовании поведенческого метода отслеживается само поведение пользователя, например, заслоняется ли пользователь, когда какой-либо предмет брошен ему в голову [1-4]. Таким образом, при использовании поведенческих методов мерой присутствия становится количество поведенческих актов, свидетельствующих о том, что пользователь воспринял виртуальную среду как реальную.

В ходе применения физиологических методов исследователи фиксируют изменение пульса, температуры кожи, кожно-гальваническую реакцию, частоту дыхания и другие. Экспериментатор смотрит, напрягается ли человек в вызывающей напряжение ситуации в виртуальной среде [1-5]. Авторы работы [4] утверждают, что физиологические методы исследуют не сам феномен присутствия, а его физиологические детерминанты. Так, последствием переживания феномена присутствия в пугающей среде будет испуг, который, в свою очередь, вызовет соответствующие физиологические изменения: повышение частоты пульса, измерение кожно-гальванической реакции, которые и будут зафиксированы исследователем. Если виртуальная среда проектируется для работы, то там, очевидно, не будут пугать человека только для того, чтобы проверить, появилось ли у него ощущение присутствия. Также в работе [6] утверждается, что физиологические меры наиболее действенны в вызывающих стресс средах, поэтому их показатели могут зависеть не от уровня присутствия, а от уровня стресса. Это делает объективные методы ненадежными.

Аналогичное мнение высказано и исследователем М. Слейтером [7]. По его мнению, использование поведенческих мер присутствия, таких как реакция на внезапное появление

объекта, требует событий в среде, которые могут не иметь ничего общего с программой и техникой. Физиологические измерения используют в случаях, когда среда вызывает тревогу (например, при приближении испытуемого к яме), но именно поэтому они подходят только для очень небольшого числа приложений. Какая физиологическая реакция может произойти при наблюдении за виртуальным стулом, комнатой или палубой корабля? Таким образом, измерение присутствия с помощью фиксации физиологических реакций опирается на конкретные события или объекты в виртуальной среде, поэтому такой метод не предлагает общего решения.

Преимущество субъективных мер присутствия состоит в легкости применения и интерпретации. Главный же их недостаток – проблема воспроизводимости и однородности результатов. Участники должны понять концепцию того, чем «является» присутствие и однородно интерпретировать вопросы. Психометрические разработчики должны гарантировать, что инструмент измерения измеряет «присутствие» в целом, а не только факторы, от которых оно зависит [3].

Субъективные методы измерения присутствия делятся на качественные и количественные [8,9]. Количественные методы в основном представлены опросниками присутствия [10, 11]. Анкеты и опросники, измеряющие присутствие, изначально разработаны на основе определенных теоретических представлений о концепции присутствия. В свою очередь, меры используются для уточнения теорий, на которых они основаны. Методы математической статистики (например, факторный анализ), показывают, что в сообщаемых субъективных ощущениях присутствия есть несколько основных компонентов, и что эти компоненты взаимосвязаны. Отношения между этими компонентами и концепцией присутствия зависят от используемого определения присутствия. Кроме того, найденные компоненты в значительной степени зависят от первоначального объема исследования и соответствующей анкеты [12]. Таким образом, результаты опросников присутствия прямо зависят от того, какая теория присутствия положена в его основу.

2.2. Счётчик присутствия, основа

В начале XXI века М. Слейтер определил понятие «присутствия» как механизм выбора, который организует поток сенсорных данных в гештальт окружающей среды или гипотезу восприятия о текущей среде. Конкретный гештальт окружающей среды приводит к сканированию восприятия мира по определенному шаблону, напоминающему саккады и фиксации в путях сканирования глаза. Гипотеза об окружающей среде постоянно проверяется, иначе происходит перерыв в присутствии [7]. На основе такого определения им был предложен подход к измерению присутствия, основывающийся на измерении перерывов в присутствии.

М. Слейтер высказал мысль о том, что вопрос присутствия интересен только тогда, когда есть конкурирующие сигналы как минимум из двух сред. Если (каким-то образом) испытуемый получает сигналы только из одной среды, то по определению, испытуемый присутствует в этой среде. Как показано в работе [8], присутствие – парадокс между знанием о том, что виртуальная реальность – только иллюзия, и перед человеком нет, скажем, ямы, которую он видит, – и реакцией на объекты среды как на настоящие, причем как на бессознательном уровне, вплоть до непроизвольных физиологических реакций, так и на сознательном (осознание страха). Присутствие происходит, когда происходит успешная замена реальных сенсорных данных на сенсорные данные, сгенерированные компьютером, причем это должно происходить таким образом, чтобы люди могли участвовать в обычных двигательных действиях для выполнения действий. То есть человек реагирует на виртуальные стимулы способом, аналогичным тому, как он реагировал бы на соответствующие реальные стимулы. Ответ должен рассматриваться на каждом уровне, от бессознательного физиологического поведения, через автоматические реакции, сознательное волевое поведение, до когнитивной обработки – включая чувство «быть там». Признаком присутствия в виртуальной среде является то, что люди реагируют на ситуации и события, как если бы они были реальными, при этом реакция может рассматриваться на многих разных уровнях, от бессознательных физиологических реакций до явного поведения, эмоций и мыслей [9].

М. Слейтером предложено в качестве меры присутствия использовать число переходов от виртуальной среды к реальной в единицу времени. Подробно этот метод изложен в работе [10]. Перерывы в присутствии как мера измерения присутствия были применены в эксперименте, который был предназначен для изучения взаимосвязи между движением тела и присутствием. Результаты, по словам авторов, показывают положительную связь между этими двумя параметрами. Методология использования ViP (Break in Presence) состоит в том, что на основе набора упрощающих предположений создается стохастический процесс в попытке моделировать количество переходов, которые испытывают участники виртуальных сред между двумя состояниями: «присутствие в виртуальной среде» и «присутствие в реальном мире». На основе стохастической модели строится оценка доли времени, проведенного в состоянии «присутствия в виртуальной среде».

В то время как в иммерсивной виртуальной среде участник получает от виртуальной среды непрерывный поток сенсорных данных, преимущественно визуальных, также он получает и слуховые данные от реального мира и, конечно, реальные тактильные и кинестетические данные (например, вес шлема). Иногда сенсорные данные виртуальной среды проявляют сбои, например, когда частота кадров внезапно изменяется (например, появляется более сложная часть сцены) или когда крупный план объекта показывает отображение его текстуры. Иногда данные в реальном мире будут вторгаться в опыт виртуальной среды: зазвонит телефон, произойдет внезапное движение воздуха, когда откроется дверь, изменится температура, кабель обмотается вокруг ноги или тела. Иногда внутренние ментальные процессы участников заставляют осознать, что они на самом деле находятся в виртуальной среде, в CAVE-системе или в очках виртуальной реальности, на самом деле в каком-то лабораторном или выставочном зале, а не в иллюзорном месте, представленном им виртуальной средой [10].

Другими словами, в любой момент для каждого человека доступны два альтернативных гештальта, которые испытывают состояние виртуальной среды: V («Я нахожусь на месте, изображенном системой виртуальной реальности»), и состояние R («Я в лаборатории в здании компьютерной науки, в шлеме»). В каждый момент индивид будет стремиться к одному, а не к другому. Нахождение в виртуальном присутствии в виртуальной среде можно рассматривать как степень, в которой предпочтение отдается интерпретации V [10]. Однако в ходе опыта нахождения в виртуальной среде, как и предполагалось, индивидум, как правило, испытывает переходы между состояниями V и R .

Интересны моменты, при которых индивид переключается от одной интерпретации к другой, в частности, $V \rightarrow R$. Невозможно просить участников сообщать о переходах $R \rightarrow V$, потому что это потребует от них немедленного выхода из состояния присутствия. Тем не менее, утверждается [10], их можно попросить сообщить о переходах $V \rightarrow R$. Таким образом, получается, что, раз для того, чтобы почувствовать прерывание присутствия, надо перед этим чувствовать присутствие (иначе нечему будет прерываться), в таком случае сообщение о ViP помогает определить и факт самого переживания присутствия.

В своей работе М. Слейтер и Э. Стид привели математические выкладки, позволяющие при помощи математического аппарата марковских цепей вывести формулу расчета переживаемого присутствия в зависимости от сообщаемых ViP, причем формула имеет модификацию для условий, предполагающих высокое присутствие, и для условий, предполагающих низкое присутствие [10].

В условиях низкого присутствия предполагается, что участник виртуальной среды сперва не чувствует присутствие, потом в некий интервал времени все-таки чувствует и вскоре после этого происходит прерывание присутствия (ViP) и в следующий временной интервал участник присутствия не испытывает. Таким образом, нет двух последовательных состояний, в которых человек сообщал бы о ViP, и предполагается, что во всех интервалах времени, в которых неизвестно состояние, участник не испытывает присутствие.

При условиях высокого присутствия предполагается, что человек практически все время испытывает присутствие, которое иногда прерывается (и тогда он сообщает о ViP), но после этого он снова испытывает присутствие. Таким образом, во всех интервалах времени, в которых неизвестно состояние, участник испытывает присутствие.

Для проверки этой меры присутствия был использован эксперимент, в котором участникам предлагалось ознакомиться с виртуальными трехмерными шахматами, двигаясь вокруг

виртуального шахматного стола. Участники эксперимента получали задание трогать различные элементы показанной сцены. Они проходили через виртуальную прихожую в виртуальное поле, где стоял шахматный столик, и получили инструкции, в одной группе – касаться фигуры виртуальной мышью, в другой группе – при виде определенной фигуры нажимать физическую кнопку. Таким образом, участники были разделены на группу с высокой и с низкой активностью. Также они были проинструктированы сообщать обо всех ситуациях ViP. Лаборатория виртуальной реальности находилась в маленькой закрытой комнате в большой лаборатории, в которой был постоянно слышен шум (постоянный шум рабочих станций и случайный шум случайных телефонных звонков или разговоров). Не было предпринято никаких попыток уменьшить фоновый шум или дополнительно изолировать комнату виртуальной реальности от остальной части лаборатории: экспериментаторы интересовались, будут ли фоновые события вызывать переходы $V \rightarrow R$ [10].

Рассматриваемая модель предполагает дискретное время, присутствие рассматривается как бинарное явление (есть переживание присутствия – нет переживания присутствия). Также используется предположение, что требование сообщать о ViP не увеличивает вероятность возникновения ViP, однако эксперимент показал, что это не так. Необходимость определять, были ли условия низкого или высокого присутствия, ставит исследователей перед необходимостью задавать вопрос-дискриминатор, касающийся оценки каждым участником того, находились ли они в состоянии присутствия в течение более или менее половины времени. Это делает метод оценки присутствия с помощью ViP зависящим от субъективного мнения испытуемых.

3. Апробация счётчика присутствия на русскоязычной аудитории

В рамках исследования [11] счетчик присутствия был апробирован на русскоязычной аудитории. На основании времени, в которое произносились сигналы, рассчитывалась вероятность присутствия по формуле, предложенной в статье М. Слейтера и А. Стида [10]. В отличие от указанной работы были использованы временные интервалы, равные 5, 10 и 20 секундам, а также математическая модель, использующая непрерывное время.

В качестве сигнала о перерыве в присутствии, использовалось слово «Здесь!», произносимое испытуемыми в момент перерыва в присутствии. Для валидации метода использовался опросник присутствия ITC-SOPI [12]. Данный опросник основан на четырех факторах, превращенных в шкалы:

- чувстве физического пространства (Sense of Physical Space);
- участия (Engagement);
- экологической обоснованности (Ecological Validity);
- отрицательных эффектов (Negative Effects).

Как указано в [12], главные детерминанты первого фактора, «Ощущение физического пространства» – это переменные медиа-формы, то есть свойства виртуальной среды. Авторы упоминают интересный факт: хотя при использовании приставки для компьютерных игр среда охватывала относительно небольшое поле зрения, а уровень фотореализма был низким, респонденты дали относительно высокие оценки ощущения физического пространства. Это говорит о том, что способность контролировать и манипулировать аспектами отображаемой среды (даже используя простейшие контрольные устройства) усиливает ощущение физического нахождения в этой среде. Поэтому переменные медиаформ могут взаимодействовать компенсирующим образом.

Вопросы, исследующие второй фактор, «Участие», касаются возбуждения и эмоциональности. Один из них напрямую спрашивает о привлекательности контента. Ответы на них, вероятно, будут зависеть от содержания медиа, но также и будут усиливаться формой медиа. Например, сцена с быстро едущим автомобилем, который участвует в ралли (с видом от первого лица), вероятно, возбуждает сама по себе, но она, вероятно, будет более возбуждающей,

когда представлена на большом экране с объемным звуком и обратной связью по мере движения. Таким образом, участие может определяться как содержанием медиа, так и переменными формы медиа.

Вопросы, которые исследуют третий фактор, «Экологическая обоснованность», касаются правдоподобности и реалистичности содержания, а также естественности и прочности окружающей среды. Следовательно, количество, степень и последовательность сенсорной стимуляции (переменные формы медиа), по мнению авторов, вероятно, улучшат воспринимаемую естественность и, в свою очередь, увеличат оценки по этой шкале. Высокая иммерсивность формы медиа (то есть насколько высокое погружение она позволяет испытать), дает более высокую экологическую обоснованность и, чем выше иммерсивность, тем меньше влияние содержания на восприятие достоверности, реалистичности и естественности. Разница в фотореализме также должна приводить к различиям по шкале экологической обоснованности. В ходе исследований именно образец компьютерной игры получил самые низкие оценки по сравнению с другими образцами медиа по экологической обоснованности.

Вопросы, исследующие четвертый фактор, «Отрицательные эффекты», касаются собственно переживаний негативного воздействия виртуальной среды: головная боль, напряжение глаз, усталость. Ответы на них в первую очередь связаны с применяемой аппаратурой. Также на отрицательные эффекты может повлиять содержание: если оно воспринимается как скучное, испытуемый может дать соответствующие оценки усталости или даже головной боли.

Шкалы, основанные на этих факторах, использовались для валидации счетчика присутствия, который рассчитывался на основании моментов, в которое произносились сигналы о перерывах в присутствии. Как и в статье [10], в рамках данной работы используется математическое понятие марковских цепей. Согласно математической работе Л. Б. Коралова и Я. Г. Синая [13] стационарное распределение существует и, кроме того, цепь Маркова сходится к нему экспоненциально. Подход, предложенный в [10], предполагает решение обратной задачи: стационарное распределение вычисляется с использованием информации о наличии перерывов в присутствии, а затем строится матрица переходных вероятностей, которая дает меру присутствия. При этом рассматривается два случая, предполагающие условия низкого и высокого присутствия. Условия низкого присутствия означают, что испытуемый покидает состояние присутствия V , как только достигает его, то есть перерыв в присутствии следует сразу же за моментом, в который испытуемый только начинает переживать присутствие. Условия высокого присутствия означают, что состояние «неприсутствия» R покидает участника, как только участник его достигает, то есть сразу после перерыва в присутствии испытуемый снова чувствует присутствие.

Согласно предложенной М. Слейтером и А. Сидом формуле, пусть $p_L(b)$ – вероятность присутствия, соответствующая стационарному распределению, для условий низкого присутствия при дискретном времени [10].

$$p_L(b) = \frac{b-k}{n-1}, \quad (1)$$

где

- b – количество ViP,
- n – количество временных интервалов.
- k – количество «ближних ViP», то есть ViP в соседних временных промежутках.

Тогда $p_H(b)$ – вероятность присутствия для условий высокого присутствия при дискретном времени будет иметь следующий вид:

$$p_H(b) = \frac{n-1-b}{n-1}, \quad (2)$$

где

- b – количество ViP,
- n – количество временных интервалов.

Этот подход был расширен в работе [11]. За основу было взято предположение непрерывности времени, что больше соответствует реальным условиям.

Предполагается, что вероятности перехода $V \rightarrow R$ и обратно за промежуток времени τ зависят только от длины этого промежутка и состояния в начальный момент этого промежутка. Здесь предполагается отсутствие у системы памяти и однородность процесса перехода из состояния в состояние по времени.

В этом случае удобно рассмотреть модель однородной марковской цепи с непрерывным временем, при этом у этой модели основным объектом являются скорости перехода из состояния в состояние. Эргодическая теорема [13] для марковских цепей с непрерывным временем говорит, что существует стационарное распределение вероятностей нахождения в состояниях V и R .

Следуя работам группы М. Слейтера, предполагается, что переходные вероятности могут быть оценены на основании эксперимента, а известное из теории марковских цепей уравнение на стационарное распределение вероятностей нахождения в состояниях V (присутствия) и R («неприсутствия») позволит рассчитать вероятности нахождения в состояниях V и R . Также, рассматриваются два случая – случаи высокого и низкого присутствия. В случае высокого присутствия предполагается, что Q_{RV} , скорость перехода из состояния R в состояние V равна некоторой константе μ . Таким образом предполагается, что характерным временем перехода $R \rightarrow V$ (восстановлением состояния присутствия в виртуальной реальности) является μ^{-1} . Выбор параметра μ является произвольным. В настоящей работе выбор μ оптимизируется на основе валидации полученных результатов относительно опросника ITC-SOPI. В теории марковских цепей постулируется, что

$$Q_{RR} = -Q_{RV}, \quad (3)$$

Следовательно, $Q_{RR} = -\mu$.

Оценка параметра Q_{VR} то есть перехода $V \rightarrow R$ проводится на основе экспериментальных данных, следующим образом. Весь интервал наблюдения разбивался на $T * \mu$ интервалов, где T – это общее время. Предполагается, что характерное время интервала μ^{-1} . На основании предположения, что переходы независимы, была использована схема независимых испытаний Бернулли, в которой успехом считалось состояние R . Число интервалов, в которых имело место состояние R , оценивалось как $b - k$, где b – это общее число перерывов в присутствии, а k – это число количество попаданий следующих перерывов в присутствия в интервал μ^{-1} от предыдущего. Поскольку общее количество интервалов есть $T * \mu$, в качестве Q_{VR} выбрана величина

$$Q_{VR} = \frac{(b-k)}{T*\mu}. \quad (4)$$

Из выражения для стационарной вероятности [13], следует, что

$$\pi_R Q_{RR} + \pi_V Q_{VR} = 0. \quad (5)$$

Здесь π_R, π_V – стационарные вероятности неприсутствия (R) и присутствия (V). Также поскольку $\pi_R + \pi_V = 1$, с использованием выведенных значений для Q_{RR} и Q_{VR} выводится формула определения вероятности присутствия в рамках гипотезы высокого присутствия и непрерывного времени

$$\pi_V = \frac{\mu}{\mu + (b-k)/(T*\mu)}, \quad (6)$$

где

- b – количество ViP,
- T – общее время сеанса виртуальной реальности,
- k – количество «близких ViP», то есть ViP в соседних временных промежутках,
- μ – параметр модели, выбираемый из следующих соображений: μ^{-1} – время релаксации, необходимое для восстановления состояния V после перерыва в присутствии.

Далее, π_{LV} – вероятность присутствия для условий низкого присутствия при непрерывном времени.

Если рассмотреть случай низкого присутствия, можно увидеть, что в противоположность случаям высокого присутствия $Q_{VR} = \mu$. Тогда, согласно правилу матрицы Колмагорова, $Q_{VV} = -\mu$. Чтобы определить величину Q_{RV} , мы рассмотрим следующую модель: разобьём общее время

на маленькие интервалы длиной μ^{-1} . Поскольку мы считаем присутствие низким и имеет место указание на b перерывов в присутствии, то есть переходов из состояния присутствия в состояние «неприсутствия» $V \rightarrow R$, то можно считать, что присутствие имело место ровно на b интервалов. Значит, «неприсутствие» было на $(T*\mu - b)$ интервалов и b раз был совершён переход в состояние присутствия. Таким образом вероятность перехода из состояния «неприсутствия» в состояние присутствия есть отношение этих величин: $\frac{b}{T*\mu - b}$.

В данном случае, рассматривается установившееся присутствие. Вероятность состояния присутствия (π_V) и «неприсутствия» (π_R), согласно [13], удовлетворяет следующей системе линейных уравнений:

$$\begin{cases} \pi_V * Q_{VV} + \pi_R * Q_{RV} = 0 \\ \pi_V + \pi_R = 1 \end{cases}, \quad (7)$$

Решение этой системы уравнений даёт уравнение

$$\pi_{LV} = \frac{b}{T*\mu}, \quad (8)$$

где

- b – количество ViP,
- T – общее время сеанса виртуальной реальности,
- k – количество «близких ViP», то есть ViP в соседних временных промежутках.
- μ – параметр модели, выбираемый из следующих соображений: μ^{-1} – время релаксации, необходимое для восстановления состояния R после перехода в присутствие.

В данном случае величина μ подобрана равной 0,05, 0,1 и 0,2, что соответствует времени релаксации, равном 20, 10 и 5 секундам.

Для каждого участника с помощью основанного на ViP счетчика присутствия и ответа на вопрос-дискриминатор рассчитывалась вероятность присутствия. Вопрос-дискриминатор состоял в том, ощущал ли себя участник хотя бы половину времени присутствующим в виртуальной среде или нет. В случае, если участник давал определенный ответ, что все время чувствовал присутствие, то его результат рассчитывался по формуле для условий высокого присутствия. Если участник давал определенный ответ, что не чувствовал или мало чувствовал присутствие, то его результат рассчитывался по формуле для условий низкого присутствия. Если участник не давал определенного ответа, то применялись обе формулы. При анализе результатов рассматривается вопрос о подборе оптимальной формулы для неопределенных случаев.

Описанное в работе [11] исследование показало, что данная методика является валидной методикой для измерения феномена присутствия. Наличие статистически значимой корреляции между счетчиком присутствия и шкалами опросника ITC-SOPI доказывает, что данные методы измеряют одно и то же явление.

Используемые формулы счётчика присутствия варьировались по следующим параметрам:

- время: дискретное или непрерывное;
- временной интервал для дискретного времени: 5, 10 и 20 секунд;
- параметр μ , используемый в формулах, основанных на модели непрерывного времени, равный 0,05, 0,1 и 0,2;
- используемая в модели гипотеза об условиях высокого или присутствия: при использовании гипотезы условий высокого присутствия предполагается, что испытуемый большую часть времени чувствовал присутствие, ощущал себя находящимся в виртуальной среде, в результате перерывов в присутствии «возвращался» в реальную, а после опять чувствовал себя в виртуальной среде; при использовании гипотезы условий низкого присутствия испытуемый большую часть времени чувствовал себя в реальном помещении, иногда всё же воспринимая себя в виртуальной среде, что практически сразу прерывалось перерывом в присутствии.

Для того, чтобы определиться с тем, применять ли при расчете счетчика присутствия формулу, основанную на гипотезе условий низкого или высокого присутствия, использовался вопрос-дискриминатор. Если испытуемый определенно отвечал, что он во время виртуального

сеанса чувствовал себя находящимся в виртуальной среде, то при расчете его результатов всегда применялась гипотеза условий высокого присутствия. Если же испытуемый говорил, что не чувствовал присутствие или чувствовал его мало, то при расчете его результатов всегда применялась гипотеза условий низкого присутствия. Все остальные параметры при расчете счетчика присутствия варьировались произвольно с целью определить оптимальные. Однако часть испытуемых не давала определенный ответ на вопрос-дискриминатор. Для таких испытуемых применялись обе гипотезы, и условий высокого, и условий низкого присутствия. Таким образом, кроме вопроса о модели времени, оптимального временного интервала и параметра μ , ставился вопрос также о подборе оптимальной гипотезы, а именно, гипотезы условий низкого или высокого присутствия для тех испытуемых, которые не смогли определиться с ответом на вопрос-дискриминатор.

Наиболее чувствительной к переживанию «Ощущения физического присутствия» и «Экологической обоснованности», шкалам опросника ITC-SOPI, являются:

- формула счётчика присутствия, рассчитанная для модели дискретного времени и условий низкого присутствия для испытуемых, затруднившихся с ответом на вопрос-дискриминатор, со временным интервалом, равным 5 секундам;
- формула счётчика присутствия, рассчитанная для модели непрерывного времени и условий низкого присутствия для испытуемых, затруднившихся с ответом на вопрос-дискриминатор, с параметром $\mu = 0,05$.

Данные формулы дали наибольшую корреляцию с указанными шкалами. При этом данные формулы нечувствительны к переживаниям, измеряемым шкалами «Участие» и «Отрицательные эффекты».

Чувствительность к шкале «Участие» даёт применение формулы счётчика присутствия, рассчитанной для модели непрерывного времени и условий высокого присутствия для испытуемых, затруднившихся с ответом на вопрос-дискриминатор, с параметром $\mu = 0,05$. Она также чувствительна и к шкалам «Ощущения физического присутствия» и «Экологической обоснованности», хотя и в меньшей степени, чем две вышеупомянутые формулы.

Таким образом, если для оценки феномена присутствия в конкретной среде критичными будут такие аспекты, как ощущение физического присутствия и экологическая обоснованность, то оптимальным вариантом будет использовать

- формулу, основанную на модели дискретного времени для временного интервала, равного 5 секундам, применяя к испытуемым, не определившимся с ответом на вопрос-дискриминатор гипотезу об условиях низкого присутствия;
- формулу, основанную на модели непрерывного времени с использованием параметра $\mu = 0,05$, применяя к испытуемым, не определившимся с ответом на вопрос-дискриминатор гипотезу об условиях низкого присутствия.

Если же важным будет связь переживания феномена присутствия с участием в событиях среды, то оптимальным вариантом будет формула, основанная на модели непрерывного времени с использованием параметра $\mu = 0,05$, применяя к испытуемым, не определившимся с ответом на вопрос-дискриминатор гипотезу об условиях высокого присутствия.

Применение данных формул позволит в дальнейшем оценивать феномен присутствия по впечатлениям, полученным во время виртуального опыта, а не постфактум, как это позволяют другие субъективные методы.

4. Новый этап в использовании счётчика присутствия

Несмотря на интересные результаты, полученные в [11], у программы, используемой для апробации счетчика присутствия, были также и некоторые недостатки. В частности, многие испытуемые указывали на отсутствие звуков, а также на то, что вазы, на которые они указывали в ходе прогулки по виртуальному парку, оставались на месте, что затрудняло определение момента попадания «выстрела» в вазу и вынуждало повторять «выстрелы».

Поэтому была разработана новая версия программы. Как и в прежней версии, виртуальная среда представляла собой азиатский парк, пример показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид виртуальной сцены

Участников также просили указать свое имя, предлагали надеть очки виртуальной реальности, и, увидев с их помощью виртуальную среду, следовать по открывшейся местности. В этом парке испытуемые должны были «стрелять» в расположенные по пути следования специально подобранные объекты – невысокие округлые вазы, показанные на рисунке 2. В ходе выстрела пистолет выпускал луч, показанный на рисунке 3. В результате попадания луча в вазу, она разбивалась с негромким звуком, аналогичным звуку бьющейся посуды. Перемещение также осуществлялось с помощью телепортации. В качестве инструмента интерфейса телепортации служил фонарик, показанный на рисунке 3.



Рисунок 2 – Для испытуемых были подобраны специальные объекты для сбора в виде вазы. Такой объект естественным образом вписывается в окружающую обстановку. Собираение отмечается характерным звуковым эффектом и анимацией разбивания (справа)



Рисунок 3 – Элементы интерфейса пользователя. Взаимодействие с коллекционными объектами реализовано с помощью метафоры указки, реализованной в виде луча прицела пистолета (слева), перемещение – при помощи естественного перемещения в пространстве (реальном) и телепорта (справа)

Количество разбитых ваз и время эксперимента отмечались в счётчике, имитирующем часы на правой руке, показанном на рисунке 4.



Рисунок 4 – Информационный интерфейс, показывающий время на полигоне и количество разбитых ваз выполнено в виде наручных часов

Также был доработан механизм подачи сигнала о том, что испытуемый чувствует перерыв в присутствии. В новой версии, когда участник эксперимента осознавал, что находится не в парке, а в лаборатории, он не произносил слово «здесь», как на предыдущем этапе, а нажимал кнопку на джойстике, и информация о времени нажатия автоматически записывалась в таблицу.

Кроме того, в программу были добавлены и аудиальные стимулы. Они представляли собой как естественные природные звуки (звуки парка, пение птиц, шум воды и звон разбиваемых ваз), так и специальные дистракторы, призванные искусственно воссоздавать случайные отвлекающие факторы. Данное изменение в программу и сам ход эксперимента было внесено по следующим причинам. На предыдущем этапе мы неоднократно сталкивались с посторонними шумами, предотвратить звучание которых в лаборатории достаточно затруднительно. Это шум шагов и голоса в соседних помещениях и в коридоре, звук передвигаемой мебели и т. п. звуки, естественные в здании, где ведется учебная и научная работа. Влияние этих звуков на переживание присутствия отмечалось в ходе постэкспериментального интервью. На данном этапе мы приняли решение включить отвлекающие звуки в ход эксперимента с целью в дальнейшем получить возможность изучить намеренное (хотя, возможно, неосознанное) поддержание человеком гештальта виртуальной среды. Поэтому в новой версии испытуемым предлагается три серии по 7 минут, каждую из которых испытуемый начинает из новой точки одного и того же парка:

- серия, в которой аудиальный ряд исчерпывается природными звуками (звуки парка, пение птиц, шум воды и т. п.) и звоном разбиваемых ваз;
- серия, в которой к этому аудиальному ряду добавляются также дистракторы – звуки, естественные для расположенного в городе помещения (звук шагов, стук, шум машины, « проезжающей за окном»), но неестественные для азиатского парка;
- серия, в которой к естественному аудиальному ряду добавляется звук, который затруднительно проассоциировать как с азиатским парком, так и с помещением лаборатории, в качестве него был выбран сонар.

Помимо таблицы, учитывающей время подачи сигнала о перерыве в присутствии (отчет автоматически начинался с начала экспериментальной серии), также создавались таблицы с записью о времени срабатывания дистрактора (постороннего звука), а также таблицы с информацией о количестве разбитых ваз и времени разбития каждой вазы.

Первоначально новая версия разрабатывалась для проводной гарнитуры OculusRift S, с контроллерами touch. Для разработки использовалась среда разработки Unity 3D версии 2019.1.0f2 и фреймворк SteamVR, позволяющий разрабатывать приложения виртуальной реальности.

Однако в дальнейшем использование проводных устройств было признано нежелательным, так как испытуемые при поворотах зачастую начинали спотыкаться и запутываться в проводе гарнитуры. Поэтому было принято решение перенести приложение виртуального парка на беспроводную гарнитуру.

Приложение было переделано под гарнитуру OculusQuest 2 с контроллерами touch, которая позволяет запускать приложения без использования дополнительных устройств, таких как персональный компьютер. Поскольку фреймворк SteamVR не предоставляет возможность

собирает проект под гарнитуру OculusQuest 2, для переноса приложения виртуального парка на новую гарнитуру был использован фреймворк OpenXR, который предназначен для разработки приложений виртуальной реальности. С помощью данного фреймворка были реализованы следующие функции:

- телепортация;
- взаимодействие с пользовательским интерфейсом посредством контроллеров;
- запись в таблицу информацию о перерыве в присутствии (осознании, что испытуемый находится не в парке, а в лаборатории);
- стрельба по вазам.

Как и в предыдущей версии, кроме телепортации, перемещение также может осуществляться с помощью физического перемещения в ограниченном пространстве.

5. Обработка и интерпретация результатов

На данный момент было проведено пилотажное исследование с участием 6 испытуемых, из них один мужчина 31 года и 5 женщин 18-21 год. Небольшие размеры выборки не позволяют сделать выводы о закономерностях переживания присутствия, однако они позволили оценить способы обработки и внести корректировку в исходную программу.

Результаты обрабатывались и визуализировались с использованием программного кода на языке Python, библиотек pandas, numpy, datetime, openpyxl, matplotlib.

В таблице 1 представлены результаты расчета счетчика присутствия для каждого участника в каждой серии. Напомним, во втором сеансе были выбраны дистракторы, соответствующие естественным звукам обычного помещения – шаги, стук, звук проезжающей за окном машины. У некоторых испытуемых во втором сеансе появилось снижение значения счетчика присутствия, возможно, связанное с дистрактором.

В третьем сеансе дистрактором был выбран необычный звук, не ассоциирующийся ни с какой средой. Однако, как показывает опрос испытуемых, они были склонны игнорировать его или принимать за звуковые сигналы гаджетов. Во всяком случае, в третьем сеансе в большинстве случаев наблюдаются максимальные значения счетчика присутствия.

Таблица 1 – Результат расчета счетчика присутствия для каждого участника исследования.

Для участника 6 рассчитаны результаты по формуле высокого и по формуле низкого присутствия

Участники	Условия присутствия	Сеансы					
		Первый сеанс		Второй сеанс		Третий сеанс	
Участник 1	Высокое	0,81		0,84		0,91	
Участник 2	Высокое	0,75		0,64		0,66	
Участник 3	Высокое	0,88		0,88		1,00	
Участник 4	Высокое	0,81		0,75		0,91	
Участник 5	Низкое	0,00		0,05		0,00	
Участник 6	Не определился	0,70 (высокое присутствие)	0,71 (низкое присутствие)	0,70 (высокое присутствие)	0,71 (низкое присутствие)	0,75 (высокое присутствие)	0,38 (низкое присутствие)

Также можно обратить внимание, что использование формулы, предназначенной для условий низкого присутствия в случае неопределившегося участника, может давать значения счетчика присутствия, несколько большие, чем значения, рассчитанные для формулы, предназначенной для условий высокого присутствия.

Однако очевидно, что столь малая выборка не позволяет делать выводы относительно тех или иных закономерностей. Рассмотрим также результаты подсчета разбитых ваз (таблица 2).

Таблица 2 – Количество ваз, разбитых участниками в ходе виртуальных сеансов

Участники	Количество ваз, разбитых в первом сеансе	Количество ваз, разбитых во втором сеансе	Количество ваз, разбитых в третьем сеансе	Среднее количество разбитых ваз
Участник 1	23	35	35	31
Участник 2	16	22	31	23
Участник 3	16	13	27	18,7
Участник 4	11	16	26	17,7
Участник 5	11	17	14	14
Участник 6	20	26	22	22,7

Как видно, у большинства участников существует тенденция к нарастанию количества разбитых ваз от первого сеанса ко второму.

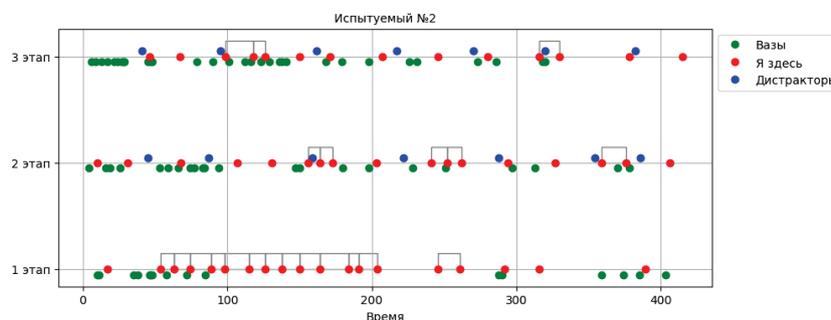
Следует учитывать, что выборка из 6 человек не позволяет делать прямые выводы. Сложно судить о закономерностях, которые могут быть связаны с индивидуальными особенностями участников в большей степени, чем с переживанием феномена присутствия. Поэтому гораздо больший интерес представляет не столько поиск закономерностей, сколько улучшение инструментария с тем, чтобы использовать его на большой выборке. Поэтому мы предлагаем рассмотреть и проанализировать наиболее яркие результаты отдельных участников. В частности, рассмотрим результаты исследования на примере результатов испытуемых 2 и 6, показанные на рисунках 5 и 6.

На представленных рисунках по горизонтальной оси отложено время в секундах (оно занимало 7 минут, то есть 420 секунд), по вертикальной оси – этапы исследования. Кружками разных цветов обозначены события: перерывы в присутствии («Я здесь») – красными, нахождение ваз («Вазы») – зелеными и чуть ниже основной оси, дистракторы, то есть отвлекающие звуки («Дистракторы») – синими кружками и чуть выше основной оси. Это смещение сделано для удобства и не несет дополнительной смысловой нагрузки.

«Соседства», то есть случаи соседних перерывов в присутствии, которые вычитаются из общего числа перерывов в формуле, рассчитанной для условий высокого присутствия, обозначены соединениями между событиями.

Для примера были выбраны те испытуемые, которые показывают много связанных перерывов в присутствии.

Рисунок 5 позволяет увидеть, что в ряде случаев перерывы в присутствии («Я здесь») происходили вскоре после дистракторов (например, на втором этапе в области между 100 и 200 сек, в области между 200 и 300 мс, незадолго до 300, в области между 300 и 400 сек). Но также есть дистракторы, после которых до перерыва в присутствии прошло достаточно времени (больше 20 секунд), поэтому можно предположить, что их связь сомнительна или скорее всего отсутствует. На третьем этапе практически каждый дистрактор, кроме одного, имеет близкое соседство с перерывом в присутствии.

**Рисунок 5** – Пример результатов: Испытуемый 2

На рисунке 6 практически каждый дистрактор второго этапа имеет соседство в виде перерыва в присутствии, тогда как третий этап не показывает этой тенденции.

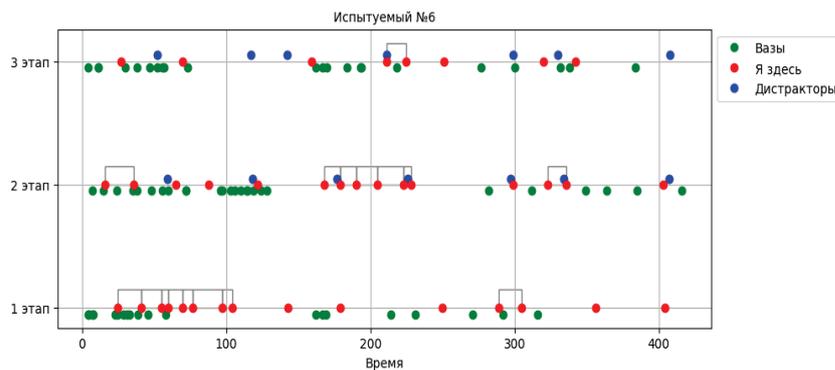


Рисунок 6 – Пример результатов: Испытуемый 6

Таким образом, мы получили инструмент для первичной оценки влияния дистракторов на переживание присутствия в индивидуальных случаях. Однако при изучении результатов мы обнаружили еще одну закономерность. Поскольку дистракторы происходили случайным образом, часть из них происходила уже после нажатия сигнала «Я здесь». Это затрудняет анализ того, является ли конкретный перерыв в присутствии «соседним», удаляемым при расчете, или вызванным включением дистрактора. Поэтому по результатам пилотажного исследования было принято решение по возможности исключить включение новых дистракторов в диапазоне 20 секунд после нажатия испытуемым сигнала «Я здесь».

6. Заключение

В работе рассмотрена проблема измерения феномена присутствия и возможности, предоставляемые счетчиком присутствия. Данная работа предлагает свой ответ на вопрос об измерении присутствия: счетчик присутствия, не зависящий от стрессовой ситуации во время виртуального сеанса и в меньшей степени, чем традиционный опросник, зависящий от субъективной оценки испытуемым своего состояния. В рамках настоящей работы была предложена усовершенствованная математическая модель счетчика присутствия, основанная на непрерывном, а не на дискретном времени.

Малый объем выборки не позволяет сделать выводы на основании закономерностей, наблюдаемых в ходе проведенного исследования, поэтому говорить о количественных результатах пока не приходится. В рамках данного исследования был показан в первую очередь подход к измерению и описано применение инструмента – счетчика присутствия.

Кроме того, мы продемонстрировали, как на основе результатов пилотажного исследования было принято решение о модификации используемой для эксперимента виртуальной среды. В дальнейшем на базе этой среды будут проведены исследования, посвященные влиянию звукового фона и отвлекающих звуковых факторов на переживание присутствия.

7. Благодарности

Авторы выражают благодарность Юрию Владимировичу Авербуху за помощь в формулировке математической модели задачи. А так же студентов Полину Викторовну Морозову, Викторию Витальевну Белогурову и Марию Сергеевну Тимошенко за работу по автоматизации обработки экспериментальных данных.

8. Список источников

- [1] Insko В. E. Measuring Presence: Subjective, Behavioral and Physiological Methods // Being There: Concepts, Effects and Measurement of User Presence in Synthetic Environments, Riva, G., Davide, F., and Ijesslstein, W. A. (eds.) IosPress, Amsterdam, TheNetherlands, 2003. Pp 109-119.

- [2] Mestre, D.R. Immersion and Presence. 2005. Unpublished article. <https://scholar.google.fr/citations?user=I9RLpn4AAAAAJ&hl=fr> Дата обращения – 5 ноября 2019.
- [3] Sadowski, W. Jr., Stanney, K. Chapter 45. Measuring and managing sense of presence. Handbook of Virtual Environments. Design, Implementation, and Applications. Edited By Kelly S. Hale, Kay M. Stanney. 2002. CRC Press.
- [4] Gamito P., Oliveira J., Santos P, Morais D., Saraiva T., Pombal M., Mota B. Presence, Immersion and Cybersickness Assessment through a Test Anxiety Virtual Environment // Annual Review of CyberTherapy & Telemedicine (ARCTT) V. 6, 2008, pp.83-90.
- [5] Meehan, M. Physiological reaction as an objective measure of presence in virtual environments, Chapel Hill: University of North Carolina, 2001.
- [6] Szczurowski, K., Smith M., Measuring Presence. Hypothetical Quantitative Framework. 2017 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM). 2017. Pp. 1-8.
- [7] Slater M. Presence and The Sixth Sense. Presence, Vol. 11, No. 4, August 2002, 435–439.
- [8] Sanchez-Vives, M. V., Slater, M. From presence to consciousness through virtual reality. Nature Reviews Neuroscience. Volume 6. Pp. 332–339 (2005).
- [9] Jordan, J., Slater, M., "An analysis of eye scanpath entropy in a progressively forming virtual environment," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol. 18, no. 3, pp. 185-199, 2009.
- [10] Slater M., Steed A. A Virtual Presence Counter // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. V. 9. Issue 5. 2000. Pp.413-434.
- [11] Averbukh N., Velichkovskiy B. Measurement of Presence by a Presence Counter Based on Breaks in Presence. Bolgov R.V., Borisov N.V., Chugunov A.V. Prokudin D.E., Voiskounsky A.E., Zakharov V.P. 24rd International Conference "Internet and Modern Society" IMS 2021 Editorial // CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 3090. Pp. 423-438
- [12] Lessiter, J., Freeman, J., Keogh, E., Davidoff, J.: A cross-media presence questionnaire: the ITC Sense of presence inventory. Presence: Teleoperators Virtual Environ. 10, 282–297 (2001).
- [13] Коралов Л. Б., Синай Я. Г. Теория вероятностей и случайные процессы / Пер. с англ. Э. В. Переходцевой; под ред. Б. М. Гуревича. — М.: МЦНМО, 2013.