

Применение статусных функций для обработки мультиспектральных изображений обработки данных в системах виртуальной реальности

И. В. Вешнева¹, Р. А. Сингатулин²

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
¹veshnevaiv@gmail.com, ²labsgu@mail.ru

А. А. Сгибнев

Саратовский государственный технический университет
им. Гагарина Ю.А., Саратов
aasgibnev@gmail.com

А. А. Большаков

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
aabolshakov57@gmail.com

Аннотация. Представлен анализ задач проектирования канала обратной связи в обучающих системах виртуальной реальности. Эти задачи объединены в группы технической реализации, программной обработки данных и математических моделей оценки состояния человека, обучающегося в системе виртуальной реальности. Рассмотрены возможные технологии для проектирования технической реализации. Для создания неинвазивного канала оценки состояния человека показана возможность применения мультиспектральных методов и технологий распознавания образов. Для разработки математического обеспечения проведен краткий анализ математического представления сигналов в канале связи. Выделены методы, основанные на канонических разложениях случайных функций. Для обработки сигнала использован метод статусных функций, базирующийся на этих разложениях. Проведен эксперимент для разработки канала обратной связи, основанный на мультиспектральных технологиях распознавания образов и статусных функциях. В эксперименте использовано исследование возможности восприятия 3D-изображения объемного дисплея. Эксперименты продемонстрировали хорошие перспективы предложенных технологий и математических методов. Выявлено, что краткая тестовая демонстрация SIRDS-картинок или 3D-изображений перед началом изложения основного учебного материала способствует целостному восприятию объемных изображений.

Ключевые слова: статусные функции; мультиспектральные изображения; обработка данных; системы виртуальной реальности; 3D изображения; обучение; канал обратной связи; восприятие объемных изображений

I. СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБУЧЕНИИ

В настоящее время происходит трансформация всей системы обучения [1]. Одним из аспектов этой трансформации является внедрение обучающих систем виртуальной реальности (ОСВР) в процесс обучения. Опыт показывает, что применение ОСВР обеспечивает

высокую учебную мотивацию и успешность обучения. Это достигается за счет активизации деятельности мозга, реалистичности изучаемых объектов и явлений, включения всех органов чувств. Новый качественный уровень обработки информации, моделирования и проектирования экспериментов, создания сложных машин и механизмов, промышленных объектов и процессов может быть реализован методами виртуальной реальности.

Основными задачами развития ОСВР является разработка технического, математического и программного обеспечения. Кроме этого, необходимо создание методов оценивания когнитивного и психо-эмоционального состояния человека [2]. Круг задач, связанный с разработкой математических моделей состояния обучающегося человека, исследования их психологической валидности, средств технической и программной реализации систем оценивания результатов обучения приводится в [3]. При этом требуется сохранить преемственность ключевых понятий взаимодействия обучающий-обучаемый.

Для оценивания уровней обучения возможно применение следующих математических моделей: простые алгебраические, учитывающие параметры заданий, на основе статистических методов, теории нечетких множеств, статусных функций [4].

Техническая реализация ОСВР наиболее вероятно будет основана на применении новой концепции использования человеко-машинного интерфейса для создания эффекта трёхмерного окружения, в котором пользователь в интерактивном режиме взаимодействует с виртуальными объектами, а не с изображениями этих объектов [5].

Сложной задачей технической реализации ОСВР является создание канала связи для осуществления взаимодействия человека с воздействующей на него технической системой. Рассмотрим способы

проектирования канала обратной связи в эргатической ОСВР с использованием математических моделей на основе статусных функций.

А. Технические возможности оценки изменения эмоционального состояния

Для применения современных методов оценивания результатов обучения необходимо оценивать результат освоения знаний, а также изменение психологического состояния человека. Эмоции человека являются физиологическим механизмом его взаимодействия с окружающей средой. Элементарные эмоции оказывают простейшие химические и физические воздействия на эндокринную систему организма. При необходимости приводят к изменению типа поведения. Эмоции выступают как основные силы, мотивирующие поведение.

Объективная оценка системных изменений эмоций и работы мозга возможна на основе методов обработки электро-энцефалограм, виброизображений или мультиспектральных изображений.

Электро-энцефалографические методы позволяют анализировать тонкие функциональные перестройки деятельности мозга. Это является их неоспоримым достоинством и преимуществом. Сбор данных осуществляется контактным методом, что обуславливает существенные ограничения.

Виброизображение является функциональным аналогом электроэнцефалографического метода. Частота обрабатываемых сигналов не превышает 10 Гц, и 0-30 Гц, соответственно. Для регистрации виброизображения достаточно использовать вебкамеры. Это позволяет существенно расширить возможности применения метода для оценки психофизического состояния человека и групп людей, когда в кадре производится анализ нескольких человек.

Неинвазивная диагностика с использованием мультиспектральных технологий базируется на фотограмметрических методах измерений положения тела человека в различных спектральных диапазонах. Новизна предложенного подхода заключается в использовании вебкамер мультиспектрального диапазонов и специального программного алгоритма. Информационно-измерительная система получает изображения с вебкамер, осуществляет привязку объектов или фрагментов к системе координат, осуществляет их автоматическую идентификацию с соответствующими фрагментами из базы данных, проводит диагностику. Масштаб и ориентация исходных фрагментов могут быть произвольными. Для идентификации фрагментов используется алгоритм стереоотождествления, который позволяет сравнивать изображения разной геометрии. Последовательность процедур, построенных на основе фотограмметрических и мультиспектральных технологий, позволяет решить задачу распознавания и выделения характерных контурных форм тела. Реализация предложенной процедуры предназначена для диагностики типичного моторного паттерна (плавность движения при его постоянстве), неоптимального динамического стереотипа (появление

дополнительных компенсаторных синкинезий в позвоночнике и конечностей), атипичного моторного паттерна (появление добавочных движений и искажение траектории и скорости движения) и некоторых других случаев. Измерение двигательных девиаций может происходить в любом месте поля зрения мультиспектральной измерительной системы (дома, на улице, в учебной аудитории). На выходе измерительной системы формируется трехмерное описание формы и динамики объекта в заданном формате. Выходные данные могут передаваться по сети. Информация также может быть визуализирована как виртуальный трехмерный объект с собственной текстурой. Преимуществами метода является невысокая стоимость, высокая точность измерений, простота применения, высокая степень автоматизации, оперативность (диагностика производится в режиме реального времени).

В. Математические методы описания канала обратной связи эргатических систем

Связать входные и выходные сигналы в канале связи информационно-измерительной системы можно при использовании прямого описания, которое основано на использовании дифференциальных или интегральных уравнений [6]. При этом описание должно использовать рассмотрение оператора, который осуществляет преобразование множества входных сигналов в выходные. При этом необходимо разработать модели, которые используют пространства, в которых координатные функции являются собственными функциями линейных систем на бесконечном интервале анализа. Это обеспечивает универсальность разработанных моделей.

Целесообразно использовать математическую модель в виде оператора, для которого заданы базисы разложений входных и выходных сигналов как гармонические функции [7]. При этом предполагается, что воздействие на обучаемого и оценка его состояния представляется в форме смеси некоторых сигналов. В этой смеси существуют переменные состояния обучаемого полезная составляющая $z(\mathbf{r}, t)$ и аддитивный шум $n(\mathbf{r}, t)$. Модель канала связи представляется в виде некоторого оператора H' . Оператор осуществляет отображение полезной составляющей выходного сигнала как принимаемой смеси, которая зависит от свойств среды передачи, а также характеристик входных и выходных устройств (осуществляющих согласование). Тогда математическая модель канала связи может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} H'(x(\mathbf{r}, t)) &= \Psi_r'(z'(\mathbf{r}, t), \mathbf{r}, t) \left| \frac{\partial z'(\mathbf{r}, t)}{\partial t} \right. \\ &= \Psi_r(x(\mathbf{r}, t)z'(\mathbf{r}, t), \mathbf{r}, t) \end{aligned} \quad (1)$$

где $z'(\mathbf{r}, t)$ – переменные состояния обучаемого, Ψ_r, Ψ_r' – некоторые нелинейные операторы, содержащие производные по пространственным координатам, \mathbf{r}, t – пространственные и временные переменные. В качестве переменных состояния могут выступать различные реакции выходного сигнала.

Оператор H' в (1) является системной характеристикой и воспроизводит характеристики наблюдаемого на выходе сигнала. Описание канала обратной связи сводится к разработке ее системной характеристики. Тогда задача числовой обработки стационарной случайной функции [8] может быть основана на канонических представлениях случайных функций. Они основаны на представлении случайной функции в виде детерминированной функции случайных величин [9].

Развитие методов использования канонических разложений для математической обработки сигналов в каналах обратной связи в ОСВР проведено в работах [2, 3]. Эти результаты целесообразно использовать для решения задачи оценивания состояния человека, обучаемого в ОСВР для формирования математических моделей оператора состояния. Таким образом, при разработке математической модели состояния психофизического состояния человека на которого оказывает воздействие техническая система с целью его обучения должны быть использованы статусные функции [4].

В результате последовательности измерений процесса взаимодействия обучаемого с ОСВР и представления в форме гармонических базисных статусных функций могут быть определены математические модели состояний человека. В результате на основе данных моделей получаем аналог вектора состояний системы.

При взаимодействии ОСВР с обучаемым используется новая концепция использования человеко-машинного интерфейса для создания эффекта трёхмерного окружения, в котором пользователь в интерактивном режиме взаимодействует с виртуальными объектами, а не с изображениями этих объектов [5].

Задача формирования оператора (1) может быть решена при оценке восприятия объёмного изображения.

При этом существует ряд технических ограничений в применении такого подхода.

C. Проблемы интерфейса канала обратной связи

Во-первых, пользователь может работать только с готовым прототипом. Привлечение фокус-групп на этапе моделирования устройства не показал эффективность из-за различной способности к абстрагированию и к показателям пространственного мышления пользователей. Во-вторых, конечные пользователи имеют значительные индивидуальные различия, что приводит к большому рассогласованию оценок удобства использования устройства. Кроме этого, основными методами сбора оценочных данных от пользователей являются опросниковые методики и тесты, валидность и надёжность которых так же требуют дополнительных доказательств.

Согласно статистическим данным, примерно 40% людей, рассматривая SIRDS-картинку практически сразу воспринимают трёхмерное изображение. Около 50–60% воспринимают трёхмерное изображение только через специальную тренировку, связанную с подбором оптимального расстояния и с фокусировкой взгляда. Приблизительно 5–10% не способны воспринимать

искусственно сформированное объёмное изображение из-за специфических проблем со зрением. Учитывая, что современные мультимедийные образовательные технологии ориентированы на перспективу виртуализации учебного материала с применением визуализации объёмных объектов новыми техническими средствами [10], возникает острая необходимость в адаптации (преобразовании и переключении) современных педагогических методов и средств на новый качественный уровень.

Для каждого из следующих показателей будем использовать оценку на основе статусных функций [4]:

1. Характеристики двумерных изображений:

- 1.1. Разрешение экрана.
- 1.2. Цветность изображения (качество цветопередачи).
- 1.3. Кадровая частота.

2. Характеристики трёхмерного изображения.

- 2.1. Угол обзора.
- 2.2. Размер изображения.

3. Монокулярные свойства восприятия объема – учитываются при создании контента для дисплея:

- 3.1. Параллакс движения.
- 3.2. Перспектива.
- 3.3. Тени.
- 3.4. Взаимное перекрытие объектов (окклюзия).
- 3.5. Вращение объекта.
- 3.6. Градиент текстуры.
- 3.7. Неоднородность формы.

Для каждого из показателей формируется оценка на основе статусных функций. Для каждой из оценок используются объективные (характеристики дисплея, показания датчиков, анализ изображения программными средствами) и субъективные показатели. Анализ статусных функций позволяет получить выводы по восприятию изображения.

D. Эксперимент

При рассматривании объёмных псевдоизображений (стереоизображений, 3D-изображений) без использования специальных технических средств (жидкокристаллические стереоочки, анаглифные очки и др.) требуется совершить совершенно два противоположенных действия:

- а) направить расслабленный взгляд сквозь изображение,
- б) сфокусироваться на изображении, когда каждый глаз фиксирует чёткое и резкое изображение.

Исследования проводились на двух, независимых друг от друга уровнях:

- I уровень – коллективное, аудиторное тестирование;

- II уровень – «глубокое» индивидуальное тестирование.

В групповом тестировании участвовало 87 чел. Формат сообщений тексто-визуального плана (лекционный материал) подбирался в зависимости от целевой аудитории. Производилась измерение физиологической активности студентов в зависимости от их физиологической активности (движение головы, конечностей, термографических данных открытых кожных покровов) при прохождении тестового материала в аудитории. Технология подобного эксперимента подробно описана в работе [2]. Отличием являлся способ представления данных в 3D формате. Использовались SIRDS-картинки, а также 3D-изображения, сформированные на основе патента РФ [10].

Перечень использованного оборудования: Стереокамера на базе цифровой камеры ELP USB8MP02G-MF80, 8.0 Мегapixel, режим съёмки 2К–4 К; Цифровая камера GoPro 3+, режим съёмки 2К–4 К; Инфракрасный лазерный фонарь с регулируемой системой формы луча и частоты подсветки; Телевизионная камера Flir® Tau®2 с неохлаждаемым VOx микроболометром; 3D-дисплей, сконструированный по основе патента РФ № 2526901; Мультимедийный проектор XGIMI H1; Ноутбук: Sony Vaio SVD1321M9RB, Intel® Core™ i5-4200U CPU @ 1,60GHz 2,29 GHz, ОЗУ 4 Gb, Windows 10 Pro (64-разрядная ОС, процессор x64); Планшет: iPad Air, ОЗУ 64 Gb, iOS 11.0.3.

Результаты аудиторного тестирования 1 уровня представлены на рис. 1. и рис. 2. На первом рисунке представлено размещение студентов в аудитории.

Классические университетские аудитории являются лучшими по обзорности для организации группового тестирования. на втором рисунке представлен график, общей средней амплитуды активных движений (движений рук, головы, мимики лица, движений глаз и др.) студентов. Интервал времени – 45 минут. В указанный период проводится изложение теоретического контента дисциплины в режиме обратной связи (дискуссионно-разъяснительный). На графике хорошо прослеживается пятнадцатиминутный групповой подъём «активности» студентов, с последующим «усталостным» снижением (8–10 мин.) и новым, более «эффективным» подъёмом. В этом случае, график можно рассматривать в качестве условного аудиторного «профиля» обучаемой группы, который отражает реакцию обучаемых на излагаемый преподавателем учебный материал. Такая визуализация аудиторного «профиля», в режиме реального времени, значительно расширяет возможности учебно-образовательного процесса, позволяет эффективно оценивать, корректировать учебно-методический материал.



Рис. 1. Контент размещения обучаемых. Верхние ряды в аудитории сканируются с видимым снижением точности разрешения

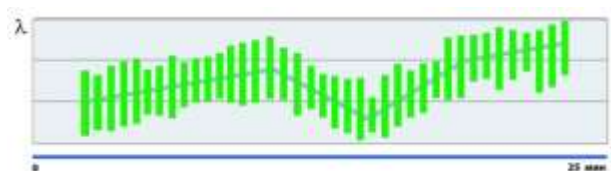


Рис. 2. Средняя амплитуда активности движений с явно видимыми периодами снижения и роста активности в аудитории

В индивидуальном тестировании использовался метод «глубокого погружения» в виртуальную среду, которая сформирована с использованием метода статусных функций, протестовано 17 человек. Эксперимент проводился дважды (через неделю, после первого тестирования), с одним составом участников. Эксперимент проводился дважды (через неделю, после первого тестирования), с одним составом участников. На рис. 3. представлена система проведения «глубокого» индивидуального тестирования. На рис. 4 приведен пример работы информационно-измерительной системы.



Рис. 3. Общий вид информационно-измерительной системы «глубокого» тестирования. Условные обозначения: 1 – цифровая камера; 2 – инфракрасный прожектор; 3 – 3D-дисплей; 4 – ноутбук с тестовой программой



Рис. 4. Пример работы информационно-измерительной системы при «глубоком» тестировании: A1 – фиксация глаз (зрачков) в режиме поиска; A2 – глаза (зрачки) в режиме восприятия; B1 – фиксация глаз (зрачков) в режиме поиска (наклон головы); B2 – глаза (зрачки) в режиме восприятия (наклон головы)

ВЫВОДЫ

Эффективность учебного процесса непосредственно зависит от приложенных методов и средств, а также определяется возможностью наиболее точно оценивать усвоение учебного материала. В нашем случае рассматриваются возможности использования новых образовательных технологий на основе статусных функций для формирования канала обратной связи при обучении в специализированных системах виртуальной реальности.

Учебный материал, изложенный с использованием 3D-технологий, позволяет эффективно достигать запланированных учебных целей. К сожалению, объёмные изображения, из-за физиологических особенностей восприятия объёмных изображений человеком, созданных на основе 3D-технологий, не всегда воспринимаются обучающимися.

Как показали эксперименты, краткая тестовая демонстрация SIRDS-картинок или 3D-изображений целевой аудитории в течение 20–30 сек. (так называемый «разогрев», «разминка») перед началом изложения основного учебного материала, способствует максимальному включению обучаемых к активному, целостному восприятию объёмных изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Вешнева И.В., Сингатулин Р.А. Трансформация образования: тенденции, перспективы // Высшее образование в России. 2016. № 2. С. 142-147.
- [2] Bolshakov A.A. Veshneva I.V., Chistyakova T.B. Model of formation of the feedback channel within ergatic systems for monitoring of quality of processes of formation of personnel competences. *International Journal for Quality Research*. 2015. vol. 9, num. 3. p. 495-512.
- [3] Большаков А.А. Вешнева И.В., Мельников Л.А., Перова Л.Г. Новые методы математического моделирования динамики и управления формированием компетенций в процессе обучения в вузе: монография. М.: Горячая линия – Телеком, 2014. 250 с.
- [4] Вешнева И.В., Чистякова Т.Б., Большаков А.А. Метод обработки и интерпретации данных измерения взаимодействий в образовательной среде на основе статусных функций // Труды СПИИРАН. 2016, вып. 49. С. 144-166.
- [5] Thakral S., Manhas P., Kumar C. Virtual Reality and M-Learning. *International Journal of Electronic Engineering Research*. 2010. vol. 2, no. 5. 659-661 pp.
- [6] Батенков К.А. Моделирование непрерывных каналов связи в форме операторов преобразования некоторых пространств // Труды СПИИРАН. 2014, вып. 32. С. 171-198.
- [7] Кловский Д.Д., Конторович В.Я., Широков С.М. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных. М.: Радио и связь, 1984. 247 с.
- [8] Синицын И.Н. Канонические представления случайных функций и их применение в задачах компьютерной поддержки научных исследований. М.: ТОРУС-ПРЕСС, 2009. 768 с.
- [9] Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М.: Гос. Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1963. 884 с.
- [10] Пат. РФ № 2526901 / А.А. Большаков, А.В. Никонов. Объёмный дисплей и способ формирования трехмерных изображений; Опубл. 27.08.2014. Бюл. № 21.