- lemь infokommunikacij. Nauka i tekhnologii»* [First MNPК «Problems of infocommunications. Science and technology»], 2013, pp. 177-179.
8. Grebennikov A., Krukov Y., Chernyagin D. *Modeling Network Traffic and Forecasting with Model ARIMA*. Available at: <https://www.sanse.ru/download/79> [accessed: 21.10.2019].
  9. Naebolo K. *Predict Traffic of LTE Network*. Available at: <https://www.kaggle.com/naebolo/predict-traffic-of-lte-network> [accessed: 25.10.2019].
  10. *TensorFlow*. Available at: <https://www.tensorflow.org> [accessed: 25.10.2019].
  11. *StatsModels: Statistics in Python*. Available at: <https://www.statsmodels.org> [accessed: 25.10.2019].

Received 01.11.2019

УДК 791.4

МЕТОД ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СРЕДСТВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Нестерова Е.И.

*Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, Санкт-Петербург, РФ
E-mail: nesterova.el.i@yandex.ru*

Технологии и системы виртуальной реальности в настоящее время вызывают большой интерес пользователей в различных областях. На рынке мультимедийной аппаратуры представлен широкий спектр разнообразных моделей устройств и аксессуаров, используемых в системах виртуальной реальности. Предложен метод оценки уровня функциональности средств, используемых в системах виртуальной реальности, основанный на результатах субъективного экспертного опроса пользователей. Особенностью метода является возможность формирования оценочной системы (перечня исходных требований, учета пользовательских предпочтений, субъективных оценочных шкал). Возможность изменения элементов оценочной системы в соответствии с требованиями пользователя позволяет использовать данный метод оценки вне зависимости от существующего на данный момент уровня технологий и конструктивно-параметрических особенностей средств, используемых в системах виртуальной реальности.

Ключевые слова: функциональность, аппаратные средства, функциональный параметр, системы виртуальной реальности

Введение

В условиях существующего в настоящее время интереса пользователей к технологиям виртуальной реальности (Virtual Reality, VR), и к поддерживающим данные технологии системам виртуальной реальности, наличия на рынке широкого спектра моделей аппаратных средств, используемых в данной области, необходимы инструменты, предоставляющие возможность пользователям обоснованного выбора определенной номенклатуры элементов при формировании систем виртуальной реальности.

Обоснованный выбор элементной структуры системы виртуальной реальности в общем случае должен быть основан на результатах подробного функционально-параметрического и модельно-параметрического анализа аппаратных средств, используемых в данных системах [1].

В настоящее время на рынке аппаратных средств, используемых в системах виртуальной

реальности, представлен широкий спектр моделей устройств, воспроизводящих изображение, аудиосистем, элементов трекинга, элементов, обеспечивающих взаимодействие пользователя с виртуальной средой, что затрудняет выбор конкретной модели. Поэтому при решении практических задач, связанных с обоснованным выбором конкретной модели определенного мультимедийного средства, выполняющего определенный перечень функций, может быть использован метод оценки, основанный на результатах сравнительного анализа уровня функциональности, предложенный в данной статье.

Метод субъективной экспертной оценки уровня функциональности аппаратных средств, используемых в системах виртуальной реальности

Метод оценки функциональности аппаратных средств, поддерживающих технологии виртуальной реальности, включает несколько этапов [2]:

- формирование перечня параметров, определяющих требуемый уровень функциональности;
- определение весовых коэффициентов функциональных параметров по результатам субъективных экспертиз;
- расчет статистических параметров экспертизы: средних арифметических значений весовых коэффициентов параметров

$$\bar{k}_i = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N k_{im}$$

и их среднеквадратических отклонений

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (\bar{k}_i - k_{im})^2},$$

где i – номер параметра; m – номер эксперта; N – количество экспертов;

- определение возможности компенсации одного функционального параметра другим на основе расчета коэффициентов парной корреляции между коэффициентами весомости функциональных параметров

$$r_{i,i+1} = \sum_{m=1}^N (\bar{k}_i - k_{im})(\bar{k}_{i+1} - k_{i+1,m}),$$

где m – номер эксперта; $i, i+1$ – номера параметров, для которых оценивается возможность обменных соотношений (возможность компенсации одного параметра другим);

- построение субъективных оценочных шкал для каждого функционального параметра;
- нахождение на шкалах фактических значений отклонений от эталонных значений для оцениваемых моделей;
- расчет уровня функциональности конкретной модели с использованием интегрального показателя

$$Q = \cos^2 \left(\sum_{i=1}^n \bar{k}_i \Delta \delta_i \right) \times \exp \left(- \sum_{i=1}^n \Delta \delta_i \Delta \delta_{i+1} \sigma_i \sigma_{i+1} r_{i,i+1} \right),$$

где $\Delta \delta_i$ – фактическое значение отклонения субъективной оценки функционального параметра от эталонного значения; n – число функциональных параметров.

Особенностью данного метода оценки функциональности аппаратного средства является возможность для пользователя, выбирающего определенную модель, формировать собственную оценочную систему. При этом критериями формирования оценочной системы являются:

- назначение аппаратного средства (универсальный или специфический характер выполняемых задач);

- условия использования (стационарная или мобильная система виртуальной реальности);
- требования к качеству визуализации изображения и воспроизведения звука;
- особенности и структура информационного контента;
- совместимость аппаратного средства с рабочими платформами и т. д.

Элементами оценочной системы являются: перечень функциональных параметров (исходных пользовательских требований), весовые коэффициенты функциональных параметров (отражающих пользовательские предпочтения), субъективные оценочные шкалы оцениваемых функциональных параметров.

Результаты субъективной экспертной оценки уровня функциональности шлемов виртуальной реальности

Рассмотренный выше метод был апробирован для оценки уровня функциональности одного из наиболее значимых и многофункциональных элементов систем виртуальной реальности – шлема виртуальной реальности. Перечень параметров, определяющих функциональность шлема виртуальной реальности, был сформирован на основании экспертного опроса группы экспертов-пользователей и включал:

- тип дисплея (технология, лежащая в основе его функционирования);
- угол поля зрения;
- полное разрешение дисплея;
- частота обновления экрана;
- задержка трекинга;
- формат дисплея;
- время отклика дисплея;
- вес шлема виртуальной реальности;
- технология воспроизведения звука;
- совместимость шлема с рабочими платформами.

В случае необходимости выбора модели шлема виртуальной реальности для решения других пользовательских задач, например исследовательских, требующих наличия дополнительных функций (например, таких, как «возможность внедрения в контент интерактивных элементов» или «дополнительные сервисы по сглаживанию изображения»), перечень параметров может быть изменен, и субъективная экспертиза по оценке весовых коэффициентов должна быть проведена заново.

Весовые коэффициенты функциональных параметров были определены в результате субъективных экспертиз с использованием метода

парных сравнений. В таблице 1 представлены результаты экспертизы и расчета весовых коэффициентов на основании мнения одного из экспертов. Статистические параметры субъективной экспертизы по определению весовых коэффициентов для группы экспертов приведены в таблице 2.

Результаты данной экспертной оценки показали невозможность компенсации одного функционального параметра другим, поскольку значения парных коэффициентов корреляции (всего 45 коэффициентов) близки к нулю.

Для каждого функционального параметра были построены оценочные субъективные шкалы. Особенностью шкал является возможность преобразования экспертных данных, полученных в шкале порядка, в шкалу отношений, что позволяет использовать результаты оценки для последующих расчетов.

Для функциональных параметров, которые характеризуются наличием или отсутствием какой-либо функциональной возможности, например, «наличие дополнительных сервисов по сглажи-

ванию изображения», величины ухудшений $\Delta\delta_i$ принимают значения 0 или 1.

На рисунке 1 приведен пример субъективной оценочной шкалы для одного из функциональных параметров. Для оценки уровня функциональности отдельных моделей использовался комплексный критерий вида

$$Q = \cos^2 \left(\sum_{i=1}^n \bar{k}_i \Delta\delta_i \right) \times \exp \left(- \sum_{i=1}^{C_n^2} \Delta\delta_i \Delta\delta_{i+1} \sigma_i \sigma_{i+1} r_{i,i+1} \right),$$

где $\Delta\delta_i$ – отклонение субъективной оценки функционального параметра от эталонного значения; n – число функциональных параметров. Результаты сравнительного анализа уровня функциональности оцениваемых моделей шлемов виртуальной реальности представлены на рисунке 2 в нормированном виде $Q_n = Q_i / Q_{\max}$, где значение $Q_{\max}$ рассчитано для эталонного образца шлема, соответствующего всем пользовательским требованиям (при $\Delta\delta_i = 0$).

Таблица 1. Пример формы матрицы, используемой для оценки весовых коэффициентов функциональных параметров шлема виртуальной реальности, заполненной одним из экспертов

№ п/п	Функциональный параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сумма рангов G_j	Весовой коэффициент функционального параметра k_j
1	Угол поля зрения	1	2	2	0	2	0	1	0	0	1	9	0,09
2	Тип дисплея	0	1	2	2	1	0	2	2	1	1	12	0,12
3	Полное разрешение дисплея	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	15	0,15
4	Частота обновления экрана	2	0	0	1	2	0	2	2	2	0	11	0,11
5	Задержка трекинга	0	1	0	0	1	2	2	2	2	2	12	0,12
6	Формат дисплея	2	2	0	2	0	1	0	1	0	0	8	0,08
7	Время отклика дисплея	1	0	0	0	0	2	1	0	0	2	6	0,06
8	Вес	2	0	0	0	0	1	2	1	2	1	9	0,09
9	Воспроизведение звука	2	1	0	0	0	2	2	0	1	2	10	0,10
10	Совместимость шлема с рабочими платформами	1	1	0	2	0	2	0	1	0	1	8	0,08

Таблица 2. Статистические параметры результатов субъективной экспертизы

Номер функционального параметра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Среднее арифметическое значение весового коэффициента k_i	0,14	0,11	0,12	0,10	0,05	0,06	0,09	0,06	0,12	0,06
Среднеквадратическое отклонение весового коэффициента σ_i	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04

Рисунок 1. Субъективная оценочная шкала для параметра «полное разрешение дисплея»

Рисунок 2. Результаты оценки уровня функциональности моделей шлемов виртуальной реальности в соответствии с оценочной системой, сформулированной группой экспертов-пользователей

Заключение

Расширение возможностей технологий виртуальной реальности, совершенствование соответствующих аппаратно-программных средств, безусловно, изменяют представления пользователя о достаточности функциональности, приводят к повышению требований. Открытый характер оценочной системы, формируемой самим пользователем с учетом соответствующих технологических возможностей, позволяет использовать данный метод оценки вне зависимости от существующего на данный момент уровня технологий.

В статье предложен метод оценки уровня функциональности без учета стоимости оцениваемых мультимедийных устройств, поэтому его использование для решения практических задач является более эффективным при выборе наиболее оптимальной модели, соответствующей

заданным требованиям (без учета стоимости) или для сравнительного анализа функциональных особенностей моделей, лежащих в одной ценовой категории.

Литература

1. Макаров И.М., Рахманкулов В.З., Ахрем А.А. Виртуальное моделирование и интеллектуальное управление сложными компьютерно-интегрированными системами // Информационные технологии и вычислительные системы. 2007. № 2. С. 11–24.
2. Нестерова Е.И., Смогоржевский А.А. Средства моделирования, используемые при модельно-параметрическом оснащении конференц-залов // Инфокоммуникационные технологии. 2015. Т. 13. № 2. С. 221–228.
3. Нестерова Е.И., Кривенко Н.Л., Смогоржевский А.А. Особенности реализации иннова-

- ционных проектов медиаиндустрии // Инновации. 2017. № 9. С. 116–120.
4. Нестерова Е.И. Критерии, методы и алгоритмы анализа квалиметрических характеристик в кинематографических системах. СПб: Политехника, 2016. 213 с.
  5. Nesterova E.I. Correlation between Subjective and Objective Methods for Obtaining Measurement Information in Cinematic Systems // Научно-техническая информация. Сер.: Информационные процессы и системы. 2011. № 3. С. 149–153.
  6. Нестерова Е.И. Использование интегральных критериев при решении квалиметрических задач // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 1 (115). С. 94–99.
  7. Nesterova E.I. Generalized algorithm for processing expert information based on qualimetric evaluations (using the example of cinematographic systems) // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2011. Vol. 45. № 2. P. 58–63. DOI: 10.3103/S0005105511020038.
  8. Нестерова Е.И. Формирование структуры выходных квалиметрических характеристик кинематографической системы // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 1 (115). С. 55–60.
  9. Нестерова Е.И., Щербакова Е.В. Решение задач классификации аудиовизуальной техники с использованием лингвистических шкал // Вестник Новосибирского государственного университета. Сер.: Информационные технологии. 2009. Т. 7. № 1. С. 37–42.
  10. Очкова Е. 9 сфер применения виртуальной реальности: размеры рынка и перспективы. URL: <https://vc.ru/flood/13837-vr-use> (дата обращения: 03.09.2019).
- Получено 10.09.2019*

Нестерова Елена Ивановна, д.т.н., заведующий кафедрой компьютерной графики и дизайна Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения. 191119, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Правды, 13. Тел. +7 921 632-37-82. E-mail: nesterova.el.i@yandex.ru

A VIRTUAL REALITY SYSTEM FUNCTIONALITY ANALYSIS METHOD

Nesterova E.I.

The St. Petersburg State Institute of Film and Television, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: nesterova.el.i@yandex.ru

Virtual reality solutions and systems are currently of great interest to users in various applications. Multimedia solutions include a wide spectrum of virtual reality system devices and accessories. A method is proposed to measure the functionality of Virtual reality system components based on a subjective expert survey of users. The method is unique in that it allows an evaluation system to be built (design intent, user preferences, subjective rating scales). The evaluation system customization functionality makes it possible to use this evaluation method irrespective of the current level of virtual reality technology and the design of virtual reality system components.

Keywords: *functionality, hardware, functional parameter, virtual reality systems*

DOI: 10.18469/ikt.2019.17.4.07

Nesterova Elena Ivanovna, St. Petersburg State Institute of Film and Television, 13, Pravdy Street, St. Petersburg, 191119, Russian Federation; Head of computer graphics and design Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 921 632-37-82. E-mail: nesterova.el.i@yandex.ru

References

1. Makarov I.M., Rahmankulov V.Z., Ahrem A.A. Virtual'noe modelirovanie i intel-lektual'noe upravlenie slozhnymi komp'yuterno-integrirovannymi sistemami [Virtual modeling and intelligent control of complex computer-integrated systems]. *Informacionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [Information Technologies and Computing Systems], 2007, no. 2, pp. 11–24. (In Russian).
2. Nesterova E.I., Smogorzhevsky A.A. Sredstva modelirovaniya, ispol'zuemye pri model'no-parametricheskom osnashchenii konferenc-zalov [The modeling means used in model and para-met-

- rical equipment of the conference hall]. *Infokommunikacionnye tehnologii* [Infocommunication technologies], 2015, vol. 13, no. 2, pp. 221–228. (In Russian).
3. Nesterova E.I., Krivenok N.L., Smogorzhevsky A.A. Osobennosti realizacii innovacionnyh proektov mediaindustrii [Features of the implementation of innovative projects of the media industry]. *Innovacii* [Innovations], 2017, no. 9, pp. 116–120. (In Russian).
  4. Nesterova E.I. *Kriterii, metodi i algoritmi analiza kvalimetriceskikh harakteristik v kinematograficheskikh sistemah* [Criteria, Methods and Algorithms for Analyzing Qualimetric Characteristics in Cinematographic Systems]. Sankt-Petersburg: Politehnika Publ., 2016, 213 p. (In Russian).
  5. Nesterova E.I. Correlation between subjective and objective methods for obtaining measurement information in cinematic systems. *Nauchno-tekhnicheskaya informaciya. Seriya Informacionnye processy i sistemy* [Scientific and Technical Information. Series Information Processes and Systems], 2011, no. 3, pp. 149–153. (In Russian).
  6. Nesterova E.I. Ispol'zovanie integral'nyh kriteriev pri reshenii kvalimetriceskikh zadach [The use of integral criteria in solving qualimetric problems]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie* [Scientific and Technical Sheets of St. Petersburg State Polytechnical University. Computer science. Telecommunications. Control], 2011, no. 1 (115), pp. 94–99. (In Russian).
  7. Nesterova E.I. Generalized algorithm for processing expert information based on qualimetric evaluations (using the example of cinematographic systems). *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2011, vol. 45, no. 2, pp. 58–63. DOI: 10.3103/S0005105511020038.
  8. Nesterova E.I. Formirovanie struktury vyhodnyh kvalimetriceskikh harakteristik kinematograficheskoy sistemy [Formation of the structure of the output qualimetric characteristics of the cinema system]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie* [Scientific and Technical Sheets of St. Petersburg State Polytechnical University. Computer science. Telecommunications. Control], 2011, no. 1 (115), pp. 55–60. (In Russian).
  9. Nesterova E.I., Scherbakova E.V. Reshenie zadach klassifikacii audiovizual'noj tekhniki s ispol'zovaniem lingvisticheskikh shkal [Solving the problems of classification of audiovisual equipment using linguistic scales]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informacionnye tekhnologii* [Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Information Technology], 2009, vol. 7, no. 1, pp. 37–42. (In Russian).
  10. Ochkova E. *9 sfer primeneniya virtual'noj real'nosti: razmery rynka i perspektivy* [9 Areas of Application of Virtual Reality: Market Size and Prospects]. Available at: <https://vc.ru/flood/13837-vr-use> (accessed: 03.09.2019). (In Russian).

Received 10.09.2019

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.391

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ БЕЛОГО ШУМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО КАНАЛА РАДИОСВЯЗИ УКВ-ДИАПАЗОНА

Зотов К.Н., Жданов Р.Р.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ

E-mail: zkn2002@inbox.ru, rtz348@mail.ru

Рассматривается способ создания защищенного широкополосного канала радиосвязи от несанкционированного доступа в диапазоне ультракоротких волн. В связи с большим количеством устройств ультракоротковолнового диапазона, ежегодно продаваемых населению, возникает необходимость защиты канала связи на коротких расстояниях (в одном офисе, магазине, на торговом складе и т. д.) от случайных вмешательств или целенаправленной радиоэлектронной борьбы и промышленного шпионажа. Дешевым и эффективным способом является создание защищенного канала связи путем внедрения генератора белого шума совместно с фильтром, выделяющим