

Моделирование оценки качества восприятия (QoE) сервисов киберфизического интеллектуального пространства

И. В. Ватаманюк¹, Д. А. Малов², Д. К. Левоневский³

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской Академии Наук

¹vatamaniuk@iias.spb.su, ²malovdmitrij@gmail.com, ³dlewonewski.8781@gmail.com

Аннотация. Предложена модель оценки качества восприятия сервисов киберфизического интеллектуального пространства, которая позволяет на основе исторических данных об объективных параметрах качества обслуживания пользователей сделать вывод о том, насколько пользователь удовлетворен предоставленными ему сервисами. Рассмотрены модели сервисов видеоконференцсвязи, корпоративного телевидения, а также локализации и навигации, выделены общие и специфические показатели качества обслуживания сервисов. Предложенная модель оценки сервисов, основанная на алгоритме кластеризации kmeans++, позволяет на этапе разработки киберфизического интеллектуального пространства анализировать ключевые показатели производительности системы и корректировать предъявляемые к ним требования.

Ключевые слова: QoE; QoS; качество восприятия; качество обслуживания; киберфизические системы; интеллектуальное пространство

I. ВВЕДЕНИЕ

Взаимодействие пользователя с киберфизическим интеллектуальным пространством (КФП) – комплексный процесс, субъективное качество которого обусловлено множеством различных факторов. Основными его показателями являются так называемые качество восприятия (Quality of Experience, QoE) и качество обслуживания (Quality of Service, QoS). Первое понятие, как правило, рассматривается в более широком смысле [1-4]: качество обслуживания (QoS) объективно, оно определяется параметрами, предоставляемыми пользователю с точки зрения измеримых показателей производительности сервисов, приложений и сети, в то время как субъективное качество восприятия QoE определяется с точки зрения эмоций пользователя, его опыта взаимодействия с системой и включает в себя QoS в качестве одного из аспектов.

II. ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕРВИСОВ КФП

Рассмотрим КФП на примере Многомодальной Информационно-Навигационной Облачной Системы [5], предоставляющей пользователю следующие сервисы: видеоконференцсвязь (ВКС), корпоративное телевидение (КТ), локализация и навигация (ЛН). Выделим основные параметры QoS сервисов КФП и смоделируем оценку QoE методами машинного обучения (рис. 1.)

A. Общие параметры качества обслуживания сервисов КФП

При разработке методики оценивания многомодального взаимодействия пользователей с обеспечивающими устройствами окружающего КФП можно выделить показатели качества обслуживания (QoS), уникальные для каждого сервиса, а также ряд показателей, общих для всех сервисов. В частности, каждая пользовательская заявка требует обслуживания (выполнения), которое предполагает загрузку определенных аппаратных и программных ресурсов (дисплей, звук, пользовательская сессия) в течение некоторого времени [6]. Основные параметры QoS, общие для всех модулей КФП, связаны со временем загрузки и инициализации приложений, временем обработки заявок при различном уровне нагрузки на систему (Табл. 1). Исследования [7] показывают, что наибольшее влияние на восприятие пользователем веб-сервисов, в отличие от мультимедийных аудио- и видеосервисов, оказывает время ожидания конечного пользователя. Таким образом, время обработки запроса является ключевым фактором, определяющим QoE в информационных сервисах.

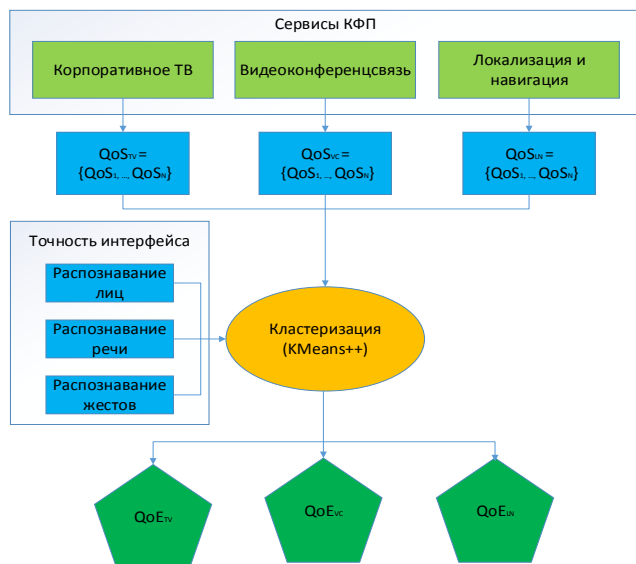


Рис. 1. Моделирование QoE сервисов КФП

ТАБЛИЦА 1 ОБЩИЕ ПАРАМЕТРЫ QoS СЕРВИСОВ КФП

| Показатель | Обозначение | Возможные значения | Допустимые значения |
|---|------------------------|--------------------|---------------------|
| Время загрузки приложения, с | t_l^{App} | $[0; \infty)$ | $[0; t_{ul}]$ |
| Время инициализации приложения, с | t_i^{App} | $[0; \infty)$ | $[0; t_{ul}]$ |
| Время актуализации данных в приложении, с | t_a^{App} | $[0; \infty)$ | $[0; t_{ul}]$ |
| Относительная доля выполненных заявок | $f_{np}^{Success}$ | $[0; 1]$ | $[1-p_D; 1]$ |
| Относительная доля выполненных заявок, взвешенная по приоритету | $f_p^{Success}$ | $[0; 1]$ | $[1-p_D; 1]$ |
| Относительная доля отказов в выполнении пользовательских заданий при отсутствии конкурирующих заданий | f_{normal}^{Denial} | $[0; 1]$ | $[0; p_D]$ |
| Относительная доля отказов в выполнении пользовательских заданий при наличии конкурирующих заданий | f_{stress}^{Denial} | $[0; 1]$ | $[0; p_D]$ |
| Время задержки в выполнении пользовательских заданий при отсутствии конкурирующих заданий, с | $t_{normal}^{Request}$ | $[0; \infty)$ | $[0; t_{ul}]$ |
| Время задержки в выполнении пользовательских заданий при наличии конкурирующих заданий, с | $t_{stress}^{Request}$ | $[0; \infty)$ | $[0; t_{ul}]$ |

В таблице используются следующие обозначения:

- t_{ul} – максимальное время реакции пользовательского интерфейса, которое пользователь считает комфортным;
- p_D – максимально допустимая вероятность отказа в выполнении пользовательской задачи.

В [8] описаны виды пределов для времени отклика пользовательского интерфейса. В частности, при времени реакции порядка 1 с пользователь воспринимает процесс взаимодействия как хорошо контролируемый. При достижении 10 с задержки пользователь с высокой вероятностью отвлечётся на другие задачи. Параметр p_D выбирают, руководствуясь стандартом [9].

Помимо вышеперечисленных параметров, на качество восприятия сервисов КФП существенно влияет модальность интерфейса, посредством которого пользователь взаимодействует с системой. По этой причине при моделировании системы оценивания QoE необходимо учитывать: точность используемых алгоритмов распознавания речи, точность используемых алгоритмов распознавания лиц, удобство графического интерфейса. Рассмотрим подробнее параметры QoS, специфические для каждого сервиса МИНОС.

В. Сервис видеоконференцсвязи

Сервис ВКС является наиболее чувствительным к воздействию множества различных факторов и, вместе с тем, к нему предъявляются наиболее высокие требования, поскольку он должен обеспечить передачу аудио- и видеопотока приемлемого качества в реальном времени между гетерогенными пользовательскими устройствами. Поскольку мобильные клиенты имеют ограниченный размер экрана, относительно медленное сетевое соединение, а также ограниченное время работы от аккумулятора, при разработке приложений ВКС следует учитывать изменчивость сетевой среды, а также то, что мобильные устройства очень разнородны с точки зрения аппаратных и программных решений для обработки видео [10].

Помимо рассмотренных выше общих показателей выделяют следующие параметры QoS для сервиса видеоконференцсвязи [11–14]:

- коэффициент потери пакетов (Packet Loss Rate, PLR), определяется как отношение количества потерянных пакетов к общему числу пакетов;
- джиттер (Jitter), искажение периодического характера потока пакетов между источником и пунктом назначения [15];
- пропускная способность (Bandwidth);
- безопасность (Security);
- время отклика пирингового соединения;

- потребление ресурсов центрального процессора и оперативной памяти клиентской и серверной частей приложения.

Для моделирования качества обслуживания сервиса ВКС ограничимся рассмотрением следующих параметров (табл. 2). При моделировании использовались данные, полученные эмпирическим путем [10].

ТАБЛИЦА 2 ПАРАМЕТРЫ QoS СЕРВИСА ВКС

| Показатель | Обозначение | Возможные значения | Допустимые значения |
|---|--------------------|--------------------|---------------------|
| Время отклика пирингового соединения, мс | t_{resp} | $[0; \infty)$ | $[0; t_{acc}]$ |
| Потребление ресурсов процессора серверной части приложения, % | r_{CPU}^{Server} | $[0; 100]$ | $[0; l_{CPU}]$ |
| Потребление ресурсов оперативной памяти серверной части приложения, МБ | r_{RAM}^{Server} | $[0; C_{RAM}]$ | $[0; l_{RAM}]$ |
| Потребление ресурсов процессора клиентской части приложения, % | r_{CPU}^{Client} | $[0; 100]$ | $[0; l_{CPU}]$ |
| Потребление ресурсов оперативной памяти клиентской части приложения, МБ | r_{RAM}^{Client} | $[0; C_{RAM}]$ | $[0; l_{RAM}]$ |
| Коэффициент потери пакетов (PLR), % | f_{PLR} | $[0; 100]$ | $[0; k_{PLR}]$ |

В таблице используются следующие обозначения:

- t_{acc} – максимальное допустимое время отклика пирингового соединения, которое пользователь считает комфортным;
- l_{CPU} , l_{RAM} – максимально допустимые значения нагрузки на центральный процессор и оперативную память соответственно; определяются исходя из специфики серверного оборудования и клиентского устройства;
- k_{PLR} – максимально допустимый коэффициент потери пакетов.

С. Сервис корпоративного телевидения

Сервис КТ взаимодействует с пользователями с помощью стационарных камер и экранов, расположенных в разных местах организации. Кроме того, пользователи могут управлять сервисом с помощью мобильных устройств. В функции сервиса входит трансляция на стационарные экраны информации для сотрудников и посетителей (сведения об институте и его деятельности, демонстрация разработок, объявления, приветствия, поздравления) по их запросу и/или в соответствии с расписанием. Параметры QoS этого сервиса связаны с задержками, отказами и потерями, возникающими при трансляции медиаконтента [6]. Для моделирования сервиса КТ используем параметры, представленные в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3 ПАРАМЕТРЫ QoS СЕРВИСА КТ

| Показатель | Обозначение | Возможные значения | Допустимые значения |
|---|-----------------------|--------------------|------------------------|
| Задержка между планируемым и фактическим временем трансляции медиа, с | t_{Delay}^{CT} | $[0; \infty)$ | $[0; t_{distraction}]$ |
| Относительное время простоя | f_{down}^{CT} | $[0; 1]$ | $[0; t_{distraction}]$ |
| Соотношение времени трансляции и объёма транслируемой информации, бит/с | $r_{perception}^{CT}$ | $[0; \infty)$ | $[R_{min}; R_{max}]$ |
| Время смены медиафайлов, с | t_{load}^{CT} | $[0; \infty)$ | $[0; t_{UI}]$ |
| Относительная доля неуспешных загрузок контента | f_d^{CT} | $[0; 1]$ | $[0; p_D]$ |
| Относительная доля потерь по времени | f_t^{CT} | $[0; 1]$ | $[0; 1 - I/I_{max}]$ |
| Относительная доля потерь по области отображения | f_i^{CT} | $[0; 1]$ | $[0; 1 - I/I_{max}]$ |
| Коэффициент искажения | k_d^{CT} | $[0; \infty)$ | $[0; 1 - I/I_{max}]$ |

В таблице используются следующие обозначения:

- $t_{distraction}$ – время, по истечении которого пользователь с большой вероятностью отвлечётся на другие задачи [8];
- I – количество информации в медиафайле, бит;
- I_{max} – норма максимально допустимого количества информации в медиафайле, бит;
- R_{min} , R_{max} – оценки минимальной и максимальной скорости восприятия информации пользователем, бит/с.

Д. Сервис локализации и навигации

Перемещение внутри малознакомых зданий может быть затруднительным для пользователей. Построение маршрута пользователя от его текущего местоположения, определенного методами локализации, до требуемого места назначения включает в себя построение оптимального пути, отслеживание передвижений пользователя и сопоставление их с намеченным маршрутом, а также предоставление рекомендаций в случае затруднений. По мере того, как пользователь следует указаниям, система динамически обновляет свою оценку местоположения пользователя и генерирует новое направление по мере достижения контрольных точек [16]. Для моделирования сервиса локализации и навигации в киберфизическом пространстве была построена тестовая модель в среде Unity 3D, имитирующая этаж здания и людей, передвигающихся по нему.

На QoS сервиса локализации и навигации внутри помещений влияет морфология среды, структура системы локализации, а также свойства используемой технологии (WiFi, UWB, ZigBee, RFID, Bluetooth, и т.д.) [17]. Основные параметры, которые при этом учитываются – это точность локализации пользователя (Localization Accuracy),

определяемая в нашем случае, как ошибка предсказания обученного алгоритма, и частота отчета о местоположении (Position Report Frequency), определяемая на стадии разработки аппаратной части системы (табл. 4).

Следует учитывать, что частота отчета о местоположении, с одной стороны, влияет на точность определения местоположения пользователя (чем чаще отправляются отчеты, тем точнее оценка в реальном времени), а с другой стороны – оказывает существенную нагрузку на сеть (слишком высокая частота может перегрузить канал связи клиентского устройства с сервером, а также привести к быстрому разряду аккумулятора мобильного устройства).

ТАБЛИЦА IV ПАРАМЕТРЫ QoS СЕРВИСА ЛН

| Показатель | Обозначение | Возможные значения | Допустимые значения |
|--|-------------|--------------------|--------------------------|
| Точность локализации пользователя | Acc_{loc} | [0; 1] | $[Acc_{min}; 1]$ |
| Частота отчета о местоположении (PRF), 1/с | PRF_{loc} | $[0; PRF_{max}]$ | $[PRF_{min}; PRF_{max}]$ |

В таблице используются следующие обозначения:

- Acc_{min} – минимально допустимая точность алгоритма предсказания, обученного на исторических данных;
- PRF_{min} ; PRF_{max} – минимально и максимально допустимые значения частоты отчета о местоположении.

III. ОЦЕНИВАНИЕ QoE МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Чтобы оценить QoE и установить его корреляцию с параметрами QoS сервисов КФП, необходимо оценить математическое представление отношений ключевых показателей производительности с помощью математической модели QoS/QoE для всех сервисов системы [12]. Для тестирования модели оценки QoE были сгенерированы данные по параметрам QoS сервисов, рассмотренных выше (рис. 1).

При решении данной задачи был использован алгоритм кластеризации k-means++ (реализация библиотеки scikit-learn). Исходные данные были предварительно стандартизированы: среднее по всей выборке было приведено к 0, дисперсия приведена к 1.

При выборе параметров алгоритма мы исходили из того, что пользователь теоретически может оценить систему киберфизического пространства и каждый его сервис в отдельности по 5-балльной шкале. Следовательно, при кластеризации мы разбиваем нашу исходную выборку на 5 кластеров. Результат кластеризации после снижения размерности пространства с 46 до 2 с помощью метода главных компонент (реализация библиотеки scikit-learn) для каждого сервиса представлен ниже (рис. 2).

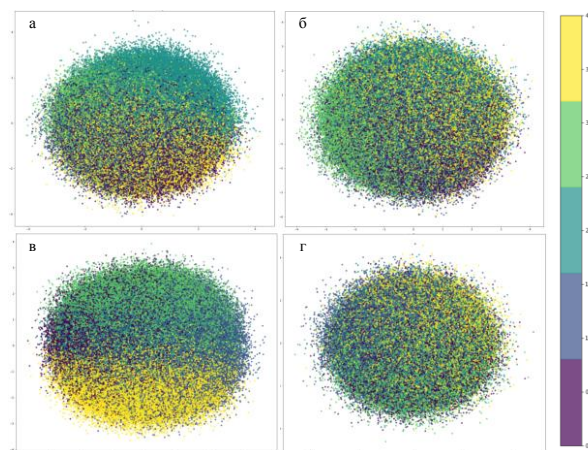


Рис. 2. Результат кластеризации данных QoS сервисов КФП: а) ВКС; б) КТ; в) ЛН; г) интегральная оценка сервисов

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная модель оценки качества восприятия сервисов КФП позволяет на основе исторических данных об объективных параметрах качества обслуживания пользователей сделать вывод о том, насколько пользователь удовлетворен предоставленными ему сервисами. Анализ полученных данных дает возможность оценить, какие параметры качества вносят наибольший вклад в субъективную оценку сервиса пользователем, а также, какие параметры сервисов КФП требуют доработки и улучшения. Представленная модель, безусловно, требует валидации на основе анкетирования пользователей после непосредственного развертывания систем КФП в организации либо на предприятии, однако может использоваться уже на этапе разработки для мониторинга ключевых показателей производительности системы и проверки их на соответствие предъявляемым требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kwon A., Kang J.M., Seo S.S., Kim S.S., Chung J.Y., Strassner J., Hong J.W.K. The design of a quality of experience model for providing high quality multimedia services // IEEE International Workshop on Modelling Autonomic Communications Environments. 2010. pp. 24-36. DOI: 10.1007/978-3-642-16836-9_3
- [2] TM Forum GB923: Wireless service measurement Handbook. 2004.
- [3] Cheong F., Lai R. QoS specification and mapping for distributed multimedia systems: A survey of issues // Journal of Systems and Software. 1999. Vol. 45, № 2. pp. 127-139. DOI: 10.1016/S0164-1212(98)10073-0
- [4] Nahrstedt K., Steinmetz R. Resource management in networked multimedia systems // IEEE Computer. 1995. Vol. 28, № 5. pp. 52-63. DOI: 10.1109/2.384118
- [5] Левоневский Д.К., Ватаманюк И.В., Савельев А.И., Многомодальная информационно-навигационная облачная система МИНОС для корпоративного киберфизического интеллектуального пространства // Программная инженерия. 2017. №3. С. 120 – 128. DOI: 10.17587/prin.8.120-128
- [6] Levonevskiy D., Vatanianuk I., Saveliev A. Processing models for conflicting user requests in ubiquitous corporate smart spaces // MATEC Web Conference. 2018. Vol. 161. p. 03006. DOI: 10.1051/mateconf/201816103006
- [7] Egger S., Hossfeld T., Schatz R., Fiedler M. Waiting times in quality of experience for web based services // Quality of Multimedia Experience

- (QoMEX) Fourth International Workshop on. 2012. pp. 86-96. DOI: 10.1109/QoMEX.2012.6263888
- [8] Menascé D.A. QoS issues in web services // IEEE internet computing. 2002. Vol. 6, № 6. pp. 72-75. DOI: 10.1109/MIC.2002.1067740
- [9] GOST R 27.403-2009 Nadezhnost' v tehnikе (SSNT). Plany ispytaniy dlja kontrolja verojatnosti bezotkaznoj raboty. M.: Standartinform. 2013. 12 s. (In Russian)
- [10] Karasev E.Yu., Vatamaniuk I.V., Saveliev A.I., Ronzhin A.L. Architectural Solutions for Integrating a Video Conferencing Module into Cyberphysical Intelligent Space // Informatsionno-upravliaiushchie sistemy (Information and Control Systems). 2018. № 1. pp. 2–10. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2018.1.2 (In Russian)
- [11] Wang Z., Crowcroft J. Quality-of-service routing for supporting multimedia applications // IEEE Journal on selected areas in communications. 1996. Vol. 14, № 7. pp. 1228-1234. DOI: 10.1109/49.536364
- [12] Alkahtani A.M.S., Woodward M.E., Al-Begain K. An overview of Quality of Service (QoS) and QoS routing in communication networks // 4th PGNET. 2003. pp. 236-242. DOI: 10.1.1.63.2425
- [13] Vaser M., Forconi S. QoS KPI and QoE KQI Relationship for LTE Video Streaming and VoLTE Services // Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies 9th International Conference on. 2015. pp. 318-323. DOI: 10.1109/NGMAST.2015.34
- [14] Tanenbaum A.S. Computer Networks. 4th ed. New Jersey. Prentice Hall PTR. 2003.
- [15] Brun O., Bockstal C., Garcia J.M. A simple formula for end-to-end jitter estimation in packet-switching networks // Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies. 2006. pp. 14-14. DOI: 10.1109/ICNICONSMCL.2006.34
- [16] Malov D., Edemsky A. Proactive localization system for users of cyberphysical space // International Conference on Interactive Collaborative Robotics. 2018 (In press).
- [17] Machaj J., Brida P., Majer N. Novel criterion to evaluate QoS of localization based services // Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems. 2012. pp. 381-390. DOI: 10.1007/978-3-642-28490-8_40