

Научная статья

УДК 621.397

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2026-12-3-35-43>

EDN:ZBQLJP



Анализ и исследование реализации услуг дополненной реальности

✉ Мария Александровна Маколкина, makolkina.ma@sut.ru

✉ Артём Дмитриевич Стерликов ✉, sterlikov.ad@sut.ru

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

Аннотация

Сегодня появляется большое количество услуг, ориентированных на передачу трафика дополненной реальности в режиме реального времени. Это приводит к сложной задаче формирования показателей, оказывающих наибольшее влияние на оценку качества предоставления услуг дополненной реальности, которая проникла во все сферы человеческой жизни и уверенно занимает все возрастающую долю рынка телекоммуникаций. Она позволяет отображать дополнительную информацию о существующих в физическом мире объектах с помощью различных идентификаторов. Ее область использования начинается от образования и медицины, и продолжается применением при предоставлении услуг тактильного Интернета вещей, а также беспилотного транспорта и услуг телеприсутствия. В данном исследовании для разных беспроводных технологий, используемых для предоставления услуги дополненной реальности через мобильное приложение, проведена комплексная оценка качества восприятия субъективными и объективными методами. Проанализированы разные устройства и области применения дополненной реальности в сетях связи. Выделено приложение, географически распределенное по разным городам. Выполнен анализ параметров сети и получены результаты расчетов параметра Хёрста и субъективной оценки качества для различных беспроводных технологий и разной плотности пользователей. Установлена взаимосвязь между субъективными и объективными оценками качества предоставления услуг дополненной реальности. **Актуальность** работы обусловлена необходимостью определения субъективных оценок и параметра Хёрста в зависимости от используемых беспроводных технологий дополненной реальности.

Используемые методы: анализ графика изменения дисперсии для обработки результатов эксперимента. **Результаты** обоснованы и могут быть добавлены к характеристикам сети для оценки работы мобильного приложения дополненной реальности.

Новизна полученных результатов заключается в том, что рассмотрен подход к оценке качества предоставления услуг дополненной реальности, основанный на установленной взаимосвязи субъективных оценок и коэффициента Хёрста.




Практическая значимость: выделено мобильное приложение дополненной реальности, географически распределенное по городам с разной плотностью населения. Выполнен анализ сети в разные временные периоды и получены результаты расчетов для беспроводных технологий Wi-Fi и 4G с целью определения зависимости коэффициента временного ряда и средней интенсивности размера пакетов. Проведена комплексная оценка качества восприятия субъективными и объективными методами. Проведена комплексная оценка качества восприятия субъективными и объективными методами ACR. Разработана структура экспериментального стенда и алгоритм проведения эксперимента.

Ключевые слова: дополненная реальность, анализ трафика, интенсивность пакетов, коэффициент зависимости временного ряда, распределение интервалов времени

Ссылка для цитирования: Маколкина М.А., Стерликов А.Д. Анализ и исследование реализации услуг дополненной реальности // Труды учебных заведений связи. 2026. Т. 12. № 3. С. 35–43. DOI:10.31854/1813-324X-2026-12-3-35-43. EDN:ZBQLJP

Original research
<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2026-12-3-35-43>
EDN:ZBQLJP

Analysis and Research of AR Services Implementation

 **Maria A. Makolkina**, makolkina.ma@sut.ru
 **Artem D. Sterlikov** , sterlikov.ad@sut.ru

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Annotation

*Today, many services are emerging that transmit augmented reality traffic in real time. This leads to the complex task of formulating metrics for evaluating augmented reality services. This article examines a comparison of wireless augmented reality technologies for a mobile application. This leads to the difficult task of generating indicators that have the greatest impact on assessing the quality of augmented reality services. In this study, a comprehensive assessment of the quality of perception using subjective and objective methods was carried out for various wireless technologies used to provide augmented reality services through a mobile application. The application is highlighted, geographically distributed across different cities. The analysis of network parameters was performed and the results of calculations of the Hurst parameter and subjective quality assessment for various wireless technologies and different user densities were obtained. The relationship between subjective and objective assessments of the quality of augmented reality services has been established. **The relevance** of this work is determined by the need to determine subjective assessments and the Hurst exponent depending on the wireless augmented reality technologies used.*

Method. When processing the experimental results, the method of analyzing the variance graph was used.

The results are substantiated and can be added to the network characteristics for evaluating the performance of a mobile augmented reality application.

The novelty of the obtained results lies in the fact that an approach to assessing the quality of augmented reality services is considered, based on the established relationship between subjective assessments and the Hurst exponent.

Practical significance: an application is geographically distributed across cities with different population densities. Network analysis is performed over different time periods and calculation results are obtained for Wi-Fi and 4G wireless technologies in order to determine the relationship between the time series coefficient and the average packet size intensity. A comprehensive assessment of the quality of perception by subjective and objective methods was carried out.

Keywords: augmented reality, traffic analysis, packet intensity, time series dependence coefficient, time interval distribution

For citation: Makolkina M.A., Sterlikov A.D. Analysis and Research of AR Services Implementation. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2026;12(3):35–43. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2026-12-3-35-43. EDN:ZBQLJP

Введение

В современном мире телекоммуникаций постоянно развиваются существующие технологии и появляются новые услуги. Одной из услуг, способных расширить возможности пользователя по восприятию информации об окружающих объектах, является дополненная реальность (AR, аббр. от англ. Augmented Reality). Для метавселенной используются различные иммерсивные технологии, в том

числе AR, которая позволяет взаимодействовать с цифровыми и искусственными мирами, а также друг с другом, соединять цифровые и реальные миры в режиме реального времени [1]. Дополненная реальность позволяет отображать дополнительную информацию о существующих в физическом мире объектах с помощью различных идентификаторов, в том числе RFID-меток, QR-кодов и распознавания образов [2]. Особое внимание уделено пользовательскому опыту и взаимодействию с AR-

приложениями, что является важным аспектом успешной реализации услуг в данной сфере. На сегодняшний день существует достаточно большое количество AR-приложений в различных сферах, таких как медицина, образование, туризм и так далее [3, 4], которые могут сильно отличаться друг от друга в зависимости от назначения и способа отображения информации. Удовлетворенность пользователя услугами AR будет очень сильно зависеть от адекватного выбора способа отображения. Например, если человек управляет автомобилем и движется на большой скорости, он не сможет воспринять видеопоток большого разрешения, так как он сосредоточен на дороге, и ему будет достаточно аудио.

Так, с AR-устройствами появляются новые возможности по анализу существующих систем на возможность модернизации и внедрения современных технологий. Анализ существующих услуг дополненной реальности позволит не только оценить текущий уровень развития технологии, но и выявить области, где она может принести наиболь-

шую пользу. Приложения в сфере туризма, описания музейных экспонатов, архитектурных объектов и объектов окружающей среды наиболее популярны¹ [5]. Качество предоставления услуг AR зависит как от работы самого приложения, так и от работы сети. Технологии беспроводного доступа, которые чаще всего используются для реализации приложений AR, будут оказывать существенное влияние на качество восприятия пользователя.

В статье рассматривается подход к оценке качества представления услуг AR, основанный на установленной взаимосвязи субъективных оценок и коэффициента Хёрста [6, 7]. В ходе исследования рассмотрены беспроводные технологии Wi-Fi и 4G в различных городах с разной плотностью пользователей и зонами покрытия, используемые для AR и произведена субъективная оценка качества передачи трафика и расчет параметра Хёрста.

Постановка задачи

Сегодня AR-приложения активно используются в различных сферах деятельности. Пример их использования представлен на рисунке 1.

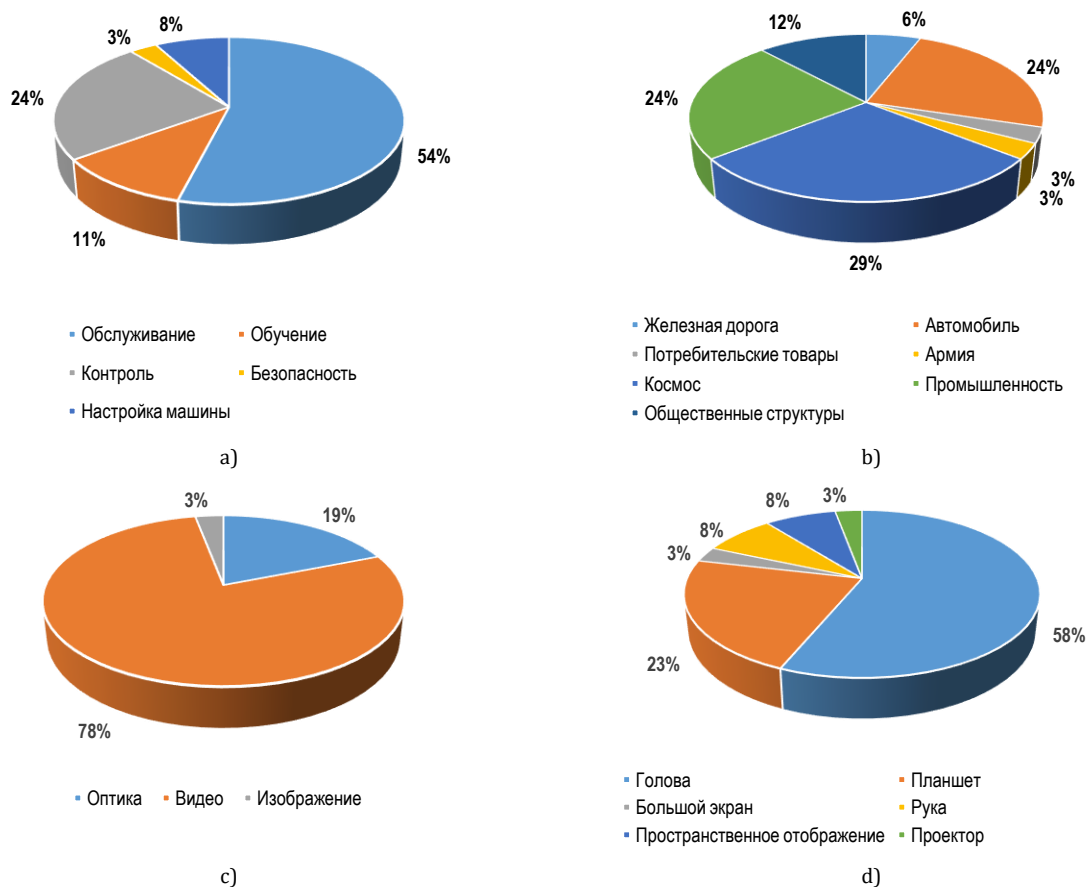


Рис. 1. Распределение AR-приложений по услуге (а), области применения (b), методам наложения AR (с), устройству отображения AR (d)

Fig. 1. Distribution of AR Applications by Service (a), application area (b), AR Overlay Methods (c), AR Display Device (d)

¹ Star Walk 2. Приложение для наблюдения за звездным небом. URL: <https://starwalk.space/ru> (дата обращения 09.06.2026)

AR-технологии пригодились и в бизнесе, их потенциальная применимость охватывает множество разных сфер и функционалов. Потенциально компании смогут отказаться от физических офисов и обслуживать клиентов в виртуальной реальности, быстро и эффективно обучать новых сотрудников, проводить совещания, не находясь в одном месте [8].

AR-технологии внедряют в игры, чтобы пользователи могли взаимодействовать с виртуальными объектами и персонажами в реальной среде. Например, в мобильной игре Minecraft Earth игроки ищут блоки в реальном мире с помощью экрана мобильного устройства. В приложениях вроде Яндекс Карт и Google Maps используют AR, чтобы пользователям было проще ориентироваться в пространстве. К реальным изображениям улиц и зданий добавляются виртуальные надписи и указатели. А в приложениях аэропорта Шереметьево внедрили AR-технологии от Sber. Теперь пользователи могут построить маршрут внутри аэропорта, например до терминала вылета или кафе, и увидеть виртуальные подсказки через камеру смартфона.

Пользователям необходимо подключаться к сети через различные технологии доступа. Они могут влиять на качество услуги. Поэтому дальнейшее исследование будет направлено на анализ характеристик сети доступа при использовании AR-приложений и оценку качества предоставления данных услуг [9].

Структура сети для исследования

Коммуникационные технологии, например, Wi-Fi, могут работать, будучи использованными устройствами вроде смарт-очков. Применение 4G и Wi-Fi действительно может значительно улучшить ситуацию. Во-первых, доступная пропускная способность увеличивается, что частично компенсирует высокие требования к скорости передачи данных. Во-вторых, данные с ограниченной задержкой могут быть отправлены по каналу с минимальным наблюдаемым временем прохождения сигнала туда и обратно. Пакеты данных, относящиеся к классу трафика с восстановлением после потерь, также могут быть отправлены по обоим каналам, чтобы предотвратить дорогостоящий процесс восстановления. Используя Wi-Fi и 4G одновременно, можно значительно улучшить задержку и пропускную способность [10].

Технологию Wi-Fi сравнительно проще развертывать через беспроводные маршрутизаторы и точки доступа для полного покрытия сети. Две полосы частот, а именно sub-6G с полосой пропускания 100 МГц используются сетями 5G, тогда как три непересекающихся канала с полосой пропускания 60–80 МГц используются точками доступа Wi-Fi 6 для получения высокой производительности и иммерсивной среды в AR [11].

Технологии 4G, также известные как LTE-модули, обеспечивают высокоскоростное сотовое соединение для приложений Интернета вещей, а также – надежную и стабильную передачу данных, что делает их подходящими для широкого спектра применения Интернет вещей, включая управления автопарком, мониторинг состояния здоровья и интеллектуальные системы учета [12].

ТАБЛИЦА 1. Характеристики для беспроводных технологий дополненной реальности

TABLE 1. Specifications for Wireless Augmented Reality Technologies

Характеристика	4G	Wi-Fi
Диапазон частот	700 МГц 2600 МГц	2,4 ГГц 5 ГГц
Максимальная дальность	до 10 км	до 100 м (в помещении)
Скорость передачи данных	до 300 Мбит/с	до 9,6 Гбит/с
Сетевое взаимодействие	Пиринговая связь	Точка – точка
Применение	Передача данных, аудио, подключение устройства	Высокоскоростная передача данных, интернет
Стандарт	LTE	IEEE 802.11

Анализ результатов исследования

Исследование проведено в городах с различной плотностью пользователей и зонами покрытия для AR-приложения. В качестве беспроводной связи использованы две технологии: Wi-Fi (IEEE 802.11) и 4G (LTE). Замеры проведены с помощью персонального компьютера. На ноутбук установлен эмулятор Android BlueStacks X с приложением дополненной реальности Star Walk 2. Анализ трафика беспроводной сети выполнен в программе Wireshark. Схема стенда представлена на рисунке 2.

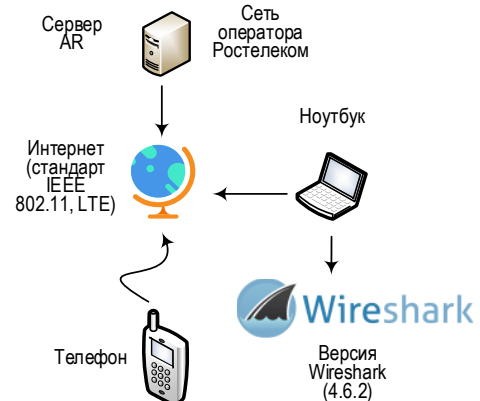


Рис. 2. Схема стенда для исследования

Fig. 2. Layout of the Research Setup

Эксперимент состоял из четырех этапов.

Этап 1. Подключить персональный компьютер Digma Pro Sprint M к сети связи через технологию Wi-Fi и 4G.

Этап 2. Включить мобильное AR-приложение для наблюдения за звездным небом Star Walk 2 и запустить программу для захвата пакетов Wireshark.

Этап 3. Выполнить захват пакетов в реальном времени (время захвата пакетов 5–10 мин.).

Этап 4. Проанализировать трафик реального времени в течение 5–10 мин.

Перед началом эксперимента было проведено 54 исследования: 16 – в Самаре, 12 – в Чапаевске, 19 – в Санкт-Петербурге, 7 – в Сосновом Бору.

В Самаре исследование проведено в университете ПГУТИ во время зимних каникул. Поэтому на графике видно, что интенсивность не превышает 100 пакетов в секунду. Среднее значение интенсивности составило 50 пакетов в секунду (рисунок 3а).

В Чапаевске исследование проведено в торговом центре «Панорама». Исходя из того, что плотность пользователей в городе небольшая в связи с временным периодом новогодних праздников, можно наблюдать на графике, что интенсивность не превышает 80 пакетов в секунду. Среднее значение интенсивности – 40 пакетов в секунду (рисунок 3б).

По результатам исследования, уровень ошибок протокола TCP при передаче трафика во время зимних каникул выше в Чапаевске по сравнению с Самарой. В Самаре средняя интенсивность пакетов с ошибками достигает 5 пакетов в секунду. В Чапаевске это значение доходит до 20 пакетов в секунду. Исследовалось AR-приложение Star Walk 2. В случае интенсивности пакетов с ошибками возникла рассинхронизация картинок описания и более длительное время отклика.

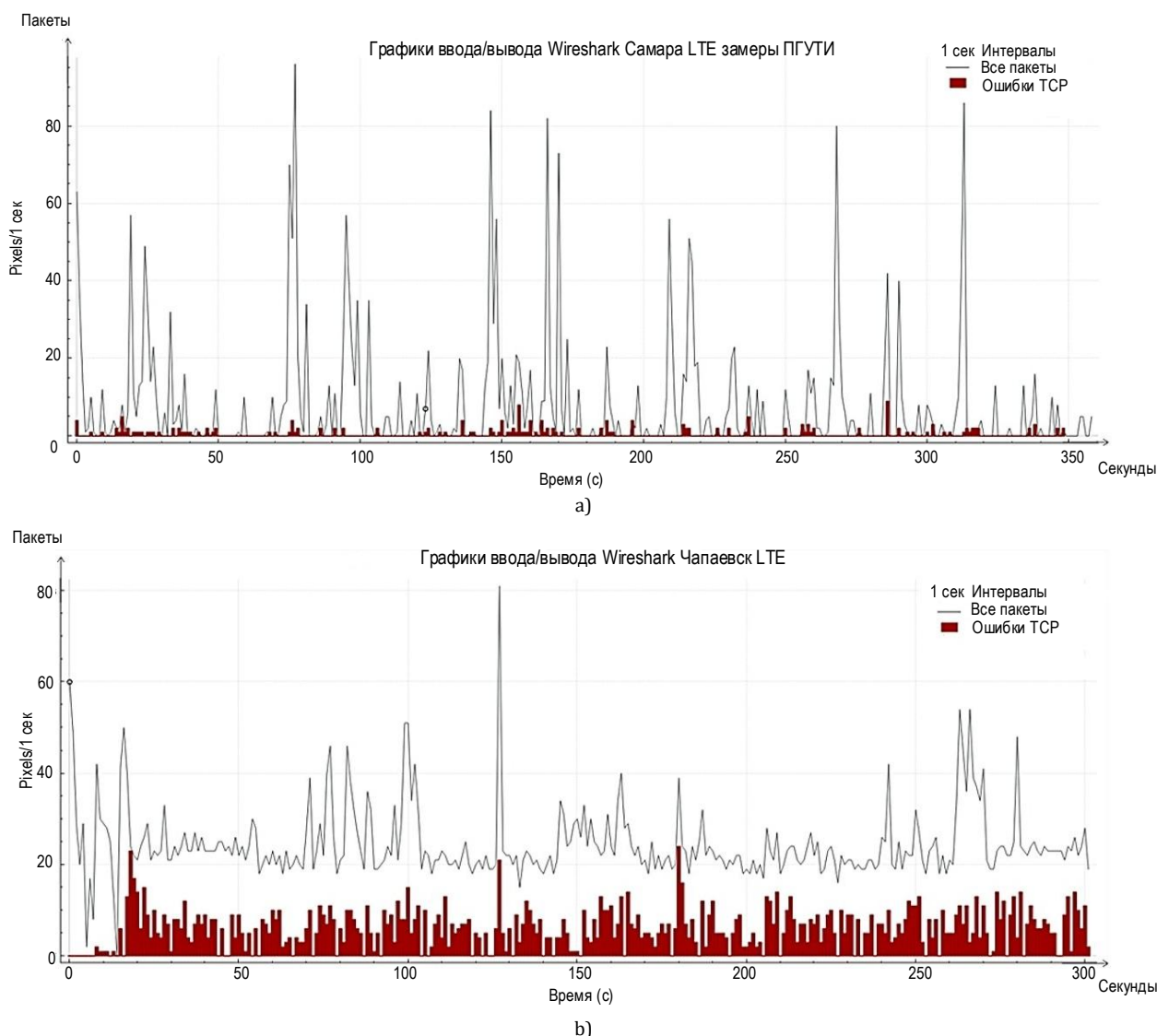


Рис. 3. Средняя интенсивность пакетов LTE в Самаре (а) и в Чапаевске (б)

Fig. 3. Average intensity of LTE packets in Samara (a) and Chapaevsk (b)

Для эксперимента используем три значения из программы Wireshark: No., Time и Length. Значение No. показывает номер пакета в списке пакетов и варьируется в диапазоне от 1 до 2844. Значение Time

показывает время захвата каждого пакета и варьируется в диапазоне 0–8 с. Значение Length отображает размер захваченного пакета и варьируется от 42 до 5494 байт. Исходные данные представлены на рисунке 4.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length
1		8.8.8.8	172.20.10.11	TCP	
2	0.000201	172.20.10.11	8.8.8.8	TCP	
3	0.001443	172.20.10.11	8.8.8.8	TLSv1.2	
4	0.074748	8.8.8.8	172.20.10.11	TCP	
5	0.000000	8.8.8.8	172.20.10.11	TLSv1.2	
6	0.001595	172.20.10.11	8.8.8.8	TLSv1.2	
7	0.003700	172.20.10.11	8.8.8.8	TLSv1.2	
8	0.082589	172.20.10.11	74.125.205.113	QUIC	
9	0.036598	172.20.10.11	142.250.150.94	TCP	
10	0.039939	172.20.10.11	74.125.205.113	QUIC	
11	0.074104	172.20.10.11	74.125.205.113	QUIC	
12	0.035084	8.8.8.8	172.20.10.11	TCP	
13	0.000227	172.20.10.11	8.8.8.8	TCP	
14	0.072027	172.20.10.11	8.8.8.8	TCP	
15	0.015910	172.20.10.11	74.125.205.113	QUIC	
16	0.033984	8.8.8.8	172.20.10.11	TCP	
17	0.000479	142.250.150.94	172.20.10.11	TCP	
18	0.000219	172.20.10.11	142.250.150.94	TCP	
19	0.000819	8.8.8.8	172.20.10.11	TCP	
20	0.001633	74.125.205.113	172.20.10.11	QUIC	
21	0.008619	8.8.8.8	172.20.10.11	TLSv1.2	
22	0.006873	8.8.8.8	172.20.10.11	TCP	
23	0.013150	172.20.10.11	74.125.205.113	QUIC	
24	0.001343	172.20.10.11	74.125.205.113	QUIC	
25	0.005729	172.20.10.11	209.85.233.95	TCP	
26	0.013408	172.20.10.11	8.8.8.8	TCP	
27	0.002498	74.125.205.113	172.20.10.11	QUIC	
28	0.053677	172.20.10.11	74.125.205.113	QUIC	
29	0.004423	209.85.233.95	172.20.10.11	TCP	
30	0.000247	172.20.10.11	209.85.233.95	TCP	
31	0.002012	74.125.205.113	172.20.10.11	QUIC	

Рис. 4. Исходные данные в программе Wireshark

Fig. 4. Source Data in the Wireshark Program

Перенесем значения трех столбцов в программу Excel для дальнейших расчетов. Известно, что для стационарных в широком смысле процессов их среднее значение и дисперсия неизменны на всей области существования.

Однако в действительности проверка этого положения на конечной выборке (например, видеоданные) затруднена [13], поэтому статистические характеристики, такие как выборочное среднее значение и дисперсия, обычно определяются в виде:

$$M(X) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_k, \quad (1)$$

$$D(X) = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (x_k - M(X))^2. \quad (2)$$

где $M(X)$ – операция усреднения дисперсии; $x_k, k = 1, 2, \dots, K$ – набор данных.

Среднее значение получилось 0,547, дисперсия – 0,93 (доля измерений, которая вошла в выборку). Построим вероятность попадания в интервал времени между пакетами. В ходе исследования была проведена аппроксимация графика экспоненциальным распределением. Этот график позволяет

упростить анализ и вычисления, особенно когда точный аналитический вид функции неизвестен или сложен для работы. Результаты приведены на рисунке 5.

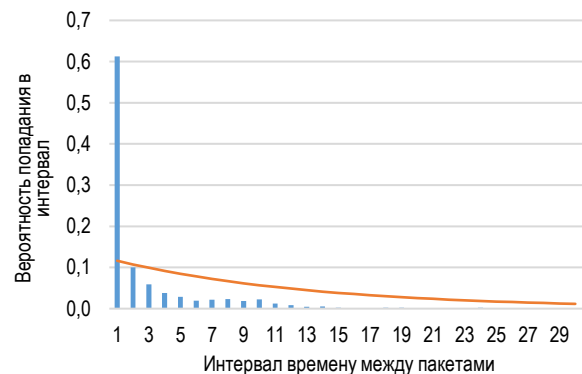


Рис. 5. Аппроксимация графика вероятности попадания в интервал времени между пакетами экспонентой

Fig. 5. Approximation of the Probability Graph of Hitting the Time Interval between Packets by an Exponential Function

Расчет коэффициента Хёрста

В ряде работ параметр Хёрста рассматривался как один из основных показателей оценки качества предоставления услуг AR. Существуют различные методы оценки параметра Хёрста: временные, чис-

ленные, вейвлет-преобразование. Наиболее распространенным является метод анализа графика изменения дисперсии. Из программы Wireshark импортированы исходные данные – один столбец Time. Этот столбец переименован в Packets (сделано для дальнейшего программирования).

В целях автоматизации параметра Хёрста и обработки полученных из Wireshark данных был написан скрипт на языке Python. Код Хёрста, который считывает данные файла Hack.csv на языке программирования Python, представлен на рисунке 6.

```
parametr Hersta.py - C:\Users\istre\AppData\Local\Programs\Python\Python314\parametr H...
File Edit Format Run Options Window Help
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from hurst import compute_Hc, random_walk
import pandas as pd

data = pd.read_csv("Hack.csv")
packets = data["Packets"].dropna()

# Evaluate Hurst equation
H, c, data = compute_Hc(packets, kind='price', simplified=True)

# Plot
f, ax = plt.subplots()
ax.plot(data[0], c*data[0]**H, color="deepskyblue")
ax.scatter(data[0], data[1], color="purple")
ax.set_xscale('log')
ax.set_yscale('log')
ax.set_xlabel('Time interval')
ax.set_ylabel('R/S ratio')
ax.grid(True)
plt.show()

print("H={:.4f}, c={:.4f}".format(H,c))
```

Рис. 6. Скрипт для расчета параметра Хёрста на языке Python

Fig. 6. A Python Script for Calculating the Hearst's

В процессе компиляции кода формируется графический результат. Полученный график с определением коэффициента Хёрста представлен на рисунке 7.

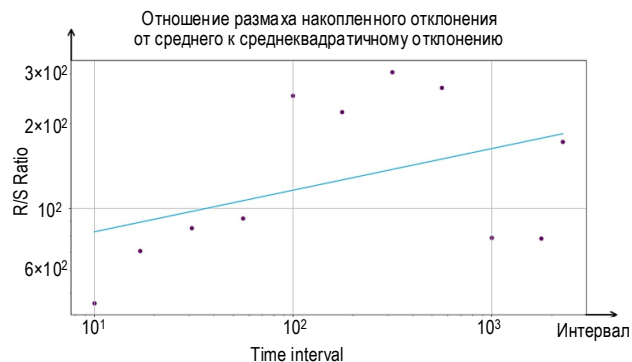


Рис. 7. Оценка коэффициента Хёрста методом анализа графика изменения дисперсии для мобильного AR-приложения

Fig. 7. Estimating the Hurst Exponent Using the Variance Plot Method for a Mobile AR Application

Расчет параметра Хёрста:

$$H = 1 - \frac{\beta}{2}, \tag{3}$$

где H – коэффициент Хёрста; β – угол между прямой линией и горизонталью.

Угол между прямой линией и горизонталью получился 29°. Следовательно, коэффициент Хёрста равен 0,738. Результат удовлетворяет условию:

$$0 < H < 1. \tag{4}$$

Параметр Хёрста находится в диапазоне 0,5–0,9.

В ходе проведения эксперимента анализировался трафик в нескольких городах от разных приложений дополненной реальности при изменениях в условии работы сети. Параллельно проводилась субъективная оценка качества услуг дополненной реальности с использованием метода ACR [14]. В эксперименте участвовало 9 человек, длительность захвата трафика составляла 5 мин., оценки выставлялись по 5-балльной шкале, параллельно рассчитывался параметр Хёрста. Сводные результаты представлены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Оценка параметра Хёрста и субъективная оценка для разных AR-технологий

TABLE 2. Evaluation of the Hearst Parameter and Subjective Evaluation for Different AR Technologies

№ п/п	Технология 4G / Wi-Fi		
	Пропускная способность, кбит/с	Субъективная оценка	Параметр Хёрста
1	138 / 421	3,2 / 2,8	0,738 / 0,685
2	30 / 93	3,35 / 2,9	0,773 / 0,694
3	6,3 / 130	3,78 / 3,51	0,851 / 0,712
4	2,5 / 6,4	4,09 / 3,57	0,921 / 0,746

Корреляция субъективных оценок и параметра Хёрста представлена на рисунке 8.

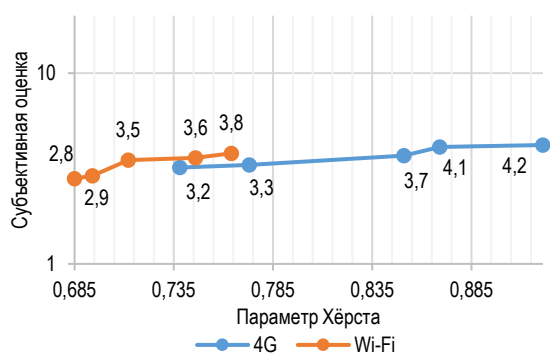


Рис. 8. Взаимосвязь между субъективными оценками и параметром Хёрста

Fig. 8. The Relationship between Subjective Assessments and the Hurst Parameter

Заключение

В рамках данного исследования был проведен эксперимент по оценке качества предоставления

для работы AR-приложения в городах с разной плотностью населения, в различные временные диапазоны и время суток, а также для различных технологий доступа.

В ходе эксперимента была проведена корреляция субъективных и объективных оценок, выявлена подобная взаимосвязь. Также установлено, что с ростом параметра Хёрста увеличилось и значение субъективных оценок, что позволяет сделать вывод о применимости параметра Хёрста для оценки качества предоставления услуг дополненной реальности. Однако существующих метрик недостаточно, чтобы полностью оценить удовлетворенность пользователя услугой, поскольку на сегодняшний день больше внимания уделяют таким критериям, как информативность контента, актуальность и т. д., что ставит новые задачи перед операторами связи.

Список источников

1. Ateya A.A., Abd El-Latif A.A., Muthanna A., Volkov A., Koucheryavy A. Enabling Metaverse and Telepresence Services in 6G Networks. River Publishers, 2025. DOI:10.1201/9788770046749
2. Alkady Y., Rizk R., Alsekait D.M., Alluhaidan A.S., Abdelminaam D.S. SINS_AR: An Efficient Smart Indoor Navigation System Based on Augmented Reality // IEEE Access. 2024. Vol. 12. PP. 109171–109183. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3439357. EDN:FLGUIN
3. Villagran-Vizcarra D.C., Luviano-Cruz D., Pérez-Domínguez L.A., Méndez-González L.C., Garcia-Luna F. Applications Analyses, Challenges and Development of Augmented Reality in Education, Industry, Marketing, Medicine, and Entertainment // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. Iss. 5. P. 2766. DOI:10.3390/app13052766. EDN:EDGKHL
4. Dargan S., Bansal S., Kumar M., Mittal A., Kumar K. Augmented Reality: A Comprehensive Review // Archives of Computational Methods in Engineering. 2022. Vol. 30. PP. 1057–1080. DOI:10.1007/s11831-022-09831-7. EDN:MNIGGL
5. Anwar M.S., Yang J., Frnda J., Choi A., Baghaei N., Ali M. Metaverse and XR for cultural heritage education: applications, standards, architecture, and technological insights for enhanced immersive experience // Virtual Reality. 2025. Vol. 29. P. 51. DOI:10.1007/s10055-025-01126-z. EDN:BSELAT
6. Makolkina M., Prokopiev A., Paramonov A., Koucheryavy A. The Quality of Experience Subjective Estimations and the Hurst Parameters Values Interdependence // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2014. Vol. 8638. PP. 311–318. DOI:10.1007/978-3-319-10353-2_27. EDN:UEUIQL
7. Kirichek R., Makolkina M., Sene J., Takhtuev V. Estimation Quality Parameters of Transferring Image and Voice Data over ZigBee in Transparent Mode // Distributed Computer and Communication Networks. 2016. Vol. 601. PP. 260–267. DOI:10.1007/978-3-319-30843-2_27. EDN:VPGRAZ
8. Dini G., Dalle Mura M. Application of Augmented Reality Techniques in Through-life Engineering Services // Procedia CIRP. 2015. Vol. 38. PP. 14–23. DOI:10.1016/j.procir.2015.07.044
9. Chandra G.R., Rekha K.Ch.C., Varshitha K., Sravani D., Vadlamudi V. HoloComm: An Augmented Reality – Based Public Information and Navigation System // International Journal for Research in Science & Advanced Technologies. 2026. Vol. 26. Iss. 4. PP. 532–536. DOI:10.65726/ijrsat.2026.V26.I04.22. EDN:GKFTBK
10. Pendit U.C., Zaibon S.B., Bakar J.A.A. Conceptual model of mobile augmented reality for cultural heritage site towards enjoyable informal learning aspect // Jurnal Teknologi. 2025. Vol. 77. Iss. 29. DOI:10.11113/jt.v77.6847
11. Lv Z., Lloret J., Song H. Internet of Things and augmented reality in the age of 5 G // Computer Communications. 2020. Vol. 164. PP. 158–161. DOI:10.1016/j.comcom.2020.08.019. EDN:TJEGNO
12. Aguero M., Maharjan D., del Pilar Rodriguez M., Mascarenas D.D.L., Moreu F. Design and Implementation of a Connection between Augmented Reality and Sensors // Robotics. 2020. Vol. 9. Iss. 1. P. 3. DOI:10.3390/robotics9010003
13. Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы: телекоммуникационные приложения. М.: Физматлит, 2008. 368 с.
14. Rec. ITU-T P.910. Subjective video quality assessment methods for multimedia applications. 2023.

References

1. Ateya A.A., Abd El-Latif A.A., Muthanna A., Volkov A., Koucheryavy A. Enabling Metaverse and Telepresence Services in 6G Networks. River Publishers; 2025. DOI:10.1201/9788770046749
2. Alkady Y., Rizk R., Alsekait D.M., Alluhaidan A.S., Abdelminaam D.S. SINS_AR: An Efficient Smart Indoor Navigation System Based on Augmented Reality. IEEE Access. 2024;12:109171–109183. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3439357. EDN:FLGUIN


3. Villagran-Vizcarra D.C., Luviano-Cruz D., Pérez-Domínguez L.A., Méndez-González L.C., Garcia-Luna F. Applications Analyses, Challenges and Development of Augmented Reality in Education, Industry, Marketing, Medicine, and Entertainment. *Applied Sciences*. 2023;13(5):2766. DOI:10.3390/app13052766. EDN:EDGKHL
4. Dargan S., Bansal S., Kumar M., Mittal A., Kumar K. Augmented Reality: A Comprehensive Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2022;30:1057–1080. DOI:10.1007/s11831-022-09831-7. EDN:MNIGGL
5. Anwar M.S., Yang J., Frnda J., Choi A., Baghaei N., Ali M. Metaverse and XR for cultural heritage education: applications, standards, architecture, and technological insights for enhanced immersive experience. *Virtual Reality*. 2025;29:51. DOI:10.1007/s10055-025-01126-z. EDN:BSELAT
6. Makolkina M., Prokopiev A., Paramonov A., Koucheryavy A. The Quality of Experience Subjective Estimations and the Hurst Parameters Values Interdependence. *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*. 2014: 8638:311–318. DOI:10.1007/978-3-319-10353-2_27. EDN:UEUIQL
7. Kirichek R., Makolkina M., Sene J., Takhtuev V. Estimation Quality Parameters of Transferring Image and Voice Data over ZigBee in Transparent Mode. *Distributed Computer and Communication Networks*. 2016;601:260–267. DOI:10.1007/978-3-319-30843-2_27. EDN:VPGRAZ
8. Dini G., Dalle Mura M. Application of Augmented Reality Techniques in Through-life Engineering Services. *Procedia CIRP*. 2015;38:14–23. DOI:10.1016/j.procir.2015.07.044
9. Chandra G.R., Rekha K.Ch.C., Varshitha K., Sravani D., Vadlamudi V. HoloComm: An Augmented Reality – Based Public Information and Navigation System. *International Journal for Research in Science & Advanced Technologies*. 2026;26(4):532–536. DOI:10.65726/ijrsat.2026.V26.I04.22. EDN:GKFTBK
10. Pedit U.C., Zaibon S.B., Bakar J.A.A. Conceptual model of mobile augmented reality for cultural heritage site towards enjoyable informal learning aspect. *Jurnal Teknologi*. 2025;77:29. DOI:10.11113/jt.v77.684
11. Lv Z., Lloret J., Song H. Internet of Things and augmented reality in the age of 5 G. *Computer Communications*. 2020;164: 158–161. DOI:10.1016/j.comcom.2020.08.019. EDN:TJEGNO
12. Aguero M., Maharjan D., del Pilar Rodriguez M., Mascarenas D.D.L., Moreu F. Design and Implementation of a Connection between Augmented Reality and Sensors. *Robotics*. 2020;9(1):3. DOI:10.3390/robotics9010003
13. Sheloukhin O.I., Osin A.V., Smolsky S.M. *Self-Similarity and Fractals: Telecommunication Applications*. Moscow: Fizmatlit Publ.; 2008. 368 p. (in Russ.)
14. Rec. ITU-T P.910. *Subjective video quality assessment methods for multimedia applications*. 2023.

Статья поступила в редакцию 24.03.2026; одобрена после рецензирования 20.04.2026; принята к публикации 19.05.2026


The article was submitted 24.03.2026; approved after reviewing 20.04.2026; accepted for publication 19.05.2026

Информация об авторах:

МАКОЛКИНА
Мария Александровна

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
 <https://orcid.org/0000-0002-4251-2691>

СТЕРЛИКОВ
Артём Дмитриевич

ведущий специалист группы планирования научных исследований и аналитики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
 <https://orcid.org/0009-0009-2895-3130>

Авторы сообщают об отсутствии конфликтов интересов.

The authors declare no conflicts of interests.