

УДК 004.738

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АДАПТИВНОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОСПРИЯТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

Элтарabili М.С., магистрант гр.567001

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Лагутин А.Е. – канд. тех. наук, доцент

**Аннотация.** В статье рассматриваются методы разработки интеллектуальной системы адаптивного мониторинга качества восприятия (QoE) инфокоммуникационных услуг. Особое внимание уделяется моделям оценки QoE с использованием методологий ITU-T и алгоритмов машинного обучения. Рассматриваются механизмы реального времени адаптации мониторинга, методы сбора и обработки метрик качества на основе нейронных сетей, а также применение многофакторной интеллектуальной обработки данных. Отдельно проводится анализ особенностей реализации клиентской части системы на платформе Flutter/Dart. Показано, что комплексное применение современных методов искусственного интеллекта позволяет значительно повысить точность оценки качества восприятия и эффективность управления инфокоммуникационными услугами в реальном времени.

**Ключевые слова:** качество восприятия, QoE, адаптивный мониторинг, инфокоммуникационные услуги, машинное обучение, нейронные сети, ITU-T, Flutter, Dart.

### Введение

Моделирование качества восприятия инфокоммуникационных услуг. Одним из наиболее важных этапов разработки интеллектуальных систем мониторинга является анализ и моделирование качества восприятия. Для систематизации моделей широко применяются рекомендации ITU-T и методы машинного обучения [1, 2].

Модели QoE (рисунок 1) включают шесть основных категорий оценки: субъективные (MOS – Mean Opinion Score), объективные (PESQ, POLQA), гибридные и предиктивные на основе машинного обучения. Рекомендации ITU-T (P.800, GSTR-5GQoE) позволяют классифицировать параметры восприятия и прогнозировать удовлетворённость пользователей ещё на этапе проектирования архитектуры системы.

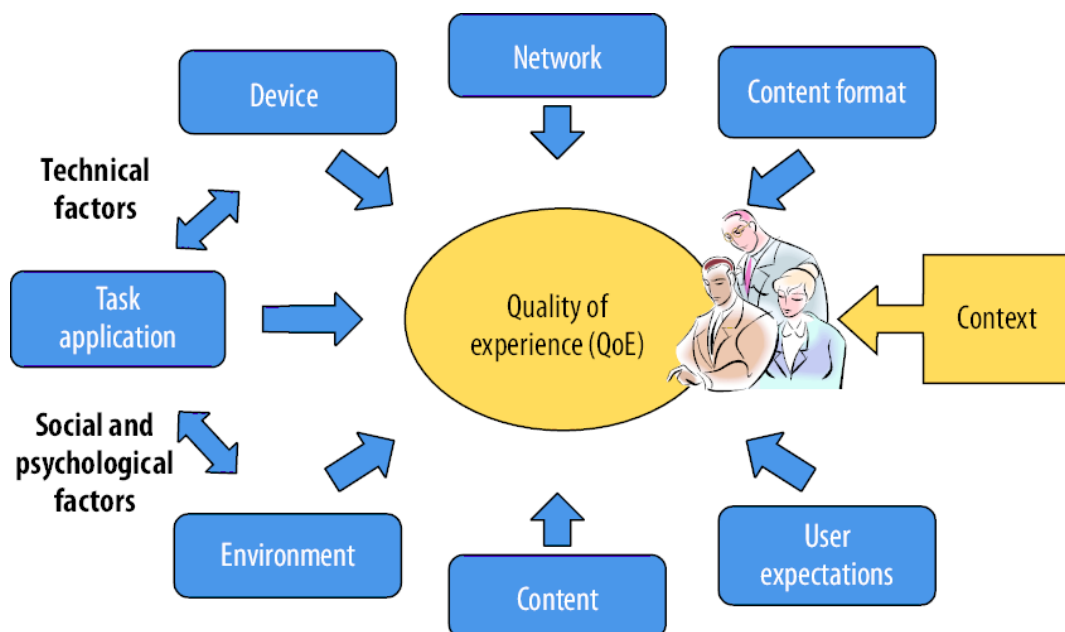


Рисунок 1 – Модель оценки качества восприятия QoE

Методология ITU-T представляет собой международный стандарт анализа качества восприятия мультимедийных услуг. Наиболее известным документом является серия рекомендаций по QoE, содержащая перечень наиболее распространённых метрик [1], включая задержку, джиттер, потери пакетов, разрешение видео и поведенческие характеристики пользователя. Применение моделей машинного обучения (нейронные сети, градиентный бустинг) позволяет переходить от статических оценок к динамическому прогнозированию QoE в реальном времени.

### **Методы адаптивного мониторинга качества восприятия**

В инфокоммуникационных системах обрабатываются различные категории метрик качества восприятия: сетевые параметры (задержка, пропускная способность), контекстные данные (устройство, геолокация) и субъективные отзывы пользователей. Для обеспечения адаптивности мониторинга необходимо применять комплекс мер на основе искусственного интеллекта. К основным принципам относятся точность, оперативность и масштабируемость оценки [3, 8].

Одним из основных методов является использование протоколов сбора данных в реальном времени с применением *HTTPS* и *TLS*-шифрования для защищённой передачи метрик. Дополнительной мерой является агрегация данных на краю сети (*edge computing*) и облачная обработка. Также рекомендуется использовать систему динамического разграничения частоты мониторинга на основе текущего уровня *QoE*.

Важным аспектом является реализация механизмов интеллектуальной обработки, обеспечивающих адаптацию параметров мониторинга в зависимости от контекста. При этом необходимо применять принцип минимизации нагрузки на устройство пользователя, согласно которому мониторинг активируется только при необходимости.

Дополнительно следует учитывать требования нормативно-правовых актов в области обработки пользовательских данных, включая прозрачность сбора метрик и получение согласия.

Не менее важной мерой является организация мониторинга и журналирования событий *QoE*. Ведение логов позволяет выявлять аномалии и оперативно корректировать параметры услуг.

Также рекомендуется применять методы обезличивания данных, что снижает риск компрометации пользовательской информации. В совокупности перечисленные меры формируют многоуровневую адаптивную систему мониторинга, обеспечивающую высокий уровень точности оценки *QoE* в инфокоммуникационных услугах.

### **Механизмы интеллектуальной обработки и адаптации**

Для обеспечения эффективного адаптивного мониторинга необходимо реализовать надёжные механизмы интеллектуальной обработки данных. Интеллектуальная обработка позволяет прогнозировать *QoE*, а адаптация определяет динамическое изменение параметров системы. Разграничение этих процессов является важным условием построения эффективной архитектуры.

Одним из наиболее распространённых подходов является использование моделей машинного обучения [5]. Они позволяют прогнозировать качество восприятия на основе сетевых параметров без необходимости передачи больших объёмов сырых данных. В рамках данного подхода применяются нейронные сети и алгоритмы градиентного бустинга, которые предоставляют точные предсказания в реальном времени. Это особенно актуально для кроссплатформенных систем, где клиентское приложение взаимодействует с сервером через *API*.

В современных системах часто применяются гибридные модели на основе *LSTM* и *Transformer* для временных рядов [6]. Такие модели обеспечивают высокую точность прогнозирования и позволяют снижать нагрузку на сеть за счёт предиктивной адаптации. Однако при использовании *ML*-моделей необходимо учитывать риски переобучения и применять механизмы их защиты, такие как валидация на реальных данных и использование безопасных алгоритмов обучения.

Для повышения уровня адаптивности рекомендуется применять контекстно-зависимую обработку (*context-aware adaptation*). В этом случае система корректирует частоту мониторинга и набор метрик в зависимости от контекста, включая сетевые условия, тип услуги и поведение пользователя. Использование адаптивных алгоритмов существенно повышает эффективность, даже в условиях изменяющейся среды.

Дополнительно в современных системах применяются методы федеративного обучения, при которых модель обучается на устройстве пользователя без передачи сырых данных. При обнаружении аномалий система может автоматически корректировать параметры услуг.

Также важным элементом является защита моделей и их безопасное хранение на стороне клиента. Рекомендуется использовать защищённые хранилища и избегать передачи моделей по незащищённым каналам. На стороне сервера необходимо реализовать проверку актуальности моделей и механизм их обновления.

Таким образом, комплексное применение моделей машинного обучения, контекстной адаптации и федеративного обучения позволяет обеспечить высокий уровень интеллектуальности кроссплатформенных систем мониторинга и эффективно управлять качеством восприятия инфокоммуникационных услуг. На рисунке 2 представлена схема адаптивного мониторинга (*ML* + контекстная адаптация) – поток обработки данных.

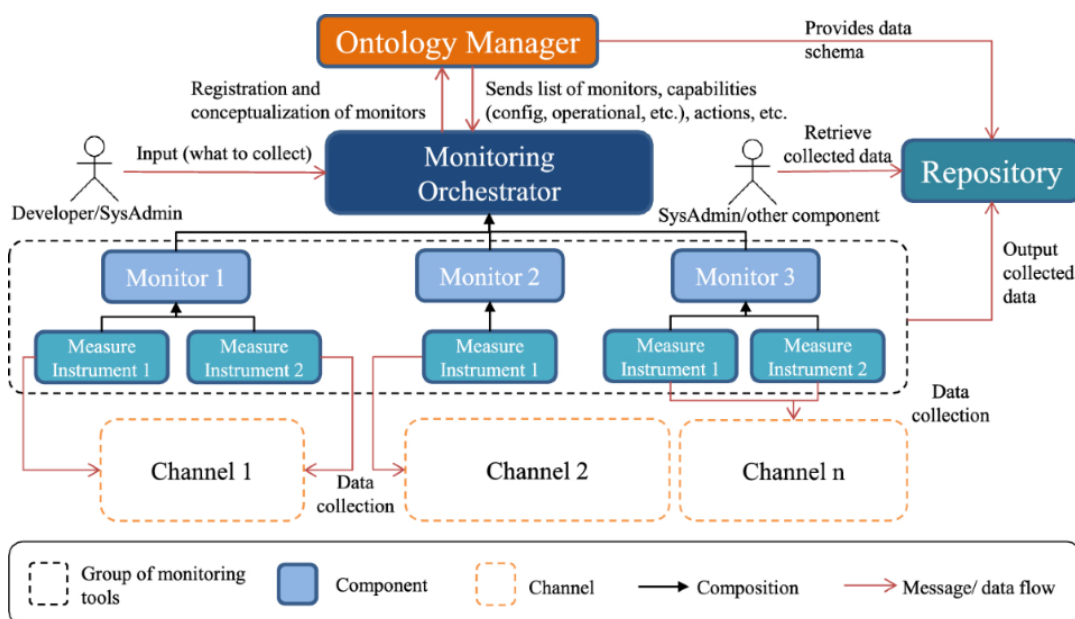


Рисунок 2 – Схема адаптивного мониторинга (ML + контекстная адаптация) – поток обработки данных

### Анализ особенностей реализации кроссплатформенных приложений мониторинга на платформе Flutter/Dart

Платформа Flutter широко используется для разработки кроссплатформенных приложений мониторинга QoE [4]. Несмотря на преимущества, связанные с высокой производительностью и удобством разработки, подобные приложения могут сталкиваться с особенностями реализации, влияющими на точность мониторинга. Одной из распространённых проблем является высокое потребление ресурсов при сборе метрик в реальном времени. Для предотвращения подобных проблем рекомендуется использовать оптимизированные API и background-процессы, а также избегать избыточного сбора данных. Кроме того, необходимо регулярно проводить анализ производительности программного обеспечения, используя методы статического и динамического профилирования [4, 7]. В таблице 1 приведены основные особенности реализации и методы их оптимизации.

Таблица 1 – Основные особенности реализации Flutter/Dart-приложений мониторинга QoE и методы оптимизации

Особенность	Описание	Методы оптимизации
Высокое потребление батареи	Постоянный сбор сетевых метрик в фоне	Оптимизация background-процессов, использование WorkManager
Задержка обработки данных	Реальное время обработки больших объёмов метрик	Локальное предобучение моделей ML, кэширование
Несовместимость API	Различия в доступе к системным метрикам на Android/iOS	Пакет flutter_plugin для кроссплатформенного доступа
Перехват сетевого трафика	Передача метрик QoE может быть подвержена задержкам	Certificate pinning, оптимизация HTTPS
Обратная инженерия кода	Возможность анализа логики мониторинга	Обфускация кода, минимизация чувствительной логики
Недостаточный анализ производительности	Проблемы с FPS и точностью остаются незамеченными	Статический и динамический профилинг, Firebase Performance Monitoring

### Заключение

В условиях активной цифровизации инфокоммуникационной сферы обеспечение адаптивного мониторинга качества восприятия становится одной из ключевых задач разработки программных систем [1, 2]. Применение моделей ITU-T и методов машинного обучения позволяет выявлять и прогнозировать параметры QoE на ранних этапах. Использование современных механизмов интеллектуальной адаптации, включая нейронные сети и контекстно-зависимые алгоритмы, значительно повышает точность оценки [5, 6, 8]. Комплексное применение технологий реального времени, edge-вычислений и кроссплатформенной реализации позволяет создать надёжную интеллектуальную систему адаптивного мониторинга качества восприятия инфокоммуникационных услуг.

**Список использованных источников:**

- 1 ITU-T Recommendation P.10/G.100. Vocabulary for performance and quality of service. – ITU, 2022. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int>.
- 2 Machine Learning for QoE Management in Future Wireless Networks / Various authors. – 2021. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/355381291>.
- 3 Stallings W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice. – Pearson Education, 2017.
- 4 Flutter Performance Monitoring / Flutter Documentation. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.flutter.dev/perf>.
- 5 GSTR-5GQoE: QoE requirements for real-time multimedia services over 5G networks / ITU-T. – 2022. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-QOS-2022-1-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-QOS-2022-1-PDF-E.pdf).
- 6 JSON Web Token (JWT) (RFC 7519) / Jones M., Bradley J., Sakimura N. – IETF. – 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7519> (адаптировано для ML-моделей).
- 7 OWASP Mobile Security Testing Guide / OWASP. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owasp.org/www-project-mobile-security-testing-guide/>.
- 8 Bishop M. Computer Security: Art and Science. – Boston: Addison-Wesley, 2018.
- 9 Android Performance Monitoring / Android Developers. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.android.com>.
- 10 ISO/IEC 27001 Information Security Management Systems / ISO. – 2022. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/isoiec-27001-information-security.html>.

UDC 004.738

## INTELLIGENT SYSTEM FOR ADAPTIVE MONITORING OF THE QUALITY OF PERCEPTION OF INFOCOMMUNICATION SERVICES

*Eltarabily M.S.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus*

*Lagutin A.E. – PhD in Technical Sciences, Associate Professor*

**Abstract.** The article analyzes methods for developing an intelligent system for adaptive monitoring of the quality of experience (QoE) in infocommunication services. Special attention is paid to QoE evaluation models using ITU-T methodologies and machine learning algorithms. The paper discusses real-time adaptation mechanisms, data collection and processing methods based on neural networks, as well as the implementation of cross-platform technologies. The study shows that a comprehensive AI approach significantly improves the accuracy of quality perception assessment and the efficiency of infocommunication service management.

**Keywords:** quality of experience, QoE, adaptive monitoring, infocommunication services, machine learning, neural networks, ITU-T, Flutter, Dart.