

## ПРИМЕНЕНИЕ LTE МОБИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ

Назаров А.М  
Райимов Ф.Т  
Жумакулов Ф.К

Ташкентский государственный технический университет,  
г.Ташкент, Узбекистан, ул. университетская 2, nazarov\_58@rambler.ru;  
farruxrayimov16@gmail.com; foziljonkomiljonovich@gmail.com

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются вопросы применения технологии мобильной связи четвёртого поколения LTE (Long Term Evolution) для организации беспроводной передачи сигналов датчиков охранных систем. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения надёжности и оперативности систем безопасности в условиях растущей урбанизации и развития инфраструктуры «Умного города». Проведён анализ основных характеристик стандарта LTE, включая пропускную способность канала, задержку передачи данных и механизмы обеспечения качества обслуживания (QoS). Рассчитаны ключевые параметры передачи данных — требуемая полоса пропускания, время задержки и вероятность потери пакетов. Представлена архитектура системы мониторинга на базе LTE с подключением разнотипных датчиков: движения, дыма, открытия дверей и видеонаблюдения. Приведены результаты сравнительного анализа технологий беспроводной передачи данных применительно к задачам охранных систем. Установлено, что LTE обеспечивает оптимальное соотношение пропускной способности, задержки и зоны покрытия для применения в охранных системах.

**Ключевые слова:** LTE, охранная система, датчики безопасности, беспроводная передача данных, QoS, IoT.

### ВВЕДЕНИЕ

Современные охранные системы предъявляют высокие требования к каналам передачи информации: низкая задержка, высокая надёжность и широкое территориальное покрытие. Традиционные проводные решения во многих случаях экономически нецелесообразны, а технологии Wi-Fi и Zigbee имеют ограниченный радиус действия [1]. В этой связи технология LTE представляется



перспективной альтернативой для передачи сигналов датчиков охранных систем на значительные расстояния [2].

Стандарт LTE (3GPP Release 8 и выше) обеспечивает скорость передачи данных до 150 Мбит/с в режиме нисходящей линии и задержку менее 10 мс, что значительно превосходит параметры сетей 3G [3]. Развёртывание сетей LTE операторами в большинстве городов и сельских районов делает данную технологию доступной для применения в системах охраны объектов различного масштаба [4].

Целью настоящей работы является анализ характеристик технологии LTE применительно к задаче передачи сигналов датчиков охранной системы и разработка рекомендаций по проектированию соответствующей инфраструктуры.

#### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

##### Архитектура системы на основе LTE

Система охраны на базе LTE включает три ключевых уровня: уровень сбора данных (датчики), уровень передачи (LTE-сеть) и уровень обработки (центр мониторинга). Взаимодействие уровней организовано в соответствии с архитектурой EPS (Evolved Packet System) [5]. Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

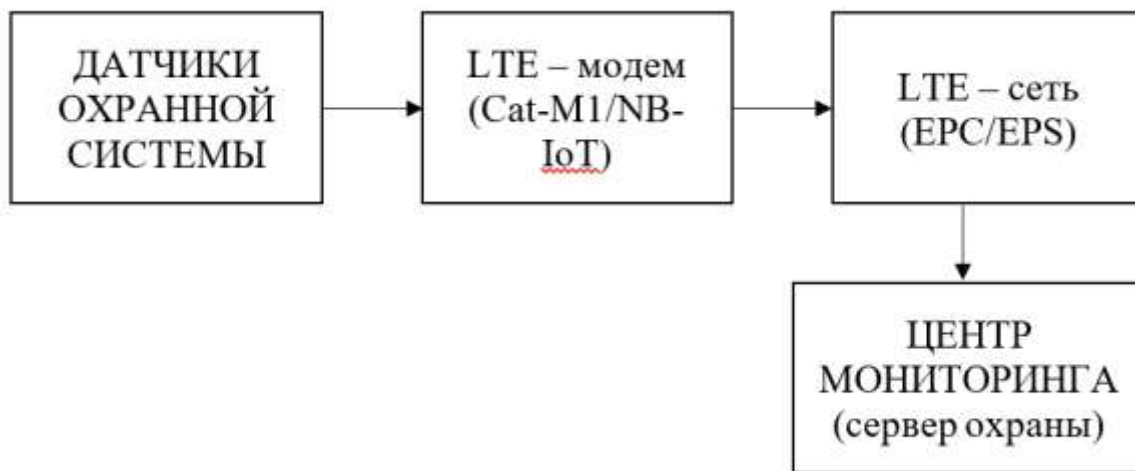


Рис.1. Структурная схема системы мониторинга на базе LTE

Датчики оснащены LTE-модемами (категория Cat-M1 или NB-IoT), что позволяет подключить их непосредственно к сети оператора без промежуточных шлюзов. Данные передаются по защищённому каналу с использованием протокола MQTT поверх TLS [6].



### Расчёт параметров канала передачи

Для оценки требуемой полосы пропускания канала применяется формула Найквиста. При использовании многоуровневой модуляции 64-QAM пропускная способность канала  $C$  (бит/с) определяется по формуле Шеннона [7]:

$$C = B \cdot \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (1)$$

где  $B$  — ширина полосы пропускания (Гц),  $\text{SNR}$  — отношение сигнал/шум.

При полосе  $B = 10$  МГц и  $\text{SNR} = 20$  дБ (100 линейных единиц) получаем:

$$C = 10 \cdot 10^6 \cdot \log_2(1 + 100) \approx 66,4 \text{ Мбит/с} \quad (2)$$

Суммарный поток данных от  $N$  датчиков определяется как:

$$R_{\text{total}} = N \cdot r_d \cdot f_s \quad (3)$$

где  $r_d$  — размер пакета данных (байт),  $f_s$  — частота опроса датчика (Гц). Для системы из 50 датчиков с  $r_d = 64$  байт и  $f_s = 1$  Гц:  $R_{\text{total}} = 50 \cdot 64 \cdot 8 = 25,6$  кбит/с, что значительно меньше пропускной способности LTE-канала [8].

Задержка сквозной передачи складывается из задержки радиоинтерфейса ( $\tau_{\text{air}}$ ), задержки в ядре сети ( $\tau_{\text{core}}$ ) и задержки приложения ( $\tau_{\text{app}}$ ):

$$\tau_{\text{total}} = \tau_{\text{air}} + \tau_{\text{core}} + \tau_{\text{app}} \approx 5 + 3 + 2 = 10 \text{ мс} \quad (4)$$

Сравнительный анализ технологий беспроводной передачи

В таблице 1 приведено сравнение ключевых характеристик технологий беспроводной передачи данных, применяемых в охранных системах [9, 10].


Таблица 1 - Сравнение технологий беспроводной передачи для охранных систем

Параметр	Wi-Fi 802.11n	Zigbee	LTE Cat-M1	NB-IoT
Радиус покрытия	до 100 м	10-100 м	до 10 км	до 15 км
Скорость (Мбит/с)	до 300	0,25	до 1,0	до 0,25
Задержка (мс)	< 5	< 30	< 10	< 1000
Энергопотребление	высокое	низкое	среднее	очень низкое
Безопасность	WPA2/3	AES-128	SIM + AES	SIM + AES

Из таблицы 1 следует, что LTE Cat-M1 обеспечивает наилучший баланс между зоной покрытия, задержкой и уровнем безопасности среди рассматриваемых технологий. NB-IoT предпочтителен для датчиков с редкой передачей данных и требованием к минимальному энергопотреблению.

Обеспечение качества обслуживания (QoS)





В стандарте LTE управление качеством обслуживания реализуется через параметры EPS Bearer и QCI (QoS Class Identifier). Для охранных систем рекомендуется использовать QCI = 3 (задержка  $\leq 50$  мс) или QCI = 4 (задержка  $\leq 300$  мс) в зависимости от типа датчика [5]. Вероятность потери пакетов  $P_{loss}$  при использовании механизма ARQ оценивается по формуле:

$$P_{loss} = P_{err}^{(N_{max} + 1)} \quad (5)$$

где  $P_{err}$  - вероятность ошибки одной передачи,  $N_{max}$  - максимальное число повторных передач. При  $P_{err} = 0,1$  и  $N_{max} = 3$  получаем  $P_{loss} = 0,1^4 = 10^{-4}$ , что соответствует требованиям охранных систем.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**


В ходе исследования показано, что технология LTE является эффективным решением для организации беспроводной передачи сигналов датчиков охранных систем. Расчёты подтвердили достаточность пропускной способности канала LTE для обслуживания группы датчиков численностью до нескольких сотен единиц с суммарным потоком данных, не превышающим единиц мегабит в секунду. Задержка сквозной передачи не превышает 10 мс, что удовлетворяет требованиям систем охранной сигнализации в режиме реального времени. Вероятность потери пакетов при использовании механизма ARQ составляет  $10^{-4}$ , что обеспечивает высокую надёжность системы.

Применение стандартов LTE Cat-M1 и NB-IoT позволяет существенно снизить энергопотребление датчиков и продлить срок службы автономных источников питания. Перспективным направлением дальнейших исследований является интеграция описанной системы с платформами «Умного города» и применение алгоритмов машинного обучения для интеллектуального анализа поступающих сигналов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E. Wireless sensor networks: a survey // Computer Networks. – 2002. – Vol. 38, No. 4. – P. 393-422.
2. Горячев В.А., Аверкин А.Н. Беспроводные сенсорные сети XXI в // Системный анализ в науке и образовании. – 2021. – №4. – С. 72-76.
3. 3GPP TS 36.300. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN). - 3GPP, 2023.
4. Chaudhari B.S., Zennaro M. LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications.





- Academic Press, 2020. – 366 p.

5. Sesia S., Toufik I., Baker M. LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. - 2nd ed. - Wiley, 2011. - 792 p.

6. OASIS Standard. MQTT Version 5.0. - 2019. - URL: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html> (дата обращения: 15.03.2025).

7. В.И. Парфенов, Л.В. Донг. Беспроводные сенсорные сети. Принципы комплексирования информации от сенсоров при обнаружении объекта излучения. – Инфра-Инженерия, 2025. – 105 с.

8. Mekki K., Bajic E., Chaxel F., Meyer F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment // ICT Express. - 2019. - Vol. 5, No. 1. - P. 1-7.

9. Петров В.Н. Беспроводные системы передачи данных. - М.: Горячая линия – Телеком, 2020. - 312 с.

10. Sinha R.S., Wei Y., Hwang S.H. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT // ICT Express. – 2017. – Vol. 3, No. 1. – P. 14-21.

