

Архитектуры сбора телеметрии в городах Центральной Азии: LoRaWAN, NB-IoT, 5G — сравнение и кейсы

Ким Андрей Одылович¹

Аннотация: В статье рассмотрены основные LPWAN-технологии сбора телеметрии – LoRaWAN, NB-IoT и 5G – с точки зрения их параметров и применения в городских системах Центральной Азии (Казахстан, Узбекистан и др.). Выполнено сравнение технологий по ключевым характеристикам (радиус действия, энергопотребление, пропускная способность, стоимость и масштабируемость), приведены примеры реальных проектов и пилотов в странах региона (умные счётчики, мониторинг городской инфраструктуры, 5G-сети). Приведены статистические данные и ссылки на источники. Анализ показывает, что LoRaWAN оптимален для далеких и энергоэффективных датчиков (сети «умного города»), NB-IoT обеспечивает надежную связь массовых датчиков на основе существующей сетевой инфраструктуры, а 5G создаёт основу для высокоскоростных сервисов в городских зонах, включая IoT.

Ключевые слова: LoRaWAN, NB-IoT, 5G, LPWAN, телеметрия, умный город, Казахстан, Узбекистан, IoT, IoT-сети, сравнение технологий.

Введение: Развитие цифровых городских систем (умных городов) связано с массовым развертыванием IoT-датчиков и устройств, собирающих телеметрию (показания счётчиков, параметры окружающей среды, состояние инфраструктуры и т.д.). Особую роль играют технологии связи LPWAN (Low Power Wide Area Network), обеспечивающие дальнюю передачу небольших объёмов данных при низком энергопотреблении. В Центральной Азии, несмотря на экономические и инфраструктурные ограничения, наметился активный интерес к таким сетям. Так, в рамках госпрограмм «Цифровой Казахстан» и аналогичных в других странах развиваются решения «умных городов» с различными стандартами связи. В этой статье анализируются архитектуры и возможности трёх ключевых технологий: LoRaWAN (нелицензированная ISM-связь), NB-IoT (лицензированная LPWAN на базе 4G/5G) и 5G, с учётом особенностей региональных проектов. Рассматриваются реальные кейсы из Казахстана и Узбекистана, даётся количественное сравнение по дальности, энергопотреблению, стоимости и масштабируемости сетей, а также приводятся данные о распространении и планах внедрения. Технологии LoRaWAN, NB-IoT и 5G:

LoRaWAN – это открытый стандарт LPWAN на базе модуляции CSS (chirp spread spectrum), работающий в нелицензированных диапазонах ISM. Сети LoRaWAN имеют звездо-звёздную топологию: датчики (end nodes) отправляют данные по радиоканалу на один или несколько шлюзов (gateway), которые через интернет-соединение пересылают пакеты на сетевой сервер и затем на прикладной сервер[1]. LoRaWAN обеспечивает большую дальность связи (в городских условиях 2–5 км, в сельской местности до 15–20 км при хорошей видимости) и чрезвычайно низкое энергопотребление конечных устройств. Поддерживается передача небольших пакетов (обычно до сотен байт) с низкой скоростью (несотни бит/с). LoRaWAN позволяет развертывать частные сети и имеет развитую экосистему устройств[2][3].

¹ Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми, Самарканд, Узбекистан
newwayondri@gmail.com



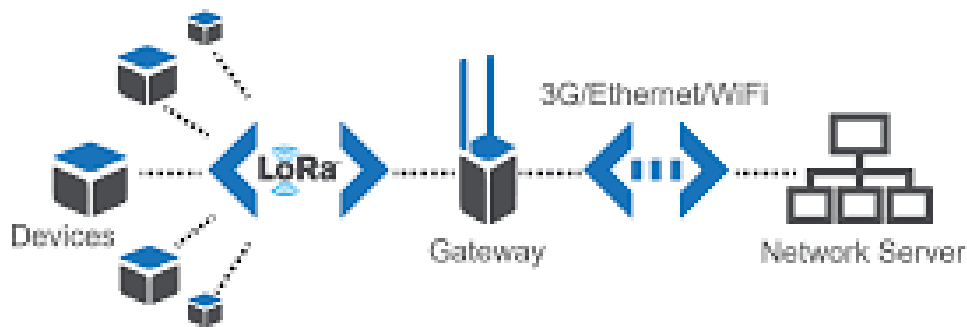


Рис. 1. Типовая архитектура LoRaWAN-сети: беспроводные датчики передают данные на шлюзы, которые пересылают их на сетевой сервер и далее на сервер приложений [1].

NB-IoT (Narrowband Internet of Things) – это стандартизованная 3GPP LPWAN-технология, работающая в лицензированных диапазонах (обычно на базе LTE). NB-IoT предназначен для массовых устройств передачи коротких данных при длительном сроке работы от батареи. Характерной чертой NB-IoT является высокая проникновение сигнала (связь в подвалах, шахтах), низкая цена устройств и интеграция с существующей сотовой инфраструктурой. По данным экспертов, одна базовая станция NB-IoT может обслуживать десятки тысяч датчиков (до 50 тыс., а по оценкам Huawei – до 100 тыс. устройств на одну ячейку)[4][5], что делает NB-IoT масштабируемым решением для городских систем. Скорость передачи данных у NB-IoT выше, чем у LoRaWAN (до сотен Кбит/с), но всё равно невысока по сравнению с мобильными сетями. NB-IoT-устройства имеют класс мощности Cat NB1 и могут работать десятилетиями от батареи благодаря режимам глубокого сна (PSM, eDRX). NB-IoT поддерживает роуминг и гарантирует приоритетную надёжность связи с LTE-уровнем безопасности[3][4].

5G – пятое поколение мобильной связи, разрабатываемое 3GPP. Ключевыми преимуществами 5G являются многомегабитные скорости передачи (десятки Гбит/с), задержки порядка миллисекунд и способность одновременного подключения огромного числа устройств (до миллиона на км²)[6]. В контексте IoT 5G может обеспечить надёжную передачу данных в реальном времени и служить базой для «умных» приложений (автоматика, критическая инфраструктура, транспорт). Однако 5G не является чистым LPWAN (устройствам нужна высокая функциональность и дорогая инфраструктура), даёт меньший радиус действия на высоких частотах (десятки метров для миллиметрового диапазона) и требует значительных инвестиций в базовые станции. Тем не менее 5G предлагает «срезы сети» (network slicing) для разных задач: для IoT это обычно low-latency и массовых подключений сотового уровня.

Сравнение параметров

Таблица ниже суммирует основные различия технологий (данные из открытых источников[3][7][4]):

Параметр	LoRaWAN	NB-IoT	5G (NR)
Диапазон частот	Нелиценз. ISM	Лиценз. LTE	Лиценз./общедост. (0.7–4 ГГц и выше)
Максимальная дальность (город/ село)	~2–5 км / до 15–20 км[3]	~1–10 км / до 40 км[3]	сотни м – несколько км (низкие частоты)



Impact Factor: 9.9

ISSN-L: 2544-980X

Параметр	LoRaWAN	NB-IoT	5G (NR)
Пропускная способность	Низкая (до 50 кбит/с)[3]	Средняя (до 200 кбит/с и выше)	Очень высокая (сотни Мбит–Гбит/с)
Лицензия спектра	Нет	Да	Да
Энергопотребление	Очень низкое	Низкое[3][7]	Высокое (устройства 5G сложнее)
Поддержка мобильности	Ограниченная	Ограниченная	Полная (сотовая сеть)
Масштабируемость	До десятков тыс. на шлюз (зависит от условий)	До 50–100 тыс. на базовую станцию[4][5]	Могут подключаться миллионы на ядро (но требуется инфраструктура)
Стоимость развертывания	Низкая (частные сети, дешёвые узлы)	Выше (операторские сети, абонентская плата)	Очень высокая (требует базовых станций и лицензий)
Применение (примеры)	Экономичные сенсоры (газ, вода, освещение, качество воздуха)[8][9]	Умные счётчики, индустрия, здравоохранение, управление трафиком[10]	VR/AR, автономное управление, массовый IoT в мегаполисах (наработка инфраструктуры)

Из таблицы видно, что LoRaWAN оптимален для дальнодействующих и энергоэффективных приложений с малыми объёмами данных (например, «умные» счётчики и уличное освещение)[8][9]. NB-IoT предлагает надёжность и лучшее проникновение для массовых датчиков (например, счётчики газа/воды) и легко внедряется операторами без дополнительных базовых станций[11][10]. 5G даёт максимальную скорость и плотность устройств, но пока разворачивается преимущественно в городах и требует серьёзных вложений (сети срезов для транспорта, экстренных служб, промышленности)[6][12].

Масштабируемость и надёжность

По оценкам, одна станция NB-IoT способна обслуживать десятки тысяч устройств (в экспериментах до ~50 тыс.)[4], что существенно превосходит традиционные LTE-сети. LoRaWAN в городских сетях часто проектируется на подключение нескольких десятков тысяч сенсоров к нескольким шлюзам. 5G теоретически рассчитан на миллионы подключений на узел, однако на практике для IoT используются отдельные «слои», и ключевую роль играют инфраструктурные возможности оператора.

Оценка энергопотребления: сравнительный эксперимент показал, что NB-IoT существенно более энергоёмок – для подключения к сети требуется около 3 мА·ч, а передача 44-байтного сообщения – ~1.8 мА·ч, тогда как LoRaWAN тратит лишь ~1 мА·ч при подключении и ~0.1 мА·ч при передаче аналогичного сообщения[7]. Это подтверждает выводы, что NB-IoT потребляет на порядок больше энергии, чем LoRaWAN[13][7].



Impact Factor: 9.9**ISSN-L: 2544-980X**

Безопасность и управление: NB-IoT унаследовал механизмы безопасности LTE (шифрование на уровне сети), что обеспечивает высокую надёжность передачи. LoRaWAN использует AES-шифрование, но работает в общем спектре, где возможны помехи при высоком загрузке [3]. Применение в странах Центральной Азии:

Казахстан:

Казахстан является наиболее активным в регионе по внедрению IoT-сетей. Оператор «Казахтелеком» с 2018 г. строит сеть LPWAN на базе LoRaWAN для проектов «умных городов»: сбор показаний счётчиков воды/газа/электричества, управление уличным освещением и др.[14][15]. По плану, к 2018 г. сеть LoRa должна была охватить 20 городов страны с более чем 400 базовыми станциями[15]. Действительно, уже к 2023–2024 гг. LoRaWAN-сеть «Казахтелекома» стала крупнейшей в стране, охватывая Алматы, Астану, Шымкент и другие города[16]. Интервью директора «Казахтелекома» указывает на выбор LoRa как экономически эффективного решения (открытый стандарт, развитая экосистема, отсутствие затрат на лицензии)[2].

В то же время ведущие мобильные операторы (Beeline, Kcell, Tele2) внедрили NB-IoT. По данным, NB-IoT-сети уже развернуты по Казахстану «от Алматы до Атырау» – сети Beeline доступны в Алматы, Астане, Шымкенте и регионах[17]. В Шымкенте и Астане запущены пилотные проекты удалённого съёма показаний газовых и водяных счётчиков на основе NB-IoT[17]. Эксперты отмечают, что NB-IoT может стать драйвером «умных технологий» для страны: одна базовая станция NB-IoT способна подключить до 100 тыс. устройств, что многократно больше, чем у стандартных сетей, и это соответствует задачам «Цифрового Казахстана»[5][17].

Сети 5G активно разворачиваются в крупных городах Казахстана. По указанию Президента, к концу 2025 г. должно быть завершено развертывание 5G по всей стране. На конец 2024 г. 5G покрывало уже 20 городов (включая Алматы, Астану, Шымкент)[18], установлено порядка 1 144 базовых станций пятого поколения[19]. Операторы отмечают существенный рост скорости мобильного интернета: по индексу Ookla Казахстан в 2025 году опережает все страны ЦА. В городах начинают появляться пилотные 5G-приложения (например, для транспорта и телемедицины), но широкое IoT-применение пока только набирается. Использование 5G обещает «ускорить цифровую трансформацию» – обеспечить бизнесу и гражданам сверхбыстрый интернет и низкую задержку[12].

Узбекистан:

Узбекистан также активизирует телеком-инфраструктуру. Весной 2024 г. оператор Perfectum (Активная сторона РК) объявил о строительстве национальной 5G SA-сети с оборудованием Nokia[12]. Это будет первая полностью независимая 5G-сеть в Центральной Азии, планируемая к развёртыванию в Ташкенте, Ферганской долине и далее по стране в течение нескольких лет[20][12]. По словам производителей, это позволит ускорить внедрение услуг с высокими скоростями и IoT-сервисов (телемедицина, умные города, промышленная автоматизация)[12]. В Узбекистане также реализуются проекты на базе LoRaWAN. Например, весной 2025 г. китайская компания Zhongyi IoT установила LoRaWAN-сеть для дистанционного снятия показаний счётчиков воды, газа и электроэнергии на участке в Узбекистане (проект за 15 дней)[21]. Это демонстрирует интерес к LPWAN-решениям для коммунального учёта. По данным индустрии, в республике постепенно появляются «умные» решения (системы мониторинга воздуха, парковок и т.д.) на базе как NB-IoT (через местных операторов), так и LoRaWAN, хотя данных по охвату пока нет. Согласно отчётам, телеком-рынок Узбекистана является одним из самых динамичных в регионе, что поддерживает проекты по цифровизации и IoT[22].

Другие страны ЦА:

В меньших странах Центральной Азии (Киргизия, Таджикистан, Туркменистан) развитие IoT также начато, но масштабы меньше. Киргизия, например, проводит пилотные LoRaWAN-проекты в рамках «умного города Бишкека», а таджикские операторы интересуются NB-IoT для



сельхозконтроля. Однако открытые данные по внедрению ограничены, и основная активность всё же сосредоточена в Казахстане и Узбекистане.

Выводы:

Сравнительный анализ показал, что LoRaWAN, NB-IoT и 5G дополняют друг друга в архитектуре городских IoT-систем. LoRaWAN – это оптимальное решение для распределённых маломощных датчиков (энергосбережение >10 лет, связь на десятки километров)[23][7]. NB-IoT же обеспечивает гарантированную связь на базе операторских сетей с массовым числом подключений (десятки тысяч на станцию)[4][5] и подходит для задач с умеренными объёмами данных (например, автоматического учёта ресурсов и промышленной телеметрии)[10]. 5G-стандарты добавляют высокую пропускную способность и поддержку критичных с задержкой приложений (например, видеонаблюдение, экстренные службы), но требуют существенных инфраструктурных затрат и пока развёртываются медленнее.

В Центральной Азии мы видим именно такую комбинацию: LoRaWAN внедряется для локальных «умных городов» (казахстанские примеры с освещением и счётчиками[14]), NB-IoT используется операторами связи для счётчиков и мониторинга (Казахстан)[17], а 5G строится для широкой цифровизации (Узбекистан, крупные города Казахстана)[12][18]. В перспективе эти технологии могут работать совместно: например, гибридные шлюзы будут поддерживать как LoRaWAN, так и NB-IoT для разных устройств, а 5G-сети обеспечат магистральные каналы. Выбор конкретной технологии зависит от требований: дальность и срок службы батареи – в пользу LoRaWAN, массовая надёжность и управление – в пользу NB-IoT, сверхскорость и ёмкость – в пользу 5G.

Список литературы:

1. DigitalEnergy Group (Kazakhstan). NB-IoT в Казахстане: зачем он нам и где уже работает. 31.07.2025 (сайт digitalenergy.kz)[24][25].
2. CNews (Информационно-аналитический портал, TVNews.by). «Как Казахстан строит умные города» (интервью, 26.01.2019)[2][15].
3. Huawei (Корпоративный сайт, Huawei Uzbekistan). «Новые горизонты развития Интернета вещей в Казахстане...» (пресс-релиз 2019)[5].
4. MOKO Smart (блог оборудования IoT). «LoRaWAN против NB-IoT: в чем их сравнение и различия» (2023)[26][3].
5. Ugwuanyi S., Paul G., Irvine J. Survey of IoT for Developing Countries: Performance Analysis of LoRaWAN and Cellular NB-IoT Networks. Electronics, 2021, Vol.10, No.18 (MDPI)[7].
6. Bockneck K. et al. LPWAN market 2024: Licensed technologies boost their share among global 1.3 billion connections. IoT Analytics, June 2024[27][28].
7. UzDaily.uz (англоязычная газета Узбекистана). «Perfectum to build a nationwide 5G network in Uzbekistan», 01.03.2025[12][29].
8. Paygate.kz (новости и аналитика, Казахстан). «Что такое 5G и как она работает в Казахстане?», 30.07.2025[18][19].
9. The Things Network (официальная документация LoRaWAN). LoRaWAN Architecture. Доступно: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/architecture/>[1].
10. Digi.com (блог технологии, Digi International). «What Is 5G Network Architecture?» (обзор 5G-сетей)[6].

[1] LoRaWAN Architecture | The Things Network

<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/architecture/>

[2] [14] [15] [16] Как Казахстан строит умные города

<https://tvnews.by/analytics/13882-kak-kazahstan-stroit-umnye-goroda.html>

[3] [8] [23] [26] LoRaWAN против NB-IoT: в чем их сравнение и различия

<https://www.mokosmart.com/ru/lorawan-vs-nb-iot-how-do-they-compare-and-differ/>

[4] [9] [10] [11] [17] [24] [25] NB-IoT в Казахстане: зачем он нам и где уже работает - Digital Energy



Impact Factor: 9.9

ISSN-L: 2544-980X

<https://digitalenergy.kz/nb-iot-v-kazahstane-zachem-on-nam-i-gde-uzhe-rabotaet/>

[5] Новые горизонты развития Интернета вещей в Казахстане обсудили эксперты в ходе NB-IoT форума, организованного Huawei и Beeline

https://www.huawei.com/uz/news/uz/2019/huawei_novye_gorizonty_razvitiya_interneta_veshchei

[6] What Is 5G Network Architecture? | Digi International

<https://www.digi.com/blog/post/5g-network-architecture>

[7] [13] Survey of IoT for Developing Countries: Performance Analysis of LoRaWAN and Cellular NB-IoT Networks

<https://www.mdpi.com/2079-9292/10/18/2224>

[12] [20] [29] Perfectum to build a nationwide 5G network in Uzbekistan — UzDaily.uz

<https://www.uzdaily.uz/en/perfectum-to-build-a-nationwide-5g-network-in-uzbekistan/>

[18] [19] What is a 5G network, how does it work and how do I connect it on my phone? | paygate.kz

<https://paygate.kz/en/articles/chto-takoe-set-5g-kak-ona-rabotaet-i-kak-podklyuchit-eyo-na-telefone>

[21] Реализация на месте компанией LoraWAN в Узбекистане

<https://www.zhongyismart.com/ru/cases/on-site-implementationby-lorawan-in-uzbekistan>

[22] Uzbekistan Leads CIS in Telecom Industry Growth

<https://uz.kursiv.media/en/2025-07-01/uzbekistan-leads-cis-in-telecom-industry-growth/>

[27] [28] LPWAN market 2024: Licensed technologies boost their share among global 1.3 billion connections as LoRa leads outside China

<https://iot-analytics.com/lpwan-market/>

