# Вводная часть

В современном мире концепция применения большого числа маломощных сенсоров на больших площадях имеет широкое распространение во многих областях. Концепция актуальна в индустриальной, сельскохозяйственной, урбанистической и во многих других сферах. Объединение таких сенсоров в единую сеть Интернет стала основной для создания такого направления технологий как Интернета Вещей (IoT, Internet of Things).

Большое число устройств и большая дальность покрытия устройств накладывает дополнительные требования для технологий IoT. Во первых, устройства должны быть энергоэффективно для возможности автономной. Во вторых, оборудование должно быть простым, т.е. время на обработку и формирование сигнала может быть с задержками. Было введено обозначение для таких сетей как Маломощная глобальная сеть (LPWAN, Low-Power Wide Area Network) - это тип глобальной сети беспроводной связи, предназначенный для связи на большие расстояния с низкой скоростью передачи данных для устройств, работающих с ограниченным бюджетом энергии. Различные технологии LPWAN в целом делятся на две категории: сверхузкая полоса и широкополосная. Для первой характерно, концентрируя всей своей энергии на очень узкой полосе. Это хорошо работает в шумной среде, но когда есть локальные помехи, это уже не так хорошо. Широкополосный использует противоположный подход, распределяя свою энергию по широкой полосе частот, благодаря чему сигнал может быть получен даже ниже минимального уровня шума. LoRa – одна из самых популярные технологии LPWAN, которая относится к первой категории.

Главными преимуществами технологии LoRa над другими технологиями LPWAN это использование нелицензированного частотного канала и особой кодово-модуляционной схемы с коэффициентом расширения (SF, Spreading Factor). Коэффициент расширения (SF) - это соотношение между скоростью передачи символов и скоростью передачи элементов данных. Она соответствует значениям от 6 до 12. Более высокий коэффициент расширения увеличивает отношение сигнал-шум (SNR) и, следовательно, чувствительность и дальность, но также увеличивает эфирное время пакета. Во многих теоретических работах [1, 7] и экспериментальных [2, 6] исследованиях предполагают, что на одном SF возникают конфликты. Однако, существует более сложная система моделирования, где учитывается, что конфликт существует не всегда [3]. Кроме того существуют и теоретические работы [8] по этому вопросу.

В этой работе сначала проводится обзор существующих работ. После описывается подход реализации. В следующем разделе сравниваются результаты, полученные в данной работе с известными работами.

Нужны экспериментальные исследования

# Обзор работ

Существуют работы, в которых проводится исследование возникновение конфликтов при наложении сигналов LoRa при одинаковых настройках SF [4,5,6]. Следует обратить внимание, что авторы использовали свои методы проведения экспериментов, которые могут иметь как достоинства, так и недостатки.

В работе A. Rahmadhani [4] проводилась оценки коэффициента доставки пакета (PDR, Packet Delivery Ratio) во время конфликтов двух сообщений. Главным достоинством проведённых авторами опытов является точное определение позиции пересечения сигналов и анализ работы на основе реальных устройств. Недостатком данной методики является то, что при большем числе наложений сообщений возможны более непредсказуемые итоги коэффициента доставки сообщений при различных наложениях.

В работе [5] Haxhibeqiri, J более точно был описан канал затухания путём анализа влияния двух одновременных передач LoRa друг на друга, используя физические конечные устройства LoRaWAN и шлюз в лабораторной установке с радиочастотным экранированием. Недостатком данного исследования является анализ только полного наложения полезной информации конфликтующих сообщений. Отсюда, их имитационная модель, построенная на основе полученных результатов натурных экспериментов учитывает успешный приём только если один из пакетов был принят, как только последние шесть символов преамбулы и заголовка пакета не совпали.

Авторы работы [6] тоже хотели оценить вероятности доставки сообщений при пересечении. Однако их метод опирался на случайный процесс пересечения, что соответствует реальному поведению устройств и перекрытиями более двух конфликтующих сообщений. Недостатком же стало отсутствие точного определения места перекрытия в структуре пакета LoRa.

В данной работе планируется объединить все достоинства. Основой служит статья [6], где есть точное описание результатов наложений с точными сдвигами и структурой пакета сообщения. В нашей работе мы применяем наложение сигналов со сдвигом ещё на этапе формирования сигнала и из

**Их достоинства и недостатки**

Был эксперимент [4]

[5]

Достоинством работы [4] эксперимент был описан подробно

Недостатком работы[6] интервалы случайным образом, достоинство более одного сообщения

1 шаг программа минимум: Мы повторяем эксперимент работы [4]

2 шаг: Мы повторяем эксперимент работы [6]

Позволит объединить достоинства всех этих работ

# Описание подхода, которые мы реализуем

Описание подхода

Аппаратные средства:

Описание оконечных устройств LoRa, используемых в подходе

Описание базовой станции

Описание SDR

Указание дальности от ОУ, до БС, параметры сигнала

Описание метода сбора, обработки генерации данных

# Результаты и сравнения с известными работами

Сравниваем с известными работами (либо совпадает, либо отличается)

Наш подход более гибкий, т.к. в нашей модели мы можем увеличивать число интерферирующих сообщений и брать более точные сдвиги.

[4] – повторяем опыты из статьи (с наложением, разной мощностью)

# Список источников

1. Georgiou, O., & Raza, U. (2017). Low power wide area network analysis: Can LoRa scale?. *IEEE Wireless Communications Letters*, *6*(2), 162-165.
2. Van den Abeele, Floris, et al. “Scalability analysis of large-scale Lo-RaWAN networks in ns-3.” IEEE Internet of Thin gs Journal 4.6 (2017):
3. 2186–2198.Marini, R., Mikhaylov, K., Pasolini, G., & Buratti, C. (2021). LoRaWANSim: A Flexible Simulator for LoRaWAN Networks. *Sensors*, *21*(3), 695.
4. Rahmadhani, A., & Kuipers, F. (2018, October). When lorawan frames collide. In Proceedings of the 12th International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation & Characterization (pp. 89-97).
5. Haxhibeqiri, J., Van den Abeele, F., Moerman, I., & Hoebeke, J. (2017). LoRa scalability: A simulation model based on interference measurements. *Sensors*, *17*(6), 1193.
6. Kuzmichev S. A., Stepanov N. V. Experimental Research to Determine the Conditions for Successful Reception of Messages in the LoRaWAN //2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – IEEE, 2019. – С. 1-4.
7. Gusev O., Turlikov A., Kuzmichev S., Stepanov N. Data Delivery Efficient Spreading Factor Allocation in Dense LoRaWAN Deployments //2019 XVI International Symposium" Problems of Redundancy in Information and Control Systems"(REDUNDANCY). – IEEE, 2019. – С. 199-204.
8. Qadir, Q. M. (2020). Analysis of the reliability of LoRa. *IEEE Communications Letters*.
9. Abboud, S. (2020). *Study and improvement of long range communication technologies for wireless sensor networks* (Doctoral dissertation, Clermont Auvergne).