

УДК 004.051

Влияние параметров SF, BW и CR на качество сигнала и дальность приема в системах связи LoRa в различных условиях среды

Вершинин Евгений Владимирович¹

vershinin@bmstu.ru

Захаренков Даниил Сергеевич^{1,2}

zakharenkovds@student.bmstu.ru

¹ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия² АО «КНИИТМУ», Калуга, Россия

Представлены исследования влияния коэффициента расширения (SF), полосы пропускания (BW) и скорости кодирования (CR) на качество сигнала и дальность приема в системах связи LoRa (Long Range). Данные были получены в ходе полевых испытаний в различных условиях окружающей среды. Полученные данные представлены и обработаны для изучения их влияния на соотношение сигнал/шум (SNR), индикатор уровня принимаемого сигнала (RSSI), а также потерю пакетов. Данная статья позволяет понять, какое влияние оказывают эти параметры на связь между устройствами LoRa в условиях, когда есть препятствия, такие как леса и городские районы.

Ключевые слова: spreading factor, Bandwidth, code rate, качество сигнала, дальность приема

Введение. Технология LoRa является одной из рекомендуемых технологий для построения узкополосных беспроводных сетей связи интернета вещей на территории РФ. Для работы данная технология использует нелицензируемые участки спектра, определяемые и регулирующиеся на основе региональных ограничений (для стран Европы, как правило, это диапазоны 433 и 868 МГц). В России технология LoRa может эксплуатироваться в частотных диапазонах 864-865, 866-868, 868,7-869,2 МГц [1].

Технология LoRa разработана в 2010 г. Эта технология была стандартизирована и дополнена протоколом MAC-уровня, что дало возможность создания сетей — протокола LoRaWAN [2].

LoRaWAN — это открытый протокол для высокочастотных сетей с большим радиусом действия и низким энергопотреблением. Такие сети организованы как сеть типа звезда и включает различные классы (A, B и C) узлов для оптимизации компромисса между скоростью доставки информации и сроком работы батареи питания [3].

Для модуляции LoRa ключевыми параметрами являются: полоса пропускания, означающая разницу в минимальной и максимальной частоте сигнала; коэффициент расширения SF — это параметр количества бит, закодированных в один символ сигнала LoRa (обычно обозначают SF с числом значения, например, SF7 или SF=7); скорость кодирования CR, которая задает параметры помехоустойчивого кода [4].

Правильная комбинация данных параметров, позволяет эффективно проектировать связь между устройствами, особенно в условиях наличия физических препятствий, таких как деревья или здания. В данной статье представлены результаты, полученные в ходе полевых испытаний по влиянию SF, BW и CR на прием сигнала, а также изучение их влияния на такие параметры как индикатор уровня принимаемого сигнала (RSSI), соотношение сигнал/шум (SNR) и потеря пакетов.

Используемые параметры и устройства. Полевые испытания проводились на устройстве типа LoRa с использованием в нем модуля LoRa E22-900M30S в различных условиях. Ключевые параметры модуляции в ходе испытаний: SF = 7, BW = 250 кГц и CR = 4/5, при мощности передачи 30 дБм. Как на передающем, так и на принимающем устройстве использовалась комбинация направленных и ненаправленных антенн. Эксперименты проводились на разных расстояниях, при этом на качество сигнала также влияли факторы окружающей среды, такие как деревья, здания и погода.

Результаты и анализ испытаний. Анализ был проведен, исходя из данных, полученных в ходе полевых испытаний проведенных в лесной и городской местностях, полученные данные записаны в таблицу.

Данные полученные в ходе полевых испытаний

Точка испытания (координаты)	Расстояние (км)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Потеря пакетов
54.484187, 36.230136	2,48	-56	4	0
54.473593, 36.235072	4,21	-62	2	0
54.462286, 36.236296	5,43	-85	4	0
54.444182, 36.230105	7,43	-98	-3	40
54.415264, 36.199628	11,05	-97	0	1

Зависимость качества сигнала от расстояния приема. В ходе тестов было обнаружено, что качество сигнала, измеренное с помощью RSSI и SNR, ухудшается с увеличением расстояния. Эксперименты показали значительное снижение качества сигнала за пределами 5 км при наличии препятствий, таких как деревья.

RSSI: Сильные сигналы были обнаружены на расстояниях менее 5 км, при этом значения RSSI варьировались от -55 до -70 дБм. За пределами этого диапазона RSSI значительно снижался, достигая -97 дБм на высоте 8,56 км, и еще больше ухудшался в лесных районах.

SNR: Значения SNR варьировались от 0 до 10 дБ на коротких расстояниях, но опускались ниже 0 дБ на расстояниях более 6 км, особенно в лесистой местности. В крайних случаях были зафиксированы значения SNR -8 дБ.

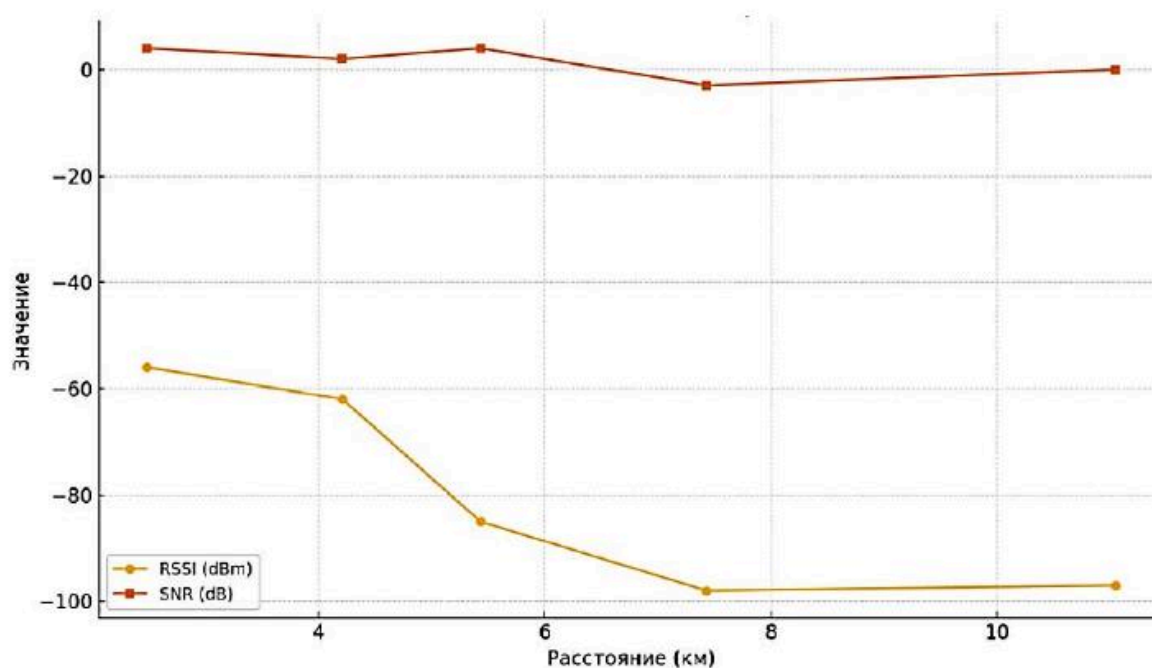
Влияние частот SF, BW и CR на потерю пакетов. Несмотря на стабильные настройки модуляции (SF = 7, BW = 250 кГц, CR = 4/5), эксперимен-

ты показали значительную потерю пакетов на больших расстояниях и в условиях препятствий.

На расстояниях менее 5 км потеря пакетов была незначительной. Однако с увеличением расстояния потеря пакетов стала достаточно заметной, особенно в лесистой местности, где было потеряно более 200 пакетов. В одном случае на расстоянии 6,14 км было потеряно более 40 пакетов, при этом значения RSSI и SNR составили -98 и -3 дБ соответственно.

Влияние факторов окружающей среды. Наличие деревьев, зданий и других препятствий оказывало значительное влияние на качество сигнала. Испытания, проведенные в лесистой местности, показали более высокую частоту потери пакетов и более низкие значения RSSI и SNR. Например, в местоположении, окруженном деревьями, уровень шумоподавления упал до -8 дБ, и прием пакетов стал неустойчивым.

Обобщение результатов исследования. В результате исследования было выявлено, что параметры SF, BW и CR имеют огромное влияние в определении качества сигнала и дальности приема-передачи в сетях LoRa. Хотя более высокий уровень SF увеличивает чувствительность и дальность приема, это приводит к снижению скорости передачи данных. Значения BW и CR также влияют на соотношение между скоростью передачи данных и надежностью. На рисунке видно, что для более высоких SF и более низких может быть применена на больших расстояниях, где потеря пакетов допустима, но надежность может пострадать в условиях плотной окружающей среды, например в лесах. А для городских условий более низкий SF и более высокий BW могут обеспечить лучшее качество при меньших потерях пакетов и более высоких скоростях передачи данных.



Зависимость RSSI и SNR от расстояния

Заключение. В данной статье было исследовано влияние SF, BW и CR на качество сигнала LoRa и дальность его приема-передачи в различных условиях. Хотя технология LoRa и надежна для связи на большие расстояния, помимо основных параметров необходимо также учитывать факторы окружающей среды, такие как деревья и здания, поскольку они существенно влияют на производительность.

Литература

- [1] Прасолов А.А., Федоров А.С. Анализ применимости и сравнение известных моделей распространения радиоволн с результатами радиоизмерений технологии LoRa. *Экономика и качество систем связи*, 2024, № 3 (33), с. 40–56.
- [2] Валишин Д.Е., Шавалиев И.Ф., Леонтьев Д.С. LoRaWAN IoT. Обзор IoT технологии LORA для интернета вещей. V *Всерос. науч.-практ. конф.: матер.* Уфа, БГАУ, 2021, с. 10–15.
- [3] Болдина В.И., Фролов А.А. Современная сверхузкополосная система передачи данных «на кристалле» LoRa. *Телекоммуникации и информационные технологии*, 2017, т. 4, № 2, с. 5–9.
- [4] Коваленко О.Н. Оценка влияния параметров оборудования LoRa на эффективную скорость передачи. *Актуальные вопросы современной науки и практики. XV Междунар. науч.-практ. конф.: сб. матер.* Уфа, ООО «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2024, с. 47–50.

Influence of SF, BW and CR parameters on signal quality and reception range in LoRa communication systems

Vershinin E.V.¹

vershinin@bmstu.ru

Zakharenkov D.S.^{1,2}

zakharenkovds@student.bmstu.ru

¹ BMSTU (KB), Kaluga, Russia

² JSC KNIITMU, Kaluga, Russia

This article presents studies of the influence of the propagation coefficient (SF), bandwidth (BW) and encoding rate (CR) on signal quality and reception range in LoRa (Long Range) communication systems. The data were obtained during field tests under various environmental conditions. The obtained data are presented and processed to study their effect on the signal-to-noise ratio (SNR), the received signal level indicator (RSSI), as well as packet loss. This article allows you to understand the impact of these parameters on communication between LoRa devices in conditions where there are obstacles, such as forests and urban areas.

Keywords: spreading factor, Bandwidth, code rate, signal quality, reception range