

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДЕКА ДЛЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПО ЛЭП

С.Портной, д.т.н., академик РАЕН,
директор по развитию бизнеса Comptek / serg.portnoy@gmail.com,
О.Карандин, аспирант МИРЭА – Российский технологический университет /
karandin.oleg@gmail.com,
В.Гусев, главный программист НПЦ "Приоритет" /
gusevkk@yandex.ru

УДК 621.391.63, DOI: 10.22184/2070-8963.2020.92.7-8.74.75

Реализация систем передачи телеметрии по линии электропередачи затрудняется наличием шума и импульсных помех в канале связи, что требует применения кодов, корректирующих ошибки. Демонстрируются результаты испытаний низкоплотного (LDPC) кода, аналогичного используемому в технологии цифрового спутникового вещания DVB-S2, при передаче информационных сообщений по ЛЭП.

ВВЕДЕНИЕ

Системы связи по линиям электропередач (PLC – Power Line Communication) сегодня широко используются по всему миру для построения автоматизированных систем учета и контроля энергопотребления (АСКУЭ), а также для управления технологическими процессами в энергосистемах [1]. Развитие систем телеметрии и внедрение новых сервисов требуют повышения пропускной способности таких систем.

Для более эффективного использования спектральных ресурсов в подобных системах связи применяют технологию OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Ортогональное частотное мультиплексирование), которая позволяет выбирать различные схемы модуляции на каждой поднесущей, быстро адаптируясь к нестационарной частотной характеристике канала.

Канал связи по ЛЭП характеризуется наличием белого шума, импульсных помех от переходных процессов в электросети, а также интерференции от радиостанций, работающих в том же диапазоне

частот. Характер передаваемых в энергосистемах сообщений требует высокой помехоустойчивости канала связи, что достигается применением кодов коррекции ошибок.

Традиционный подход с использованием каскадного кода описан в стандарте МСЭ-Т G.9903 [2]. Первой ступенью этого кода является код Рида – Соломона, а второй – сверточный код. Данная схема кодирования характеризуется высокой сложностью реализации декодера и неудовлетворительным энергетическим выигрышем от кодирования.

Принципы низкоплотного кодирования (LDPC – Low Density Parity Check) были предложены Робертом Галлагером еще в 1960 году. Однако из-за высоких требований, которые эти коды предъявляют к вычислительным устройствам, они начали применяться лишь в середине 90-х годов прошлого века. Сегодня LDPC-коды являются стандартом в системах беспроводной связи.

Код LDPC – это линейный блочный код с разреженной проверочной матрицей и большой длиной кодового слова. Его использование позволяет

Таблица 1. Задержка декодирования при разной длине информационной последовательности (k)

k, бит	3024	6048	9072	12096
Задержка декодера, мс	11.6	15.3	17.2	22.3

Таблица 2. Вероятность пакетной ошибки в системе с кодированием при разной длине информационной последовательности (k)

k, бит	3024	6048	9072	12096
Вероятность ошибки в пакете, %	6	6	32	48

приблизиться к теоретической предельной пропускной способности канала.

Принципы работы алгоритмов кодирования и декодирования, а также метод преобразования проверочной матрицы, аналогичной используемой в технологии DVB-S2, к требуемому размеру пакетов описаны нами в работе [3]. В данной статье приводятся результаты испытаний работы полученного LDPC-кода при передаче информации в реальном канале связи.

Условия и результаты эксперимента

Программная реализация кодера и декодера на языке программирования C++ выполняется на процессоре ARM Cortex-A15 Quad @2.0GHz с 2 ГБ оперативной памяти.

Мы фиксируем число проверочных бит (3024) и тестируем работу кодера при разной скорости кода, меняя длину информационной последовательности. Скорости 4/5, 3/4, 2/3 и 1/2 соответствуют последовательностям длиной 12096, 9072, 6048 и 3024 бит. Результаты измерений при каждой скорости кода усреднялись по 500 пакетам, принятым с ошибками. При передаче используется двоичная фазовая модуляция.

На рис.1 приведены вероятность битовой ошибки без применения кодирования и с применением LDPC-кода для различных скоростей кода (различных длин информационной последовательности). С уменьшением длины сообщения избыточность возрастает, а с ней увеличивается и способность исправлять ошибки.

В табл.1 представлена задержка, вносимая декодером, для разных длин информационной последовательности. Она находится в пределах 10–20 мс, что эквивалентно скорости передачи информационных

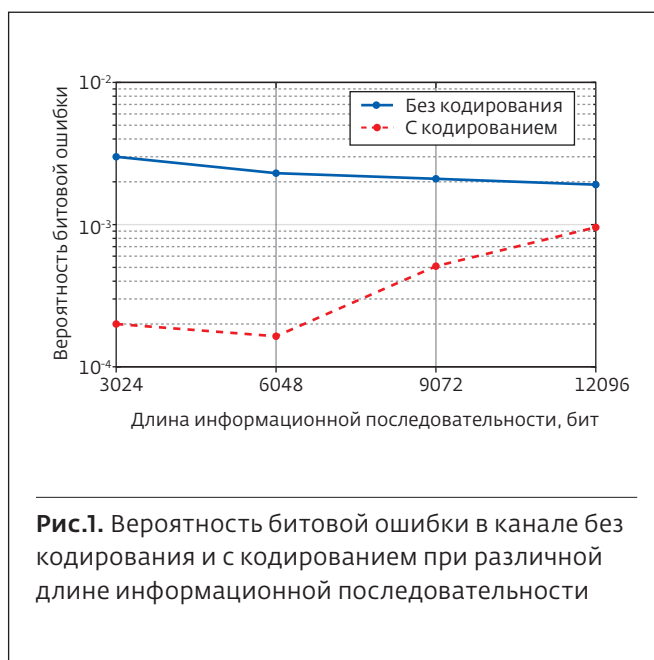


Рис.1. Вероятность битовой ошибки в канале без кодирования и с кодированием при различной длине информационной последовательности

сообщений 0,3–0,6 Мбит/с и достаточно для задач телеметрии в энергосистемах.

В табл.2 указана вероятность наличия ошибки в пакете в системе с кодированием – в сравнении со 100% в системе без кодирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рост числа систем телеметрии, связанных, в частности, с развитием концепции умного города, вынуждает использовать каналы связи по линиям электропередачи, характеризующиеся высоким уровнем шума и интерференции. Для надежной передачи сообщений по таким каналам необходимо применение помехоустойчивого кодирования.

В этой работе мы продемонстрировали результаты испытаний в системе связи по ЛЭП LDPC-кода коррекции ошибок, аналогичного используемому в технологии DVB-S2. Они показывают, что дополнительная помехоустойчивость была достигнута при допустимой величине задержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Majumder A., Caffery J.** Power line communication: An overview // IEEE Potentials Magazine. 2004. No. 23(4). P. 4–8.
2. Recommendation ITU-T G.9903. Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks.
3. **Карандин О., Лицына Е., Лузинский В., Портной С.** Разработка помехоустойчивого кодера для системы связи по ЛЭП // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2020. № 2. С. 40–45.