УДК 621.391.8

Моделирование последовательности ошибок, вносимых низкоплотностным кодом в канал двоичных данных.

А.А. Хлынов

Московский физико-технический институт (государственный университет)

ФГУП НИИ Радио

В работе рассматривается модель низкоплотностного ldpc кодека в канале с аддитивным белым гауссовым шумом. Исследуется распределение ошибок в выходном потоке данных, в зависимости от квантования и ограничения выходных значений демодулятора канала присутствующем в практических реализациях демодулятора и декодера, при реализации на ПЛИС. Рассматривается модель системы вносящей ошибки, имеющие распределение в потоке, аналогичное вносимым помехоустойчивым кодом. Ldpc кодек построен по стандарту CCSDS 131.1-O-2 (k=1024, rate=1/2) с реализацией декодера по методу min-sum. В качестве сигнальной конструкции использована схема QPSK, канал с аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ).

В качестве изменяемых параметров модели задаётся значение отношения сигнал/шум E_b/N_0 в канале и наличие или отсутствие квантования метрик на входе декодера, а именно нормировка и квантование значений llr (log-likelihood ratio (логарифмический коэффициент правдоподобия)) до 6 бит (диапазон +31/-32); данное ограничение диапазона мягких решений демодулятора наиболее часто используется в аппаратуре, т.к. меньшая разрядность влечёт ухудшение эффективности кодека, а увеличение – значительный рост занимаемых кодеком ресурсов при незначительном улучшении эффективности.

На рис. 1 показано сравнение вероятности ошибки в канале для описанных выше моделей канала. Энергетический выигрыш кодирования на уровне $BER=10^{-6}$ для декодера Min-Sum составляет ~7.125 дБ, а для декодера Min-Sum с квантованием ~7 дБ. Таким образом имеем проигрыш в эффективности ~0.125дБ из-за наличия квантования метрик на входе декодера.

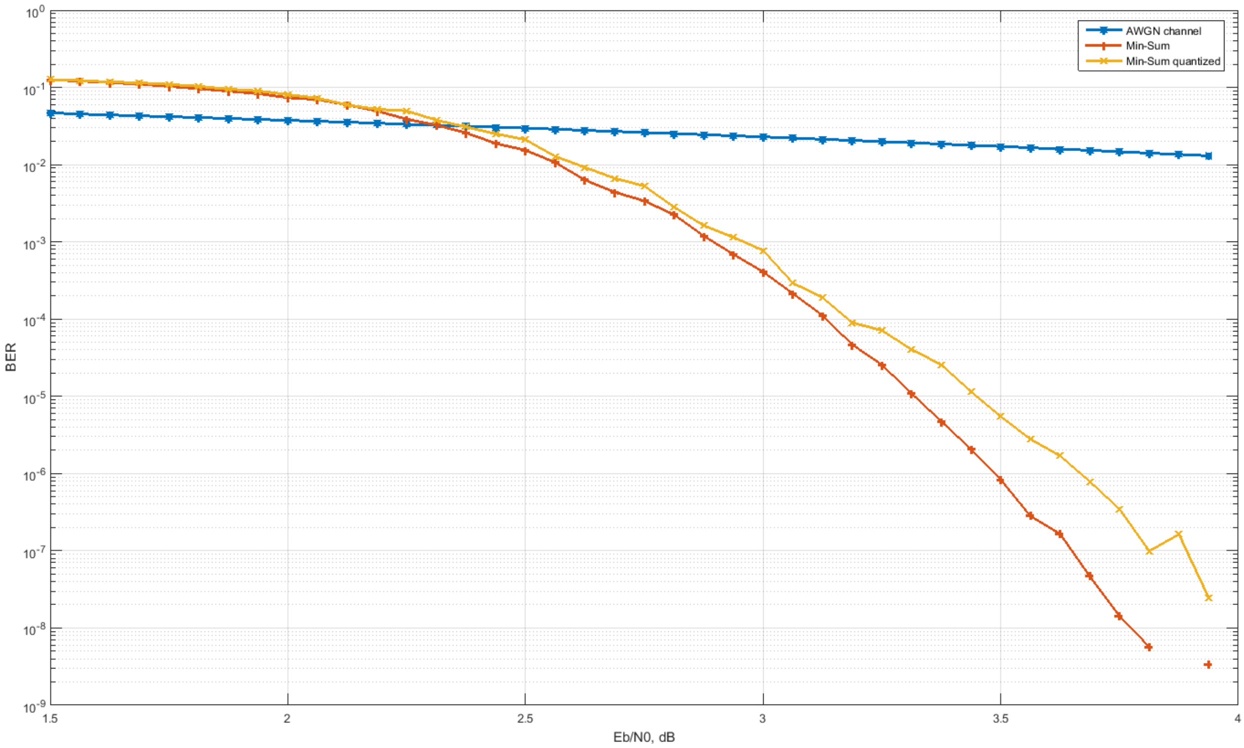

Рис.1. Вероятность ошибки в канале при различных значениях E_b/N_0.

Распределение ошибок после декодера предлагается рассматривать в виде распределения длин интервалов, свободных от ошибок, по вероятности из появления в канале, как наиболее наглядной форме, иллюстрирующей отличия различных реализаций [1].

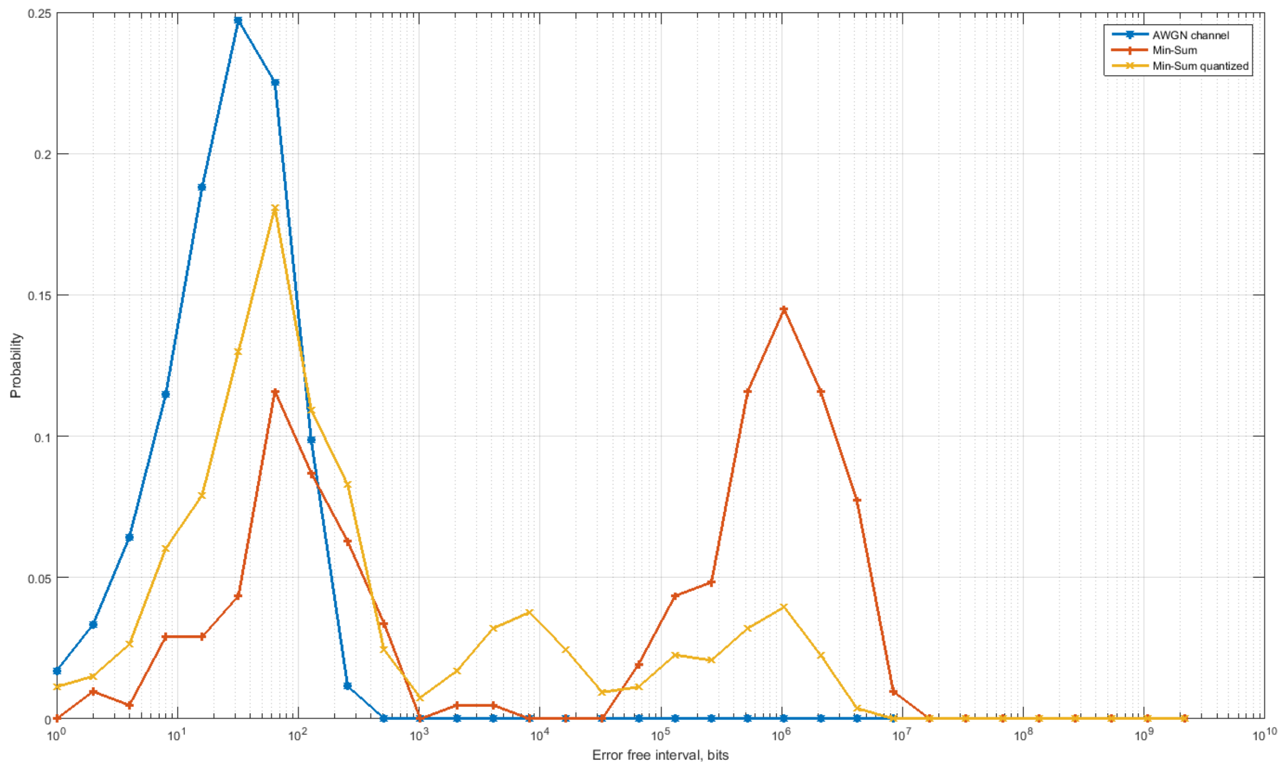

Рис. 2. Вероятность появления интервала, свободного от ошибок, в зависимости от его длины при E_b/N_0=3.5дБ.

На рис. 2 показано распределение вероятностей появления интервалов свободных от ошибок (в логарифмическом масштабе по оси абсцисс) для шума в канале на уровне E_b/N_0=3.5дБ. Значения вероятностей для каждого случая отнормированы независимо для сравнения свойств распределений, а не вероятностей появления ошибок (которые в канале без кодека встречаются намного чаще).

Далее (рис. 3) рассмотрим распределение интервалов без ошибок, вносимых каналом с АБГШ. Канал без кодека имеет одну «горку» на распределении, вершина которой зависит от вероятности ошибки и примерно соответствует значению $1/p_{ош}$. На следующем рисунке (Рис. 4) приведено аналогичное распределение, только для системы с помехоустойчивым кодеком (Min-Sum с квантованием), легко заметить, что кодек группирует часть ошибок на «коротких» интервалах длины меньше длины блока (n<1024), это свойство необходимо учитывать при построении каскадного кодирования, которое должно устранять оставшиеся ошибки после внешнего ldpc кода. Квантование в свою очередь вносит дополнительную группу интервалов между «длинными» и «короткими», размывая область с «длинными» интервалами.

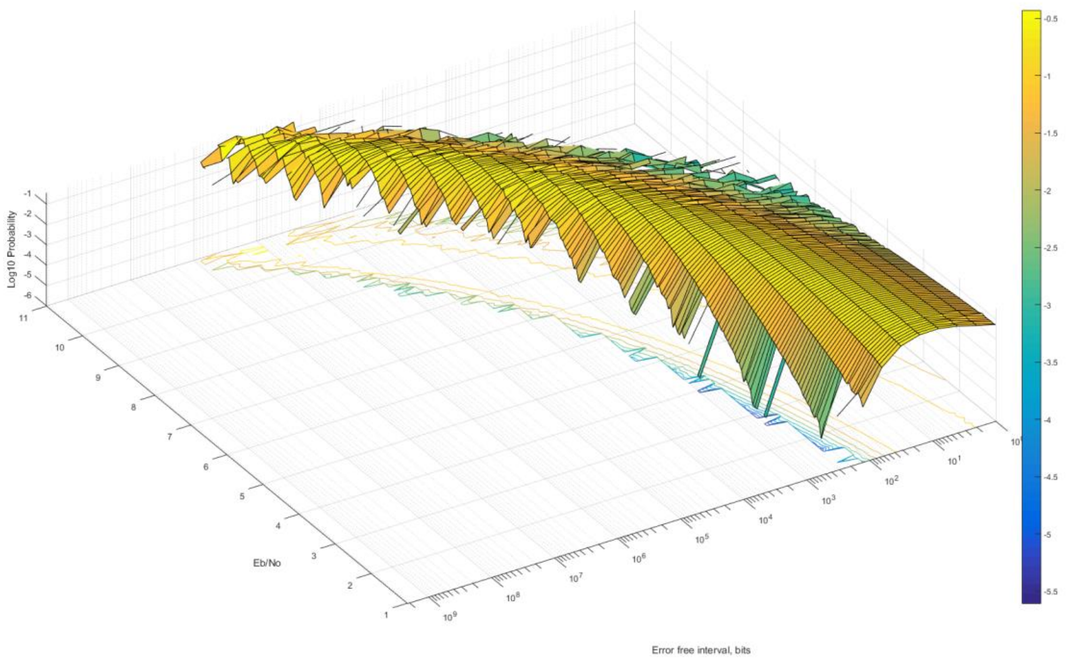

Рис. 3. Вероятность появления интервала, свободного от ошибок, в зависимости от его длины при различных значениях E_b/N_0 в канале с АБГШ, без кодека помехоустойчивого кодирования.

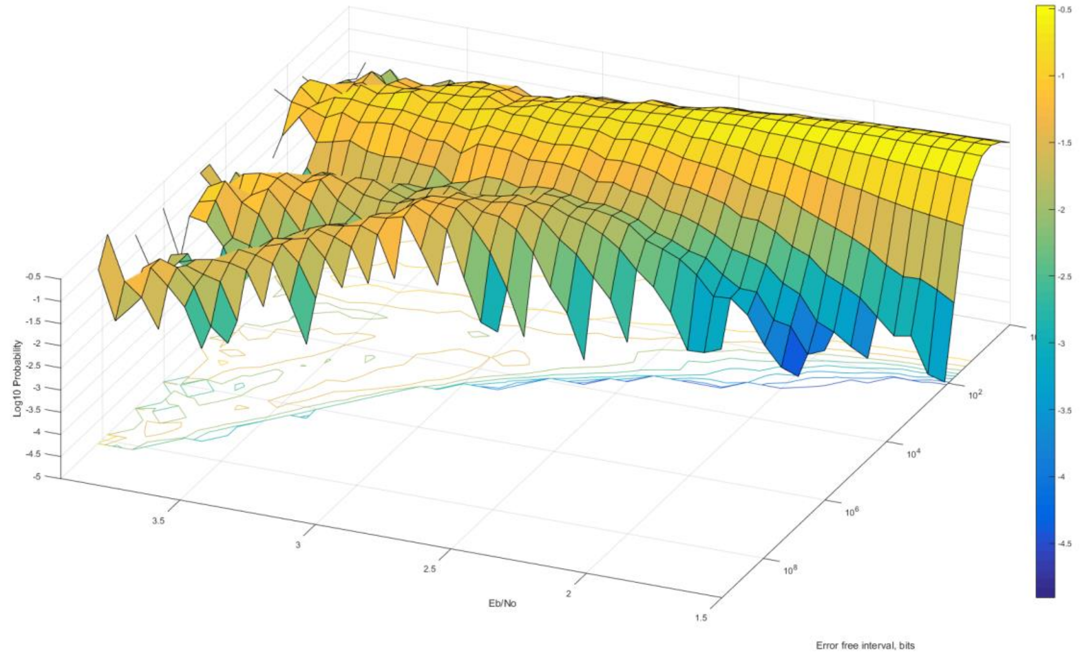

Рис. 4. Вероятность появления интервала, свободного от ошибок, в зависимости от его длины при различных значениях E_b/N_0 в канале с кодеком помехоустойчивого кодирования.

Можно сделать вывод, что наличие кодека и кодека с квантованием значительно изменяет распределение ошибок на выходе канала, которое нужно учитывать при проектировании системы передачи данных и выборе внутреннего кода для исправления остаточных ошибок.

Имея экспериментальные значения дискретного распределения вероятностей появления интервалов (x_1, x_2, … , x_n) свободных от ошибок (p_1, p_2, … , p_n соответственно) методом обратных функций Монте-Карло [2] можем смоделировать распределение случайной величины ξ – интервала свободного от ошибок.

Для того, чтобы вычислить значение этой величины разделим интервал $0 \leq y < 1$ на интервалы Δ_i такие, что длина $\Delta_i = p_i$. Тогда $\xi = x_i$, когда значение равномерно распределённой на интервале (0;1) случайной величины γ принадлежит интервалу Δ_i. Единичные ошибки в поток двоичных данных вносить после достижения счётчиком значения x_i, далее повторяя алгоритм.

Литература

1. *Самойленко С.И.* Статистика ошибок при передаче цифровой информации. – М.: Мир, 1966

2. *Соболь И.М.* Численные методы Монте-Карло. - М.: Наука, 1973