

170. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БИТОВЫХ ОШИБОК В ЦИФРОВЫХ КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Белко-Епифанов Б.И., студент группы 578102

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Савилова Ю.И. – доц. каф. физики, канд. техн. наук

Аннотация. В работе рассматривается упрощённый подход к прогнозированию вероятности битовой ошибки (BER) в цифровых каналах связи. Используется модель канала с аддитивным белым гауссовым шумом и метод экспоненциально взвешенного скользящего среднего для оценки тенденции изменения BER на основе текущего уровня отношения сигнал/шум. Показано, что предложенный метод позволяет заранее выявлять ухудшение качества канала и может применяться в системах реального времени благодаря низкой вычислительной сложности.

Качество цифровой передачи данных сильно зависит от того, насколько хорошо канал связи справляется с шумами и помехами. В реальных условиях на сигнал влияет очень много факторов: и особенности аппаратуры, и внешние электромагнитные воздействия, и даже просто расстояние между передатчиком и приёмником. Поэтому вероятность битовой ошибки (BER) считается одним из основных показателей, по которому можно судить о том, насколько надёжно работает канал [1; 2]. Обычно BER измеряют уже после приёма данных [1], и это позволяет только понять, что качество связи ухудшилось, но не даёт возможности заранее предсказать, что проблемы вот-вот начнутся. Из-за этого адаптивные системы, которые могли бы заранее изменить параметры передачи, реагируют с задержкой. Именно поэтому задача прогнозирования BER сейчас считается довольно актуальной.

В данной работе используется классическая модель канала с аддитивным белым гауссовым шумом (AWGN) [1; 2]. Эта модель считается базовой, но при этом она хорошо описывает ситуацию, когда основным источником искажений является именно шум. В рамках модели принимаемый сигнал можно записать в виде (1):

$$y(t) = s(t) + n(t) \quad (1),$$

где $s(t)$ — полезный сигнал, $n(t)$ — гауссов шум с нулевым средним значением и известной дисперсией. Такая модель часто используется в теории связи [1; 2], потому что она достаточно простая и при этом позволяет получить понятные аналитические зависимости. Например, для двоичной фазовой манипуляции (BPSK) вероятность ошибки выражается через интеграл вероятности [1; 2], и благодаря этому можно установить связь между BER и отношением сигнал/шум (SNR). То есть, если SNR падает, BER растёт — и наоборот. Это логично и удобно для анализа.

Однако прямые измерения BER могут быть нестабильными. Иногда даже кратковременная помеха может резко увеличить BER, хотя в целом канал остаётся нормальным. Если использовать такие «сырые» значения для прогноза, то результат будет слишком шумным и непредсказуемым. Чтобы сгладить такие скачки, применяется метод экспоненциально взвешенного скользящего среднего (EWMA) [3]. Он учитывает как текущее значение, так и предыдущие оценки. Формула имеет вид (2):

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1} \quad (2),$$

где X_t — текущее измерение BER, S_{t-1} — предыдущий прогноз, а α — коэффициент сглаживания. Если выбрать α слишком большим, прогноз станет слишком чувствительным к случайным выбросам. Если слишком маленьким — он будет слишком «тяжёлым» и медленно реагировать на изменения. В ходе работы было установлено, что значение $\alpha = 0.3$ даёт наиболее сбалансированный результат: прогноз получается достаточно плавным, но при этом своевременно реагирует на ухудшение канала.

В процессе моделирования рассматривалась ситуация, когда уровень SNR постепенно снижается [4]. Это может происходить по разным причинам: увеличивается расстояние между устройствами, появляются новые источники помех, меняются условия распространения сигнала. Результаты показали, что прогнозируемое значение BER увеличивается [4] практически одновременно с ухудшением канала, но при этом метод EWMA позволяет заранее заметить тенденцию роста ошибок.

Это особенно важно для систем реального времени, где нужно быстро принимать решения о смене режима работы или параметров модуляции.

Отдельно стоит отметить, что предложенный подход обладает низкой вычислительной сложностью [1]. Это делает его удобным для реализации на встраиваемых устройствах, где ресурсы ограничены. В отличие от методов машинного обучения, EWMA не требует больших объёмов данных и предварительного обучения. Тем не менее, в будущем можно рассмотреть использование более сложных моделей, например нейросетевых, которые способны учитывать нелинейные зависимости и особенности конкретного канала. Это может повысить точность прогнозирования и расширить область применения метода.

В целом проведённое исследование показывает, что метод EWMA является простым, понятным и достаточно эффективным инструментом для прогнозирования BER. Он позволяет заранее выявлять ухудшение качества канала и может использоваться в различных системах цифровой связи, включая те, где важна скорость реакции и ограничены вычислительные ресурсы.

Список использованных источников:

1. Прокис, Дж. Цифровая связь: учебник / Дж. Прокис. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: учебник / Б. Скляр. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
3. Феер, К. Беспроводная цифровая связь: учеб. пособие / К. Феер. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
4. Васильев, В.К. Математическое моделирование систем связи: учеб. пособие / В.К. Васильев. – Минск: БГУИР, 2015. – 120 с.