УДК 621.391

Ю. В. ЩЕРБИНА

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРИЕМА ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ АДДИТИВНЫХ ПОМЕХ

Оптимальные методы приема дискретных сигналов на фоне аддитивных помех достаточно хорошо разработаны для случая априорно известных законов распределения сигнала и шума в предположении, что значения их параметров в процессе приема остаются неизменными [1]. Однако в реальных каналах связи условия приема постоянно изменяются во времени и получение аналитических видов распределений сигнала и шума представляет собой сложную задачу.

Обычно эта проблема решается путем выбора оптимального значения порога u_0, относительно которого принимается решение о значении каждого принимаемого символа для некоторых фиксированных условий приема, а возникающие при этом ошибки исправляются вследствие корректирующей способности кода. В этом случае процедуры демодуляции и декодирования между собой не связаны, что определяет простоту устройств, реализующих такие алгоритмы, но снижает помехоустойчивость приема сообщений.

Объединив эти процедуры, можно в значительной степени повысить достоверность приема сообщений, так как при этом вся энергия принятого сигнала используется объединенной решающей схемой.

Рассмотрим случай, когда сигнал, соответствующий единичному символу, уровень которого равен a, передается на фоне аддитивной помехи с нормальным распределением и средним значением, равным нулю. Плотности распределения вероятностей $\omega(u/1)$, $\omega(u/0)$, характеризующие прием элементов 1, 0, имеют вид

$$\omega(u/1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(u-a)^2}{2\sigma^2}\right\}, \tag{1}$$

$$\omega(u/0) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{u^2}{2\sigma^2}\right\},$$

где σ — среднеквадратическое значение помехи; u — мгновенное значение принимаемого сигнала.

При использовании критерия идеального наблюдателя пороговое значение отношения правдоподобия $\lambda_0 = p(0)/p(1)$, где $p(1)$, $p(0)$ — априорные вероятности, соответствующие приему элементов 1, 0, а его текущее значение определяется отношением плотностей распределения вероятностей [1] $\lambda = \varphi(u/1)\omega(u/0)$ (2). Оптимальное значение порога u_0, которое можно получить из выражений (1), (2) имеет вид $u_0 = (\sigma^2/a)\ln\lambda_0 + a/2$.

В процессе приема значение u_0 не постоянно. Это объясняется тем, что в реальных каналах связи имеет место замирание сигнала, вызывающее медленное изменение во времени параметра a. Кроме того, из-за нестационарности источника передаваемой информации пороговое значение λ_0 так же изменяется относительно некоторого среднего значения.

В работе [2] описан адаптивный алгоритм, позволяющий производить коррекцию порога u_0 в зависимости от колебаний значения λ_0 путем подсчета количества единичных и нулевых символов, принимаемых на длине зачетного интервала N, с последующим сравнением его с эталонным значением. Получаемые таким образом оценки априорных вероятностей передаваемых символов $P(0)$, $P(1)$ позволяют косвенно судить о текущем значении λ_0 и соответствующим образом корректировать уровень порога u_0. Однако колебания среднего значения сигнала a в данном алгоритме не учитываются и это является его серьезным недостатком.

Этот недостаток можно в значительной степени устранить, если для коррекции порога u_0 использовать статистические данные о характере ошибок исправляемых применяемым кодом. Вероятность ошибочного приема элементарного символа определяется выражением [1] $p_{\text{ош}} = \alpha p(0) + \beta p(1)$ (3), где α, β — вероятность «ложной тревоги» и «пропуска сигнала» соответственно. Отклонение оптимального порога в меньшую сторону вызывает рост вероятности «пропуска сигнала», отклонение в большую сторону — увеличение вероятности «ложной тревоги», что снижает достоверность приема информации в целом.

Если кратность ошибок не превышает корректирующей способности кода, то оценки вероятностей «ложной тревоги» и «пропуска сигнала» можно получать как отношение числа переходов символов из 0 в 1 и наоборот к длине зачетного интервала, на котором они определяются:

$$P(\alpha) = \frac{\sum\limits_{i=0}^{\frac{d+1}{2}} \frac{\nu_i}{n}}{m}; \quad P(\beta) = \frac{\sum\limits_{i=0}^{\frac{d+1}{2}} \frac{\mu_i}{n}}{m},$$

где ν_i, μ_i — количество «ложных тревог» и «пропусков сигналов» в n-разрядной кодовой комбинации; m — количество анализируемых кодовых комбинаций; d — кодовое расстояние применяемого кода.

Точность оценок $P(\alpha)$, $P(\beta)$ зависит от длины зачетного интервала $N = mn$, ее можно оценить опытным путем по методике, описанной в работе [3].

Изменение вероятностей «ложной тревоги» и «пропуска сигнала» при отклонении оптимального значения порога от своего первоначального значения на Δu определяется выражениями

$$\Delta\alpha = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int\limits_{u_0}^{u_0-\Delta u} \exp\left\{-\frac{u^2}{2\sigma^2}\right\} du; \tag{4}$$

$$\Delta\beta = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int\limits_{u_0}^{u_0+\Delta u} \exp\left\{-\frac{(u-a)^2}{2\sigma^2}\right\} du.$$

Таким образом, пользуясь выражениями (4), расчетным путем устанавливаем однозначное соответствие между приращениями оценок $P(\alpha)$, $P(\beta)$ и приращением Δu, на которое необходимо изменить значение u_0 для того, чтобы вероятность ошибочного приема элементарного символа $p_{ош}$ не вышла за пределы корректирующей способности применяемого кода.

Рассмотренный алгоритм можно применять для широкого класса систем передачи информации, использующих различные типы кодов при коррекции ошибок. В этом случае сложность устройств несколько возрастает из-за необходимости введения дополнительных объемов памяти для запоминания статистических данных о характере исправляемых ошибок. Однако его несомненным достоинством является учет медленных изменений всех параметров, влияющих на оптимальное значение порога u_0 в процессе приема.

Список литературы: 1. *Кузьмин И. В., Кедрус В. А.* Основы теории информации и кодирования.— К.: Вища шк. Головное изд-во, 1977.— 280 с. 2. *А. с. 658764 СССР.* Устройство автоматической установки оптимальных соотношений между напряжением порога и двоичного сигнала / Д. А. Судник // Бюл. изобрет.— 1979, № 15.— С. 240. 3. *Яглом А. М., Яглом И. М.* Вероятность и информация.— М.: Наука, 1973.— 512 с.

Поступила в редколлегию 09.12.85.