

СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА ПРИЕМА «В ЦЕЛОМ» СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СПЕКТРАЛЬНО-ЭФФЕКТИВНЫХ СИГНАЛОВ С МЕЖСИМВОЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИЕЙ

Одним из методов сужения спектра передаваемой последовательности сигналов является применение спектрально-эффективных сигналов с межсимвольной интерференцией (МСИ). Под МСИ понимается явление наложения сигналов, соответствующих подряд идущим передаваемым канальным символам. Использование сигналов с МСИ приводит к уменьшению помехоустойчивости приема. Для сохранения той же вероятности ошибочного приема, что и для сигналов без МСИ, необходимо увеличить мощность передаваемой последовательности сигналов. Под удельными энергетическими затратами будем понимать отношение энергии, затрачиваемой на передачу одного информационного символа (в данном случае информационный символ совпадает с канальным) E_{σ} к спектральной плотности средней мощности нормального белого шума N_0 , действующего в канале связи. Для снижения удельных энергетических затрат при использовании сигналов с МСИ целесообразно использовать алгоритм приема «в целом».

Пусть передаваемая случайная последовательность сигналов $s(t)$ имеет вид

$$s(t, d_r^{(0)}, d_r^{(1)}, \dots, d_r^{(N-1)}) = A_0 \sum_{k=0}^{N-1} d_r^{(k)} g(t - kT) \cos(\omega_0 t),$$

где $d_r^{(k)}$ – символ канального алфавита, переданный на интервале $[kT; (k+1)T]$ и принимающий два возможных значения 1 или -1, $g(t)$ – сигнал длительностью nT , соответствующий символу $d_r^{(k)}$. При выборе $n > 1$ возникает явление межсимвольной интерференции. Будет рассмотрены значения $n = 2, 4$ для

$$g(t) = A_0 \sin\left(\frac{\pi(t - nT/2)}{T}\right) / \left(\frac{\pi(t - nT/2)}{T}\right), \quad 0 < t < nT$$

На рис. 1 изображены графики функции $g(t)$ для $n=2, n=4$.

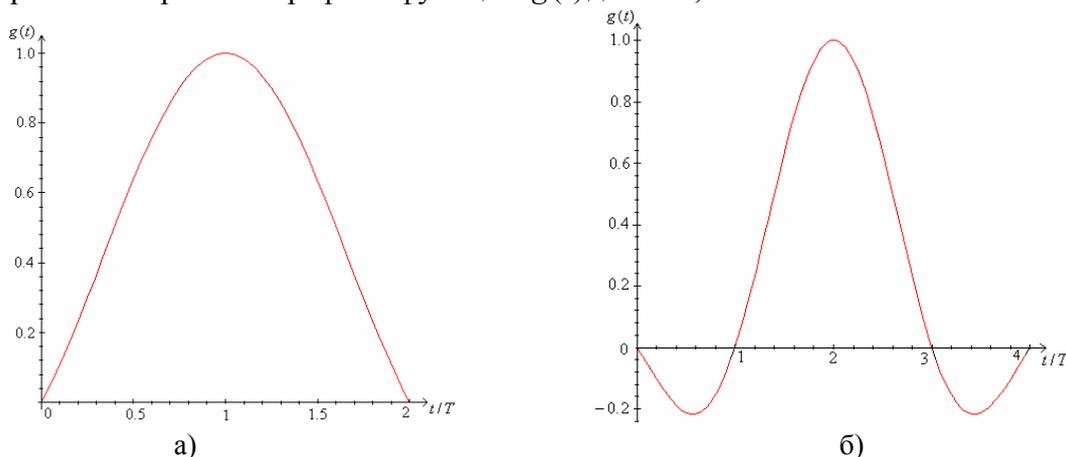


Рис. 1. Графики функции $g(t)$: а) при $n=2$; б) при $n=4$

Алгоритм приема сигналов в «целом» заключается в нахождении такой последовательности символов $\hat{d}_r^{(0)}, \hat{d}_r^{(1)}, \dots, \hat{d}_r^{(N-1)}$, которая минимизирует величину

$$f(d_r^{(0)}, d_r^{(1)}, \dots, d_r^{(N-1)}) = \int_0^{NT} (x(t) - s(t, d_r^{(0)}, d_r^{(1)}, \dots, d_r^{(N-1)}))^2 dt,$$

где $x(t) = s(t, \tilde{d}_r^{(0)}, \tilde{d}_r^{(1)}, \dots, \tilde{d}_r^{(N-1)}) + n(t)$ – передаваемый сигнал, $\tilde{d}_r^{(0)}, \tilde{d}_r^{(1)}, \dots, \tilde{d}_r^{(N-1)}$ – передаваемая последовательность канальных символов, $n(t)$ – нормальный белый шум.

В простейшем случае простого перебора всех возможных последовательностей символов количество операций сравнения для нахождения решения равно 2^N .

Для уменьшения количества операций сравнения будем использовать алгоритм Витерби [1]. Суть алгоритма Витерби заключается в том, что в моменты времени $t = kT$, где $k = n, n+1 \dots N$ происходит отсев половины комбинаций $d_r^{(0)}, d_r^{(1)}, \dots, d_r^{(k)}$ путем разбиения их на пары, у которых $n-1$ последних символов совпадают. В каждой паре определяется лучшая комбинация. Т.о. число предполагаемых решений в данные моменты времени становится равным 2^{n-1} . Увеличение числа комбинаций производится добавлением к каждой оставшейся комбинации по два приращения символами 1 и -1. Количество операций сравнения для нахождения $(\hat{d}_r^{(0)}, \hat{d}_r^{(1)}, \dots, \hat{d}_r^{(N-1)})$ при больших N примерно равно $2^{n-1} N$.

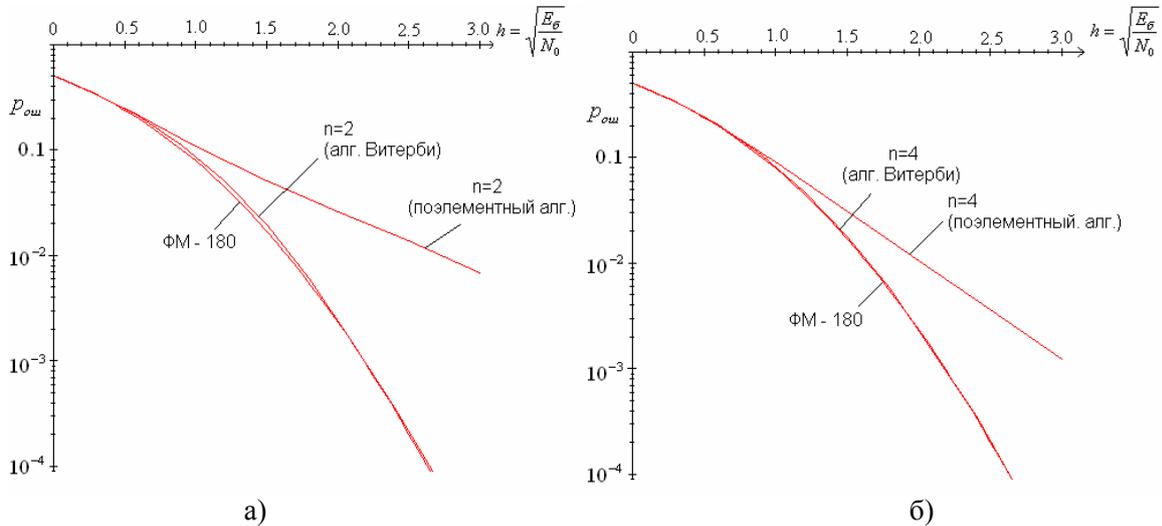


Рис. 2. Графики вероятностей ошибочного приема по поэлементному алгоритму и алгоритму Витерби а) $n=2$; б) $n=4$

На рис. 2 приведены кривые средней вероятностей ошибочного приема символов для $N=500$ (проведено 2000 экспериментов) от значения $h_0 = \sqrt{E_s / N_0}$ для алгоритма Витерби

(численный расчет) и поэлементного алгоритма: $d_r^{(k)} \int_{kT}^{(k+n)T} x(t)g(t-kT)\cos(\omega_0 t)dt > 0$.

Уменьшение вероятности ошибочного приема при увеличении n связано с уменьшением дисперсии, модуля минимального и максимального значения дискретной

случайной величины $\sum_{i=1}^{n-1} d_r^{(i)} \int_0^{nT} g(t)g(t \pm iT)dt / \int_0^{nT} g^2(t)dt$, определяющей уровень МСИ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Макаров С.Б., Цикин И.А. Передача дискретных сообщений по радиоканалам с ограниченной полосой пропускания. – М.: Радио и связь, 1988.