

УДК 621.391

Сорока Л.С., Рассомахин С.Г.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУНЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ
ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНО-
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕСУРСА КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В АСУ**

Основными характеристиками процесса управления и информационного обмена любой АСУ являются быстродействие, помехоустойчивость, стоимость и показатели удельной эффективности использования каналов передачи данных. Повсеместное внедрение беспроводных технологий и стремительное развитие городских сетей делают актуальной задачу минимизации частотно-энергетического ресурса, необходимого для удаленного взаимодействия абонентов открытых систем. В сложных условиях электромагнитной совместимости все чаще приходится сталкиваться с ситуацией, когда объем физических переносчиков информации – сигналов, превышает выделенную емкость каналов. В этих условиях необходим поиск новых способов представления и передачи информации, которые следует искать на пути совместного рассмотрения источников и каналов [1] для получения сжатых помехоустойчивых сигнальных конструкций.

Обобщенной технической характеристикой любого сигнала является его объем $V_c = D_c T_c F_c$, где D_c – мощность, T_c – длительность, F_c – полоса занимаемых частот сигнала. Аналогичной характеристикой выделяемого канала является его емкость $V_k = D_k T_k F_k$. Осуществление передачи информации в условиях жесткого ограничения физического ресурса соответствует случаю, когда $V_c > V_k$. Рассмотрим одно из возможных решений такой задачи при передаче гауссова непрерывного случайного сигнала $c(t)$ с эффективно ограниченным в полосе F_c спектром по стационарному каналу, обладающему эффективной шириной полосы пропускания $F_k < F_c$, в условиях действия аддитивного белого гауссова шума (АБГШ). При этом объективным показателем качества процесса передачи является величина относительной дисперсии ошибки восстановления $D = \frac{1}{D_c} D[c(t) - c^*(t)]$.

Минимально достижимая величина D определена фундаментальным пределом [2]:

$$\min \langle D \rangle = (1+h)^{-F_k/F_c}, \quad h = \frac{D_c}{D_\xi}, \quad (1)$$

где h – отношение сигнал/шум в канале; $D_\xi = N_0 \cdot F_k$ – мощность АБГШ в полосе канала; N_0 – спектральная плотность мощности АБГШ.

Алгоритм построения сигнальной конструкции, рассматриваемый ниже, позволяет асимптотически приближаться к следующей границе, полученной на основе (1)

$$\min \langle D' \rangle = \left[(1 + K_v \cdot h)^{1/K_v} - 1 \right]^{-1}, \quad (2)$$

где $K_v = \frac{F_c}{F_k}$ – коэффициент сжатия объема сигнала. Формула (2) показывает, что если, например, объем сигнала превышает емкость выделенного канала в 2 раза, то при достаточно большом отношении сигнал/шум ($h > 20$ дБ), относительная дисперсия ошибки при передаче не превысит 8 %. Подобная пропорция является чрезвычайно выгодной для случаев, когда получателю сообщений не требуется абсолютно точное воспроизведение формы переданных непрерывных сигналов (например, при передаче речевых сообщений). Процедура синтеза сигнальных конструкций для условий жестких ограничений частотно-энергетического ресурса основана на результатах доказательства теоремы о локализованных отсчетах [3, 4]. В соответствии с этой теоремой допускается воспроизведение непрерывных функций, обладающих конечной мощностью и спектром, с контролируемой (сколь угодно малой) погрешностью по результатам фрагментарных наблюдений отрезков их интервальных разложений в произвольном ортогональном базисе. Композиция и временное масштабирование фрагментов разложений используются для получения отрезков полунепрерывных конструкций, описываемых следующим выражением

$$x(t) = \frac{Y_0}{2} + \sum_{m=1}^Q \left[Y_m \cdot \cos\left(m \cdot \frac{2\pi}{N \cdot M \cdot T_c} \cdot t\right) + Y_{m+Q} \cdot \sin\left(m \cdot \frac{2\pi}{N \cdot M \cdot T_c} \cdot t\right) \right] \times \\ \times [\Phi(t) - \Phi(t - N \cdot M \cdot T_c)] , \\ X(t) = x(t \cdot M) \quad (3)$$

где $Q = \frac{N(2B+1)}{2}$ – порядок интервального разложения в гармоническом базисе; N – число объединяемых в конструкции отрезков T_c исходного сигнала; B – база сигнала на отрезке разложения T_c ; M – коэффициент временного масштабирования отрезков, использованных в конструкции; $Y_i, i = \overline{0, Q}$ – коэффициенты Фурье; $\Phi(t)$ – функции Хевисайда.

Построение цепочки последовательных отрезков для полной длительности T передаваемой непрерывной функции $\sum_{t \in T} X(t)$, описываемых преобразованием (3),

обеспечивает получение конструкции, принадлежащей классу полунепрерывных сигналов. При этом часть информативных параметров (амплитудные коэффициенты Фурье) принадлежат непрерывному континууму, в то время как остальные параметры (число гармоник разложения и длительность отрезков) дискретны.

Задачей обработки сжатой по спектру сигнальной конструкции при приеме на фоне АБГШ является восстановление полной длительности отрезков интервальных разложений $x(t)$ после соответствующей компрессии во времени, а также построение сглаженной исходной непрерывной формы огибающей исходного сигнала. Обработка производится по результатам дискретных измерений $z(t_i) = X(t_i) + \xi(t_i)$ (второе слагаемое определяет отсчеты АБГШ), при этом для исключения внеполосных по отношению к форме (3) помех, осуществляется фильтрация с использованием БДПФ. Для восстановления отрезков разложений исходного сигнала производится решение N систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) следующего вида

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{A} \cdot \bar{\mathbf{Y}} = \bar{\mathbf{B}}; \\
 & A_{k,0} = \frac{1}{2}, \quad A_{k,j} = \text{Cos} \left(j \cdot \frac{2\pi}{T_c} \cdot t_k \right), \quad A_{k,j+B} = \text{Sin} \left(j \cdot \frac{2\pi}{T_c} \cdot t_k \right); \\
 & B_k = z(t_k), \quad k = 0 \dots 2 \cdot B, \quad j = 1 \dots B.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Найденный вектор коэффициентов интервальных разложений $\bar{\mathbf{Y}}$ определяет восстановление последовательности отрезков T_c исходного сигнала. Заключительной операцией является фильтрация на интервале T в полосе F_c с использованием БДПФ. Это позволяет устранить разрывы огибающей на границах интервалов разложений, возникающие с периодом T_c .

Максимальная помехоустойчивость конструкции достигается при минимальных значениях базы разложения $B \leq 2$. При этом, в отличие от методов оптимального приема дискретных сигналов, решается задача оценивания параметров $\bar{\mathbf{Y}}$ на фоне АБГШ. Можно показать [5], что относительная мощность ошибки восстановления, возникающей из-за помех в канале, при использовании сигнальных конструкций (3) определяется амплитудно-частотной характеристикой алгоритма преобразования (4) и вычисляется на основе эмпирического выражения

$$D = \Delta_{\min} + K_h \cdot h^{-1}, \tag{5}$$

где

$$h = \frac{1}{N \cdot T_c} \int_0^{N \cdot T_c} X(t)^2 dt \cdot (N_0 F_c)^{-1}; \tag{6}$$

Δ_{\min} – мощность ошибки интервального представления; K_h – коэффициент усиления помехи, причем $K_h \approx 4$ для $B=1$ и $K_h \approx 83$ для $B=2$.

На рис.1 представлены результаты расчета относительной дисперсии ошибки восстановления при использовании полунепрерывных сигнальных конструкций в сравнении с традиционными способами передачи.

На рисунке использована следующая нумерация зависимостей: 1 – фундаментальный предел (1); 2 – предел для полунепрерывных конструкций (2); 3 – относительная дисперсия ошибки, определяемая (5); 4 – дисперсия ошибки при аналоговой передаче с ограничением спектра исходного сигнала; 5,6 и 7 – дисперсия ошибки при использовании импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) и ансамблей сигналов с квадратурной амплитудно-фазовой модуляцией (КАФМ) с числом сигнальных точек, соответственно равным 2^6 , 2^{12} и 2^{18} . Анализ зависимостей позволяет сформулировать следующие выводы: в диапазоне значений $h = 10^{-1} \div 10^{-3}$ применение сигнальных конструкций (СК) (3) позволяет обеспечить среднюю мощность ошибки восстановления, близкую к предельно достижимой; выигрыш по уменьшению мощности ошибки при использовании СК по сравнению с аналоговой передачей составляет $\Delta D > 10$ дБ; энергетический выигрыш СК по сравнению с ИКМ при использовании КАФМ- 2^{18} $\Delta h > 20$ дБ.

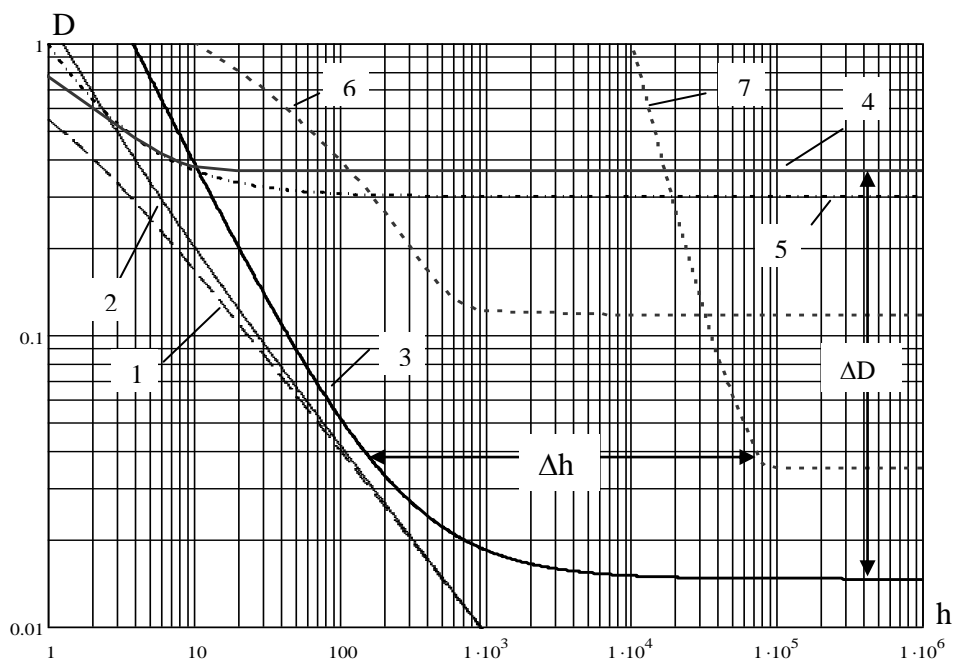


Рисунок 1 – Сравнительная оценка относительной мощности ошибки восстановления

Следовательно, применение полунепрерывных сигналов и СК является достаточно эффективным средством для повышения частотно-энергетической эффективности передачи информации аналоговых источников при жестких ограничениях физического ресурса каналов связи сетей АСУ.

Литература

1. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Под ред. А.Г. Зюко.– М.: Радио и связь, 1985.– 272 с.
2. Уайнер А.Д. Фундаментальные пределы в теории информации // ТИИЭР, т. 69, № 2, 1981. – С. 117–132.
3. Сорока Л.С. Основы теории минимально-избыточных сигналов. Математические методы и средства обработки: Монография.– Х.: МОУ, ОНИИ ВС, 2005.– 280 с.
4. Сорока Л.С. Теорема о локализованных отсчётах и её применение для получения сжатых представлений сигналов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи.– 2005.– №4.– С. 116–119.
5. Сорока Л.С. Применение клонирующих преобразований для получения сжатых форм сигналов // Системи обробки інформації.– Х.: ХУ ПС.–2005.–Вип. 8(48).–С. 190–194.

УДК 621.391

Сорока Л.С., Рассомахін С.Г.

ЗАСТОСУВАННЯ НАПІВБЕЗПЕРЕРВНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЧАСТОТНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО РЕСУРСУ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В АСК

Розглянутий метод побудови сигнальних конструкцій, які комбінують застосування дискретних і аналогових способів модуляції на основі розкладань на інтервалах в ортогональному базисі відрізків безперервних сигналів. Показані переваги методу в порівнянні з традиційними сигналами в умовах жорстких обмежень фізичного ресурсу каналів зв'язку.