

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.391

Гайчук Дмитрий Викторович, Гайчук Вероника Юрьевна

ДВУХЭТАПНАЯ ПРОЦЕДУРА СИНТЕЗА СИСТЕМ КВАЗИОРТОГОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КАНАЛОВ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В статье предлагается методика синтеза ансамблей дискретных квазиортогональных сигналов для смешанной системы уплотнения, позволяющей существенно повысить скорость информационного обмена в некогерентных каналах с межсимвольной интерференцией.

Ключевые слова: канал с межсимвольной интерференцией, системы уплотнения, квазиортогональные сигналы.

Gaychuk Dmitry Viktorovich, Gaychuk Veronica Yurievna

TWO LANDMARK PROCEDURE OF SYNTHESIS OF SYSTEMS OF QUASIORTHOGONAL SIGNALS FOR CHANNELS WITH VARIABLE PARAMETERS

In this article the technique of synthesis of ensembles of discrete quasiorthogonal signals for the mixed system of consolidation allowing significantly to increase speed of information exchange in incoherent channels with an intersymbolical interference is offered.

Key words: the channel with the intersymbol interference, multiplexing systems, quasiorthogonal signals.

Для повышения эффективности глобальной корпоративной системы связи, использующей радиоканалы с переменными параметрами, целесообразно использовать уплотнение по форме [1, 4], когда для организации индивидуальных каналов используются почти ортогональные или квазиортогональные сигналы, приближенно удовлетворяющие условию

$$\rho_{ij} = \frac{1}{T} \int_0^T x_i(t)x_j(t)dt = \begin{cases} 0, & \text{при } i \neq j, \\ P_c, & \text{при } i = j, \end{cases} \quad (1)$$

где P_c – средняя мощность сигнала; ρ_{ij} – элемент определителя Грамма [4] (коэффициент взаимной корреляции сигналов).

Такой ансамбль сигналов представляют прямоугольной матрицей размера m на n , где $m > n$

$$p = \frac{m}{n}, p > 1,$$

где n – размерность исходного ансамбля ортогональных сигналов; m – число различных сигналов в ансамбле индивидуальных квазиортогональных сигналов; p – определяет кратность уплотнения.

Например, для $n = 4$, $m = 5$ ансамбль дискретных сигналов может быть представлен матрицей вида

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & x_{34} & x_{35} \\ x_{41} & x_{42} & x_{43} & x_{44} & x_{45} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

а коэффициент $p = 1,25$.

Рассмотрим вопросы синтеза ансамблей дискретных квазиортогональных сигналов.

Пусть $e_1, e_2 \dots e_n$ произвольный базис $\mathbf{B}$ векторного пространства V^n . Попарные скалярные произведения

$$g_{ij} = (e_i, e_j)$$

векторов этого базиса называются его метрическими коэффициентами [2].

Таким образом, при $n = 1$ имеется только один метрический коэффициент g_{11} , равный квадрату длины единственного базисного вектора e_1 , при $n = 2$ имеется четыре метрических коэффициента $g_{11} = e_1^2$, $g_{12} = (e_1 e_2)$, $g_{21} = (e_2 e_1)$, $g_{22} = e_2^2$, которые можно представить в виде матрицы

$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix},$$

при $n = 3$ имеется девять метрических коэффициентов, составляющих матрицу

$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{pmatrix}.$$

Обобщая на случай $n = 4$, получим шестнадцать метрических коэффициентов, составляющих матрицу

$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Базис, матрица метрических коэффициентов которого является единичной, называется ортонормированным. Базис $e_1, e_2 \dots e_n$ тогда и только тогда ортонормирован, когда каждый его вектор имеет длину, равную единице, и любые два (различных) его вектора ортогональны. Векторы, длина которых равна единице, называются единичными векторами, или ортами. Таким образом, каждый ортонормированный базис состоит из n попарно ортогональных ортов. Ортонормированный базис, состоящий из множества векторов вида

$$e_1 = (1, 0, 0 \dots 0), e_2 = (0, 1, 0 \dots 0), e_n = (0, 0, 0 \dots 1),$$

называется каноническим базисом пространства V^n [2]. Очевидно, что матрица канонического базиса и матрица метрических коэффициентов канонического базиса совпадает и является единичной. Например, для $n = 4$ она имеет вид единичной матрицы четвертого порядка

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Рассмотрим возможность применения данной особенности к синтезу ансамбля дискретных квазиортогональных сигналов размерностью m на n , при $m > n$.

Очевидно, что элементы g_{ij} матрицы метрических коэффициентов базиса (при рассмотрении векторов базиса в качестве сигналов-переносчиков, являются ничем иным, как элементами определителя Грама ρ_{ij} или коэффициентом взаимной корреляции сигналов, т. е. матрицу (3) можно представить в виде

$$\begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \rho_{13} & \rho_{14} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \rho_{23} & \rho_{24} \\ \rho_{31} & \rho_{32} & \rho_{33} & \rho_{34} \\ \rho_{41} & \rho_{42} & \rho_{43} & \rho_{44} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где ρ_{ij} определяется по соотношению (1).

Если матрица метрических коэффициентов базиса имеет вид (4), то сигналы-переносчики, представляемые векторами базиса, являются попарно ортогональными с нормированной энергией.

Допишем к матрице (4) справа вектор-столбец ρ_5 , при этом получим

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \rho_{15} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \rho_{25} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \rho_{35} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \rho_{45} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Учитывая двоякую особенность матрицы (4), сформулируем требования к вектору $\rho_5 = (\rho_{15}, \rho_{25}, \rho_{35}, \rho_{45})$. Если рассматривать матрицу (6) как матрицу метрических коэффициентов, то элементы вектора ρ_5 должны быть одинаковыми и минимальными по модулю, а если рассматривать матрицу (6) как матрицу базиса, то вектор ρ_5 должен иметь единичную длину, т. е. быть нормированным. Таким требованиям отвечает вектор с элементами $\rho_{ij} = \pm \frac{1}{\sqrt{n}}$. Например, при $n = 4$ вектор ρ_5 может иметь вид $\rho_5 = (0.5, 0.5, 0.5, 0.5)$, а матрицу (6) можно записать

$$x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0.5 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Таким образом, в столбцах матрицы (7) расположены пять нормированных сигналов с единичной энергией. Первые четыре сигнала являются взаимно ортогональными, пятый сигнал имеет одинаковый коэффициент взаимной корреляции с остальными сигналами ансамбля, равный 0.5, или, в общем виде, первые n сигналов являются взаимно ортогональными, а $n + 1$ сигнал имеет одинаковый коэффициент корреляции с остальными сигналами ансамбля, равный $\rho = \frac{1}{\sqrt{n}}$.

Поскольку сигналы переносчики имеют отклонение от ортогональности, они будут проигрывать в отношении сигнал / шум ортогональным системам. Соотношение для оценки энергетического проигрыша будет иметь вид [4]

$$h_c^2(n) = \frac{1}{p_{\text{дон}} \cdot \left(1 - \left|\frac{1}{\sqrt{n}}\right|^2\right)} \cdot \frac{n+1}{n}, \quad (8)$$

и величина требуемого отношения сигнал / шум определяется размерностью ортонормированного базиса n . Выбор значения n , максимизирующего скорость передачи информации и обеспечивающего энергетический проигрыш не более заданного, удобно провести при помощи графиков, построенных по соотношениям

$$\Delta h^2 = h_{AT}^2 - h_c^2, \text{ дБ, при } p_{\text{ош}} = p_{\text{доп}},$$

$$\Delta V = \left(\frac{V_{\text{общ}}}{V_{AT}} - 1 \right) \cdot 100 \%,$$

где Δh^2 – энергетический проигрыш квазиортогональной системы по сравнению с ортогональной системой; h_{AT}^2 – отношение сигнал / шум ортогональной системы; h_c^2 – отношение сигнал / шум квазиортогональной системы; ΔV – выигрыш в скорости квазиортогональной системы; $p_{\text{доп}} = 3 \cdot 10^{-3}$, $V_{\text{общ}} = pV_{AT}$ – скорость передачи, обеспечиваемая квазиортогональной системой; V_{AT} – скорость передачи, обеспечиваемая ортогональной системой.

Графики представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Анализируя рис. 1 и 2 выводим, что энергетический проигрыш, не превышающий 2,5 дБ, обеспечивают системы с размерностью $n > 3$. При этом максимальное значение скорости передачи обеспечивает система с $n = 4$. Таким образом, в качестве ансамбля дискретных квазиортогональных сигналов целесообразно использовать ансамбль сигналов вида (7) с параметрами $m = 5$, $n = 4$. При этом проигрыш в отношении сигнал / шум составляет 2,24 дБ.

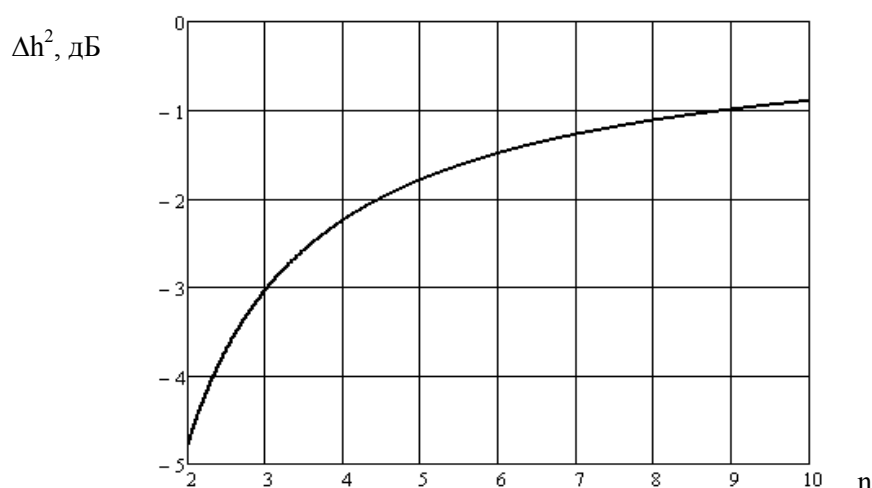


Рис. 1. График зависимости энергетического проигрыша от размерности ансамбля сигналов

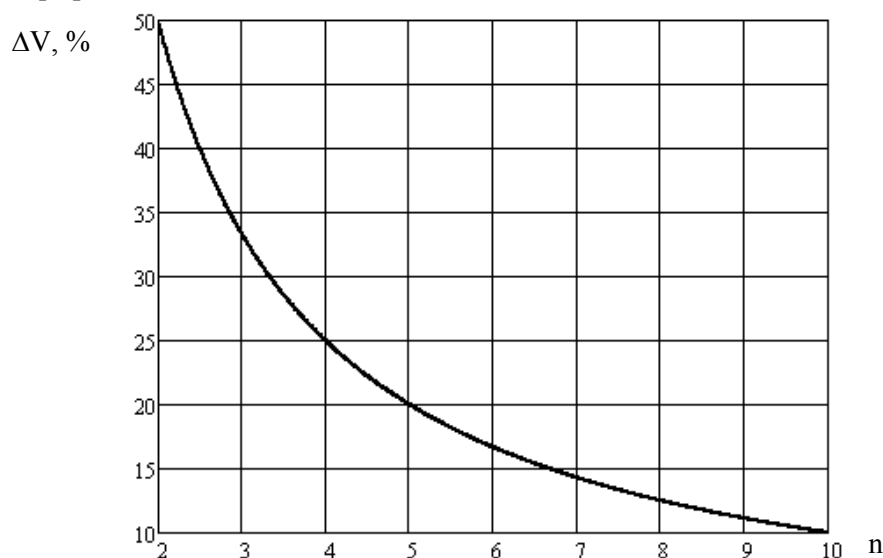


Рис. 2. График зависимости выигрыша по скорости передачи

Однако полученный ансамбль сигналов обладает существенным недостатком: первые четыре сигнала имеют небольшую длительность, что затрудняет их применение в каналах с дискретной многолучевостью.

Для устранения этого недостатка необходим второй этап синтеза.

Рассмотрим преобразование вида

$$x' = Ax,$$

где A – ортогональный оператор, удовлетворяющий условию

$$A^T A = E, \quad (9)$$

где E – единичная матрица.

Ортогональные операторы сохраняют скалярное произведение векторов, а также сложение векторов и произведение векторов на скаляр. Таким образом, при ортогональных преобразованиях норма векторов, расстояния, углы, ортогональность и ортонормированность инвариантны [3].

Пусть матрица, задающая ортогональный оператор A , имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & -0.5 & 0.5 \\ 0.5 & -0.5 & 0.5 & 0.5 \\ -0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & -0.5 \end{pmatrix},$$

тогда новый ансамбль сигналов x' будет иметь вид

$$x' = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & -0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & -0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ -0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & -0.5 & 0.5 \end{pmatrix}.$$

Таким образом, применение рассмотренной двухэтапной процедуры синтеза позволит получить систему сигналов для глобальной корпоративной системы связи.

Литература

1. Варакин Л. Е. Теория систем сигналов. М.: Советское радио, 1978. С. 303.
2. Постников М. М. Аналитическая геометрия. М.: Наука, 1973. С. 751.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1980. С. 446.
4. Кловский Д. Д. Теория передачи сигналов. М.: Связь, 1973. С. 342.

УДК 621.391.2

Шевченко Вячеслав Анатольевич

МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ИОНОСФЕРЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

В статье исследовано воздействие анизотропных неоднородностей в ионосфере на канал спутниковой связи; определены соотношения между показателем, характеризующим глубину замираний в канале связи, и статистическими характеристиками анизотропных неоднородностей в ионосфере.

Ключевые слова: помехоустойчивость, пакет ошибок, замирания, канал связи, кодирование, сцинтилляция, неоднородности, ионосфера.

Shevchenko Vyacheslav Anatolievich

METHOD OF AN ESTIMATION OF INFLUENCE ANISOTROPIC IRREGULARITIES IN AN IONOSPHERE ON CHARACTERISTICS OF THE CHANNEL OF A SATELLITE COMMUNICATION

In the article action of the anisotropic irregularities in an ionosphere on a satellite channel is investigated. Relations between the exponent, characterising depth of fadings in a communication channel, with statistical performances of the anisotropic irregularities in an ionosphere are spotted.

Key words: anti-jamming, package errors, fading, channel, coding, scintillation, irregularities, ionosphere.

Известно [1–5], что наличие флуктуаций электронной концентрации в ионосфере в виде неоднородностей различного масштаба вызывает эффект ионосферной сцинтилляции, выражающийся в случайных изменениях амплитуды принимаемого сигнала.

Для данных условий канал связи с кодированием можно описать моделью с блочными райсовскими замираниями, когда амплитуда сигналов предполагается неизменной на интервале передачи b символов кода, где $b > 1$ [6]. Плотность распределения амплитуды сигнала в транссионсферном канале связи можно аппроксимировать распределением Райса [1, 2]:

$$p_{a_j}(a_j) = 2a_j(K+1)\exp(-K - a_j^2(K+1))I_0\left(2a_j\sqrt{K(K+1)}\right), \quad (1)$$

где K – отношение регулярной и флуктуационной составляющих мощности принимаемого сигнала.

Известен метод, позволяющий установить связь величины b и K со статистическими характеристиками неоднородностей в ионосфере для изотропного случая [6].

Вместе с тем, плазменные неоднородности, как правило, удлинены вдоль направления силовых линий магнитного поля Земли (вдоль вектора индукции магнитного поля) [3–5].