

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕКОДИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ КОДОВ В СЛУЧАЙНЫХ КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ

Фам Х.А. , магистрант

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

Саломатин С.Б. – канд. тех. наук, доцент

Аннотация: В статье рассматриваются пространственно-временные коды на основе алгебраической структуры, пространственное мультиплексирование, золотой код, серебряный код, скорость и эффективности пространственно-временных кодов,

Ключевые слова: система *MIMO*, пространственное мультиплексирование (*BLAST*), *Golden code*, *Silver code*, стандарте *IEEE 802.16e (Wi-Max)*.

Методы пространственно-временного кодирования были успешными и широко применялись в последние годы. Некоторые пространственно-временные коды были интегрированы в несколько стандартов, таких как 3GPP (HSDPA), Wi-fi (стандарт IEEE 802.11n), Wi-max (стандарт IEEE 802.16e) и 5G.

Рассматриваются неортогональные пространственно-временные коды, на которые не накладывается ограничений, связанных с низкой сложностью алгоритма декодирования. Эти коды позволяют обеспечить наиболее высокую спектральную эффективность системы связи [1-4].

Самый простой вариант неортогонального пространственно-временного кодирования является пространственным мультиплексированием, также известное как архитектура BLAST [1, 5, 6]. В стандарте IEEE 802.16e (Wi-Max) известен неортогональный пространственно-временный код Golden (G-код) для системы MIMO с двумя передающими антеннами, также был предложен новый пространственно-временный код под названием Silver code (S-код) для канала 2×2 MIMO. Этот код имеет низкую сложность декодирования по сравнению с G-кодом.

Рассмотрим систему MIMO с N передающими антеннами и M приёмными антеннами. Модель принимаемого сигнала на входе приёмника может быть представлена в следующем выражении:

$$y = Hs + \eta, \quad (1)$$

где H – матрица канала с размерностью $M \times N$,
 s – передаваемый сигнал с размерностью $N \times 1$,
 η – вектор шума с размерностью $M \times 1$,
 y – принимаемый сигнал с размерностью $M \times 1$.

Пространственно-временная матрица, соответствующая системе BLAST, в которой используется N передающих антенн, имеет следующий вид:

$$B_N(s_1, s_2, \dots, s_N) = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_N]^T. \quad (2)$$

Скорость пространственно-временного кода, используемого в системе BLAST, численно равна количеству передающих антенн, т. е. $R = N$, что обеспечивает её исключительно высокую спектральную эффективность. Рассматриваются системы G-код и S-код, которые имеют более высокой скорости кода чем известный код Аламоути (со скоростью кода равной единице).

G-код (G_2) с четырьмя информационными символами $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$ определен в [1, 2] таким образом:

$$G_2(s_1, s_2, s_3, s_4) = \frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \begin{bmatrix} s_1 + jrs_4 & rs_2 + s_3 \\ s_2 - rs_3 & jrs_1 + s_4 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $r = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}$ – числовой коэффициент; $j = \sqrt{-1}$.

Структурная схема беспроводной связи, реализующей G-код представлена на рисунке 1:

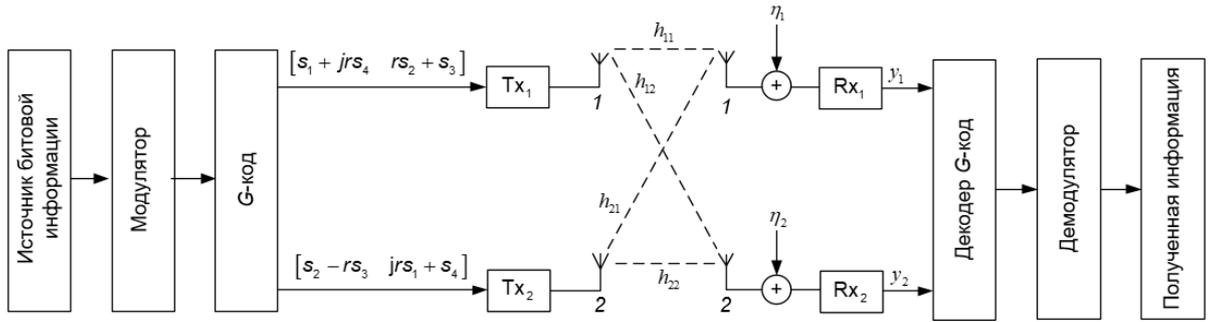


Рисунок 1 – Структурная схема беспроводной связи, реализующей G-код.

Так же S-код (S_2) с четырьмя информационными символами $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$ определен в [1-4] таким образом:

$$S_2(s_1, s_2, s_3, s_4) = \{S = S_A + TS_B\}, \quad (4)$$

где $S_A = S_A(s_1, s_2) = \begin{pmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{pmatrix}$, $S_B = S_B(z_1, z_2) = \begin{pmatrix} z_1 & -z_2^* \\ z_2 & z_1^* \end{pmatrix}$, два информационных символа $\{z_1, z_2\}$ определяются таким образом $\begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}$ с унитарной матрицей $U = \frac{1}{\sqrt{7}} \begin{pmatrix} 1+j & -1+2j \\ 1+2j & 1-j \end{pmatrix}$, $j = \sqrt{-1}$, скручивающая матрица $T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$.

Матрицы (3) и (4) позволяют передать $k = 4$ комплексных информационных символа на $p = 2$ тактовых интервалах. Таким образом, скорости соответствующих пространственно-временных кодов равны 2 и совпадают со скоростью в системе с пространственным мультиплексированием с двумя ($N = 2$) передающими антеннами.

На приемнике используется алгоритм декодирования минимума среднеквадратической ошибки (МСКО), находим оценку $\hat{s}^{\text{МСКО}}$ линейным преобразованием принятого вектора y :

$$\hat{s}^{\text{МСКО}} = W_{\text{МСКО}} y = (H^H H + 2\sigma_\eta^2 I_N)^{-1} H^H y. \quad (5)$$

Структурная схема декодирования по алгоритму МСКО представлена на рисунке 2:

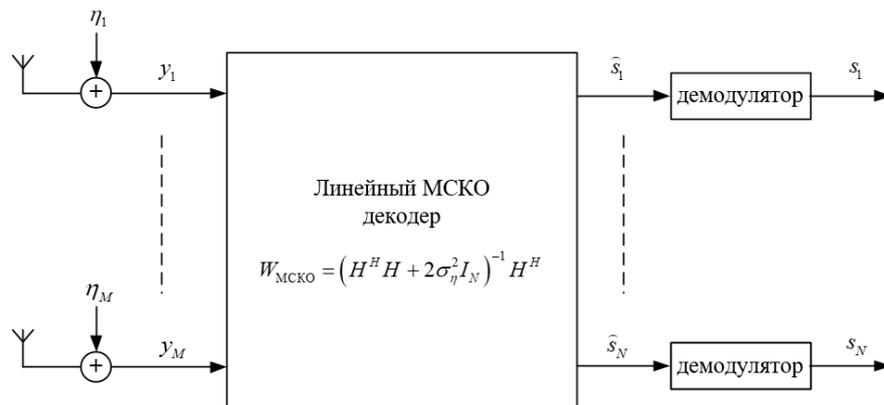


Рисунок 2 – Структурная схема декодирования по алгоритму МСКО.

Результат моделирования. График зависимости вероятности ошибки на бит от отношения сигнал/шум для системы BLAST, G-код и S-код представлен на рисунке 3.

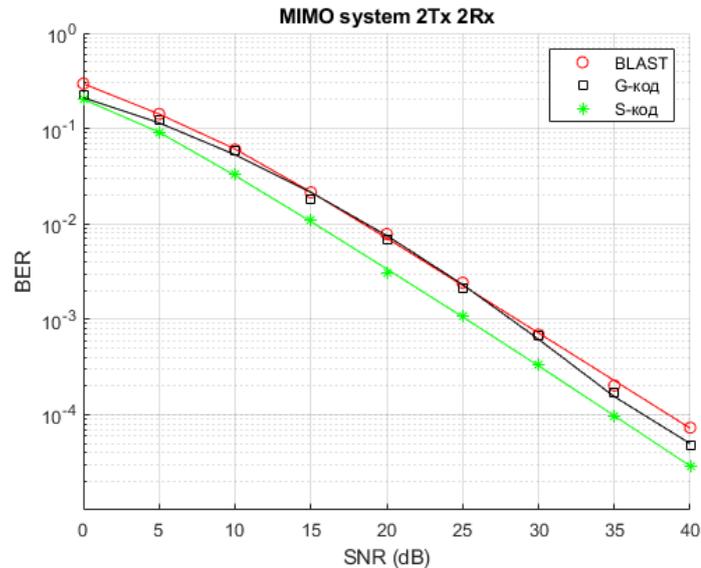


Рисунок 3 – Зависимости вероятности ошибки на бит от отношения сигнал/шум для системы *BLAST*, *G*-код и *S*-код при декодировании по алгоритму МСКО.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- При вероятности ошибки равной 10^{-4} энергетический выигрыш *S*-код с *G*-код составляет 1,8 дБ, и энергетический выигрыш *S*-код со схемой *BLAST* составляет 3,8 дБ.

Заключение. Представили алгебраические структуры *G*-код и *S*-код, совершенных пространственно-временных кодов с размерностью 2×2 . *G*-код и *S*-код дают значительный (2 дБ и 3,8 дБ по рисунку) энергетический выигрыш по сравнению с схемой пространственного мультиплексирования при декодировании по алгоритму МСКО. Заметим что, пространственно-временные *G*-код и *S*-код известны только для случая двух передающих антенн.

Список использованных источников:

1. Lee S.J. et al. A Space-Time Code with full Diversity and Rate 2 for 2 Transmit Antenna Transmission. *IEEE C802.16e-04/434r2*. www.ieee802.org/16.
2. Andrews J.G., Ghosh A., Muhamed R. *Fundamentals of Wi-Max. Understanding Broadband Wireless Networking*. – USA, Boston: Prentice Hall, 2007. – 449 p.
3. O. Tirkkonen and A. Hottinen, "Square-matrix embeddable space-time block codes for complex signal constellations," in *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 48, no. 2, pp. 384 – 395, February 2002.
4. O. Tirkkonen and R. Kashaev, "Combined information and performance optimization of linear MIMO modulations," in *Proc IEEE Int. Symp. Inform. Theory (ISIT 2002)*, Lausanne, Switzerland, p. 76, June 2002.
5. *MIMO System Technology for Wireless Communications / Edited by George Tsoulos*. – USA, FL, Boca Raton: CRC Press, 2006. – 378 p.
6. Duman T.M., Ghayeb A. *Coding for MIMO Communication Systems*. – Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2007. – 338 p.