

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Машанов Александр Павлович

магистрант

ФГОБУ ВПО «Сибирский государственный университет

телекоммуникаций и информатики»

г. Новосибирск, Новосибирская область

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СОТОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Аннотация: в 1998 году Аламоути (Alamouti) предложил метод разнесения антенн на передающей стороне с использованием пространственно-временного кодирования. Схема Аламоути с разнесенной передачей позволяет уменьшить коэффициент ошибок, увеличить скорость передачи канала беспроводных систем связи. В работе на основе схемы Аламоути исследуется вероятность ошибки для систем с двумя, четырьмя антеннами на передающей стороне и одной на приемной стороне.

Ключевые слова: код Аламоути MIMO, MISO, SIMO, пространственно-временное кодирование.

1. Принцип кодирования Аламоути

При организации системы сотовой связи, информация передается от станции к станции.

При построении системы сотовой связи возникают задачи оптимального планирования, для обеспечения помехоустойчивого приема и передачи сигнала. В настоящее время, для достижения повышения помехоустойчивости системы сотовой связи используют технологию MIMO.

В 1998 году Аламоути предложил новый подход к разделению MIMO-сигналов (MIMO – Multiple Input Multiple Output) на приемной стороне. Новая

схема, названная по имени автора, относится к классу ортогонального пространственно-временного блочного кодирования (OSTBC – orthogonal space-time block codes).

Принцип кодирования по Аламоути состоит в том, что подлежащая передаче последовательность символов разбивается на пары (например, смежные чётный и нечётный символы) x_i и x_{i+1} . Для передачи такого блока требуются два излучателя и два интервала передачи. В первом интервале передающая антенна 1 будет излучать сигнал символа x_i , тогда как антенна 2 – сигнал x_{i+1} . В следующем временном интервале антенна 1 передает сигнал $-x_{i+1}^*$, а антенна 2 – сигнал $-x_i^*$ (где «*» – комплексно сопряженная величина). Физическая сущность таких манипуляций с излучаемыми сигналами становится ясной, если воспользоваться их математическим представлением. Представим комплексную величину x через коэффициенты реальной и мнимой частей (a и b):

$$\begin{cases} x_i = a_i + jb_i \\ x_{i+1} = a_{i+1} + jb_{i+1} \\ x_i^* = a_i - jb_i \\ -x_{i+1}^* = -a_{i+1} + jb_{i+1} \end{cases} \quad (1)$$

Не сложно заметить, что, если в первом временном интервале сигналы синфазны, во втором они обязательно будут в противофазе, и наоборот. Если же в первом интервале сигналы ортогональны (разность фаз 90°), то они таковыми останутся и во втором, с той лишь разницей, что опережение фазы излучения поочередно будет возникать то на первой, то на второй антеннах.

Для приема, кодированного по Аламоути двухсимвольного сигнала, достаточно одной приемной антенны и пары временных отсчетов сигнальной смеси. Таким образом, фактически можно обойтись системой MISO (MISO – Multiple Input Single Output). При приеме сигнальной смеси в двух последовательных временных интервалах получим совокупность напряжений y_i и y_{i+1}

$$\begin{cases} y_i = h_1 x_i + h_2 x_{i+1} + n_i \\ y_{i+1} = -h_1 x_{i+1}^* + h_2 x_i^* + n_{i+1} \end{cases} \quad (2)$$

где n_i и n_{i+1} – отсчеты напряжений внутреннего шума приемника, а h_1 и h_2 – передаточные характеристики канала для сигналов, излученных первой и второй

антеннами, соответственно. Два временных отсчета необходимы для того, чтобы число уравнений в системе равнялось числу неизвестных.

Для оценки передаточных характеристик канала передачи h_1 и h_2 при вхождении в связь транслируются заранее известные пилотные сигналы z_i и z_{i+1} . В приемнике решается приведенная выше система уравнений, где в качестве неизвестных выступают передаточные характеристики канала h_1 и h_2

$$\begin{cases} h_1 = \frac{y_i z_i^* - y_{i+1} z_{i+1}}{z_i^2 + z_{i+1}^2} \\ h_2 = \frac{y_{i+1} z_i - y_i z_{i+1}^*}{z_i^2 + z_{i+1}^2} \end{cases} \quad (3)$$

После установления связи по известным значениям передаточных характеристик декодируются пары переданных символов

$$\begin{cases} x_i = h_i^* y_i + h_2 y_{i+1}^* \\ x_{i+1} = h_2^* y_i + h_i y_{i+1}^* \end{cases} \quad (4)$$

Данные соотношения являются оптимальными оценками максимального правдоподобия. Следует, однако, иметь в виду, что характер переотражений на трассе распространения сильно зависит от направления излучения, поэтому для систем ММО известный в антенной теории принцип взаимности передающих и приемных антенн может не выполняться. Это вынуждает независимо рассчитывать характеристики каналов передачи в прямом и обратном направлениях связи. Однако на передающей стороне знать свойства трассы распространения сигналов не требуется.

2. Расчет вероятности ошибки для частных случаев

Рассмотрим наиболее простые результаты аналитических расчетов в общем (аналитическом виде) для случаев с 2-я и 4-я передающими антеннами.

2-х антенная система

Пусть коэффициенты корреляции неизвестны, и обозначены соответственно: r_{TX} – корреляция между соседними передающими антеннами, r_{STBC} – корреляция между 2-мя векторами сигналов, разнесенных (кодированных) с помощью произвольного STBC-кода.

Матрица отношений энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума равна:

$$\mathbf{K}_{\text{MISO}}\mathbf{Q}_{\text{MISO}} = \frac{h^2}{2} \begin{bmatrix} 1 & r_{TX} \\ r_{TX} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Тогда собственные числа матрицы $\mathbf{K}_{\text{MISO}}\mathbf{Q}_{\text{MISO}}$ для 2-х антенн равны:

$$\lambda_1 = \frac{h^2}{2}(1 + r_{TX}) \quad \lambda_2 = \frac{h^2}{2}(1 - r_{TX}) \quad (6)$$

Поскольку любой STBC-код размера 2×2 является ортогональным, то ($r_{STBC} = 0$) для двух любых сигналов.

Вероятность ошибки, вычисленная для данного случая равна:

$$p_2 = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1 + r_{TX}}{2r_{TX}} \sqrt{\frac{(1 + r_{TX})h^2}{(1 + r_{TX})h^2 + 2}} + \frac{1 - r_{TX}}{2r_{TX}} \sqrt{\frac{(1 - r_{TX})h^2}{(1 - r_{TX})h^2 + 2}} \right] \quad (7)$$

Полученный результат для системы MISO полностью совпадает с классической теорией помехоустойчивости разнесенного приема, где используется система SIMO.

Данный результат получен исходя из предположения, что мощность сигнала, излучаемого с каждой антенны в системе MISO равна мощности, излучаемой одной антенной при разнесенном приеме. Но в реальных системах MISO полная мощность, как правило, делится поровну между всеми передающими антеннами. При этом помехоустойчивость системы ухудшается, поскольку отношение полной энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума h_i^2 для каждого канала равен:

$$h_i^2 = \frac{h_s^2}{N} \quad (8)$$

где h_s – отношение полной энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума.

В этом случае, при $N_t = 2$ формула (7) примет вид:

$$P_2 = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1 + r_{TX}}{2r_{TX}} \sqrt{\frac{(1 + r_{TX})h_s^2}{(1 + r_{TX})h_s^2 + 4}} + \frac{1 - r_{TX}}{2r_{TX}} \sqrt{\frac{(1 - r_{TX})h_s^2}{(1 - r_{TX})h_s^2 + 4}} \right] \quad (9)$$

График данной функции (рисунок 1) для системы MISO с двумя передающими антеннами сдвинут вправо на 3 дБ относительно графика функции помехоустойчивости для сдвоенного приема (7) (система SIMO). Т. е. наблюдается проигрыш по помехоустойчивости системы MISO относительно системы SIMO, вследствие равномерного распределения мощности между передающими антеннами в системе MISO.

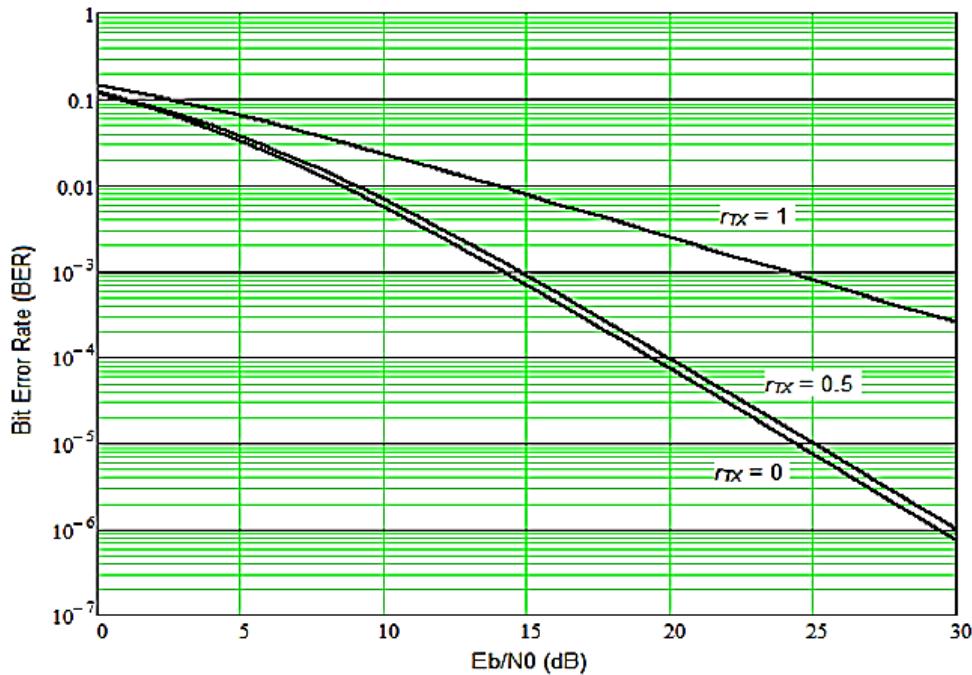


Рис. 1. Зависимость вероятности ошибки от SNR для 2-х антенной системы MISO с кодом Аламути для коэффициентов пространственной корреляции $r_{TX} = 0, 0.5, 1$, модуляция BPSK

4-х антенная система

Матрица отношений энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума для данного случая определяется выражением:

$$\mathbf{K}_{MISO} \mathbf{Q}_{MISO} = \frac{h_s^2}{8} \begin{bmatrix} 1 & r_{TX} & 0 & r_{STBC} \\ r_{TX} & 1 & \sqrt{\frac{r_{TX}^2 + r_{STBC}^2 - 2r_{TX}^2 r_{STBC}^2}{1 - r_{TX}^2 r_{STBC}^2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{\frac{r_{TX}^2 + r_{STBC}^2 - 2r_{TX}^2 r_{STBC}^2}{1 - r_{TX}^2 r_{STBC}^2}} & 1 & r_{TX} \\ r_{STBC} & 0 & r_{TX} & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Собственные числа матрицы $\mathbf{K}_{\text{MISO}}\mathbf{Q}_{\text{MISO}}$ для 4-х передающих антенн и квазиортогонального STBC-кода равны:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{h_S^2}{8} \left[1 - \frac{r_{\text{STBC}}}{2} - \frac{r_{\text{TX}}}{2} - \frac{\sqrt{R_x^2 - 2R_x r_{\text{STBC}} + 4r_{\text{TX}}^2 + r_{\text{STBC}}^2}}{2} \right] \\ \lambda_2 &= \frac{h_S^2}{8} \left[1 - \frac{r_{\text{STBC}}}{2} - \frac{r_{\text{TX}}}{2} + \frac{\sqrt{R_x^2 - 2R_x r_{\text{STBC}} + 4r_{\text{TX}}^2 + r_{\text{STBC}}^2}}{2} \right] \\ \lambda_3 &= \frac{h_S^2}{8} \left[1 + \frac{r_{\text{STBC}}}{2} + \frac{r_{\text{TX}}}{2} - \frac{\sqrt{R_x^2 - 2R_x r_{\text{STBC}} + 4r_{\text{TX}}^2 + r_{\text{STBC}}^2}}{2} \right] \\ \lambda_4 &= \frac{h_S^2}{8} \left[1 + \frac{r_{\text{STBC}}}{2} + \frac{r_{\text{TX}}}{2} + \frac{\sqrt{R_x^2 - 2R_x r_{\text{STBC}} + 4r_{\text{TX}}^2 + r_{\text{STBC}}^2}}{2} \right] \end{aligned} \quad (11)$$

На рисунке 2 показана помехоустойчивость данной системы при разных коэффициентах пространственной корреляции, при модуляции BPSK.

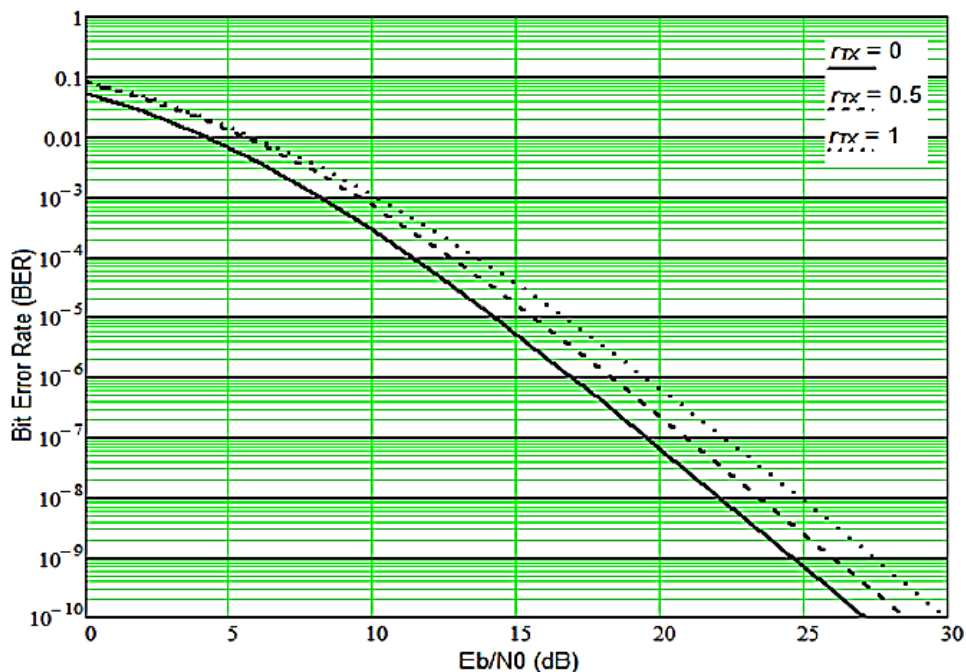


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки от SNR для 4-х антенной системы MISO с квазиортогональным кодом для коэффициентов пространственной корреляции $r_{\text{TX}} = 0, 0.5, 1$.

Список литературы

1. Носов В.И. Повышение помехоустойчивости канала с использованием 2М-пространственно-временного кодирования / В.И. Носов, Р.С. Тимощук // Вестник СибГУТИ. – 2010. – №1.
2. Румянцев К.Е. Радиоприемные устройства / К.Е. Румянцев. –М.: Академия, 2006.
3. Носов В.И. Моделирование систем связи в среде MatLab: Статья / В.И. Носов, Р.С. Тимощук, Н.В.Дроздов. –Новосибирск: СибГУТИ, 2007.
4. Гаранин М.В. Системы и сети передачи информации / М.В. Гаранин, В.И. Журавлев, С.В. Кунегин. –М.: Радио и связь, 2001.
5. Жарков С.С. Использование трехмерной лучевой трассировки для проектирования ММО-систем / С.С. Жарков, В.В. Лиценцев // Мобильная связь. – 2007. – №12.
6. Системы ММО: принципы построения и обработка сигналов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.netby.ru/information/info-33.html>