

НОВЫЕ СВОЙСТВА КОДА ГОЛДЕН В СВЕТЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ

© 2016 г. В.Б. КРЕЙНДЕЛИН, А.А. РЕЗНЕВ*

Московский технический университет связи и информатики,
*Институт сотовой связи, г. Москва
e-mail: vkrend@gmail.com, andrey.reznev@gmail.com

В докладе освещаются новые свойства известной матрицы пространственно-временного кодирования типа Голден, которая дает возможность получения результатов помехоустойчивости значительно превышающие результаты распространенных пространственно-временных матриц типа V Blast. ПВК матрицы типа Голден выявили ряд устойчивых требований, которые могут наследоваться как свойства оптимальности, подтверждаемые существующими критериями синтеза квазиоптимальных кодов. Выявленное свойство матрицы, требует создания нового критерия оптимальности, который будет применен для синтеза матрицы ПВК.

Развитие высокоскоростного доступа в сеть Интернет находится на пороге нового технологического скачка, операторы подвижной связи тестируют технологические прототипы устройств пятого поколения достигая скоростей 4,5 - 5 Гбит/сек. Опытные образцы используют системы с несколькими антеннами на приемной и передающей сторонах (MIMO - Multiple-Input-Multiple-Output), количество которых доходит до 8. [6],[7] Для достижения высоких показателей эффективности таких систем требуется организация соответствующего согласования между передачей и обработкой сигналов на приеме. Это достигается за счет использования пространственно-временного кодирования, которое позволяет обеспечить достижение разумного компромисса между помехоустойчивостью и спектральной эффективностью. [4], [5]

Используемые в настоящее время пространственно-временные коды представляют собой самый распространенный вариант кодирования типа BLAST, при котором информационные символы преобразуются в последовательность блоков, количество которых кратно числу передающих антенн, и излучаются одновременно каждой своей передающей антенной. [2], [5] Важным направлением изысканий, является создание оптимального кода, который превосходит существующие характеристики BLAST по помехоустойчивости и спектральной эффективности, позволяет масштабировать себя на большое количество антенн и при этом удовлетворял бы разумным вычислительными требованиями.

Одним из примеров такого кодирования, является разработанная матрица пространственно-временного кода типа Голден [1], [2], [5], которая имеет вид:

$$\theta(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) = \frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \cdot \begin{bmatrix} \theta_1 + jr\theta_4 & r\theta_2 + \theta_3 \\ \theta_2 - r\theta_3 & jr\theta_1 + \theta_4 \end{bmatrix}, \text{ где } r = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}$$

Сравнительное моделирование систем с использованием кодов типа BLAST и Голден показывает, что использование кода типа Голден для системы с двумя приемными и двумя передающими антеннами дает значительный энергетический выигрыш, составляющий более 1,5дБ по сравнению с системой BLAST [5].

Для подтверждения условий оптимальности кода можно воспользоваться методами, связанными с теорией матриц, а именно ранговым и детерминантными критериями. Детерминантный критерий позволяет за счет изменения параметров внутри

матрицы добиться плавного поиска минимума [4]. Критерий требует минимизации детерминанта матрицы следующего вида:

$$A(\theta) = (\theta(i) - \theta(j))^H \cdot (\theta(i) - \theta(j)), \text{ где } i \neq j.$$

Результат математического моделирования, проведенного для кода типа Голден, демонстрирующего зависимость детерминанта матрицы A от значения показателя r , представлен на рис. 1, в соответствии с полученными результатами минимум детерминанта достигается при значениях r , связанных с подкоренным аргументом, равным пяти.

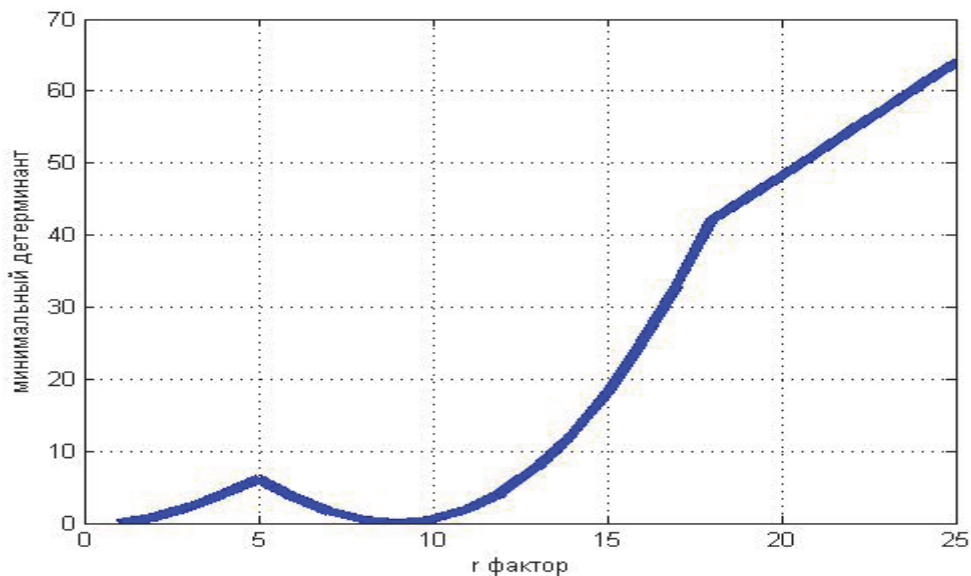


Рис. 1. Зависимость минимального детерминанта от значения параметра r .

Важной теоретической предпосылкой при использовании детерминантного критерия является то, что прикладной результат критерия не зависит от допущений, сделанных при его выводе, т.е. использование только определенного неоптимального типа демодулятора [4]. Параметры, выбранные для синтеза кода Голден, также определены исходя из требований ортогональности и полной скорости, а также предположения о пропорциях и нормировании мощности с помощью классического золотого сечения $r = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$ [1], [3].

Так же допущение было сделано исследователями синтеза квазиоптимальных кодов на основании полученного кода Голден, о том, что если Голден дает лучшие результаты чем BLAST, то определенные свойства присущие Голден, должны быть свойствами оптимального кода [1], [3]. Проанализировав полученные результаты работы детерминантного критерия, можно исследовать помехоустойчивость кода типа Голден для разных значений r , если подкоренное выражение 5 является оптимальным то любые другие значения ухудшат результаты моделирования.

Предварительно авторы доклада провели моделирование при значениях подкоренного аргумента 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9. Сигнал модулирован квадратурной фазовой манипуляцией QPSK, для демодуляции использовался критерий минимума среднеквадратической ошибки МСКО. Результаты представленные на рис.2 показали, что при значениях 2 и 3, выигрыш составляет 0,2 – 0,3 дБ по сравнению с классическим значением для золотого сечения.

Наличие таких свойств как ортогональность и полная (максимальная) кодовая скорость являются важными признаками оптимальности кода [3], [4], [5]. Матрица типа Голден обладает максимальной скоростью, но является неортогональной, также видно, что применяемый критерий не отвечает истинным значениям полученным при мо-

делировании. Выявленные проблемы, требуют пересмотра сложившихся утверждений о синтезе квазиоптимальных кодов на основании свойств кода типа Голден и создания нового критерия оптимальности.

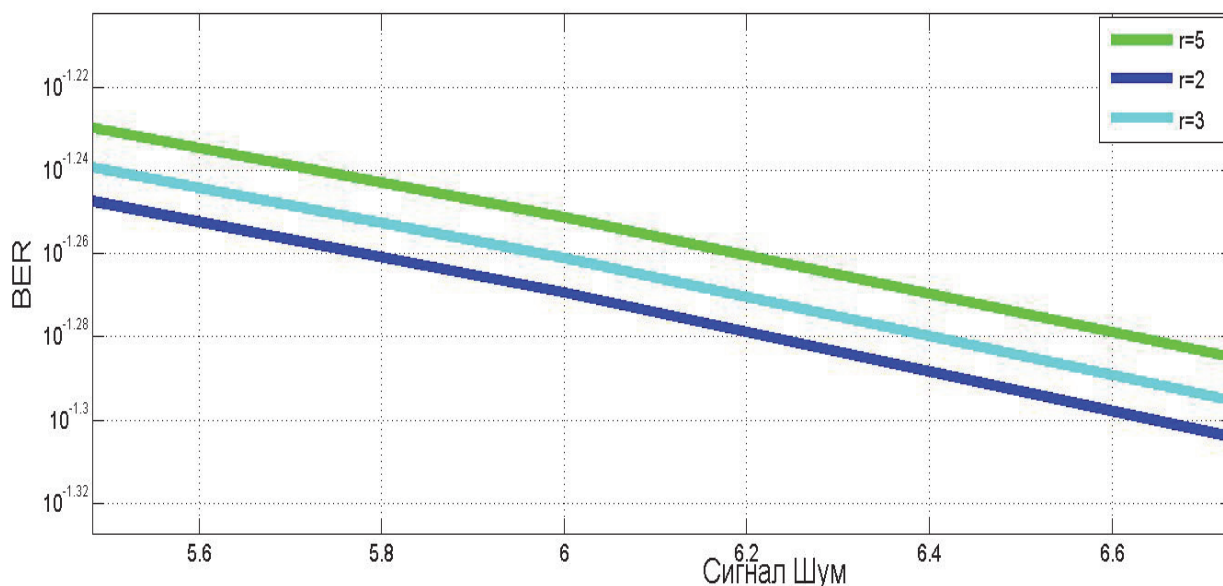


Рис. 2. Зависимость помехоустойчивости кода Голден при разных значениях r.

Создаваемый критерий оптимальности должен включать в себя свойства, которые объединяют пространственно-временную матрицу кода, модель канала и свойства используемого демодулятора. Для поиска подобного критерия можно применить методологию изложенную в работе [4] связанную с поиском корреляционной матрицы для переданных и принятых информационных символов. Корреляционная матрица в случае алгоритма МСКО имеет вид $R = EVCM \cdot EVCM' + 2\sigma_{\eta}^2 1$, тогда на диагоналях полученной матрицы будут расположены дисперсии ошибок оценивания информационных символов. Минимизация этих дисперсий может стать методом для поиска энергетически эффективного кода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Belfiore J.-C., Rekaya G., and Viterbo E. "The Golden code: a 2×2 full-rate space-time code with non-vanishing determinants," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 51, pp. 1432–1436, Apr. 2005.
2. Erik G. Larsson and Petre Stoica. "Space-Time Block Coding for Wireless Communications.", Cambridge, UK, Cambridge University Press, 3-d Edition, 2008, 280 p.
3. Hosseini, S.S., Talebi, S., Abouei, J. «Comprehensive study on a 2×2 full-rate and linear decoding complexity space–time block code», IEEE Trans. Inform. Theory, 2015, Volume: 9, Issue: 1, pp.122–132.
4. Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделин В.Б. «Технология ММО. Принципы и алгоритмы», Москва, «Горячая линия – Телеком», 2014 – 244 с.
5. Крейнделин В.Б. Новые методы обработки сигналов в системах беспроводной связи. – Москва, «Линк», 2009 – 272 с.
6. Лацинская М. «Испытать поколение. Что будет с 5G и как продолжат расти LTE-сети», www.gazeta.ru 20.05.2016.
7. Тутаренко Е. «МТС подобралась к 5G», www.comnews.ru 16.09.2016.