

УДК 621.396

НЕЛИНЕЙНЫЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ПРЕКОДИРОВАНИЯ ДЛЯ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СИСТЕМ ММО

В. Б. КРЕЙНДЕЛИН, Т. Б. К. БЕН РЕЖЕБ

*Московский технический университет связи и информатики,
Россия, Москва, 111024, ул. Авиамоторная, 8а*

Аннотация. Предложена модификация известного линейного алгоритма прекодирования CLTD (closed-loop transmit diversity), предназначенного для многопользовательских систем радиосвязи, использующих технологию ММО. Эффективность оригинального алгоритма прекодирования CLTD, обладающего рядом преимуществ по сравнению с ранее известными методами прекодирования на основе полной информации о состоянии канала связи, повышена за счет введения нелинейности. Использование нелинейной процедуры упорядоченного последовательного подавления помех OSIC при формировании прекодирующей матрицы позволяет значительно увеличить помехоустойчивость всей системы в целом за счет незначительного роста вычислительной сложности алгоритма. Представлены результаты компьютерного моделирования, отражающие эффективность предложенной модификации алгоритма формирования прекодирующей матрицы по сравнению с оригинальным алгоритмом CLTD.

Ключевые слова: ММО; OSIC; MMSE; прекодирование; демодуляция

1. ВВЕДЕНИЕ

В современных стандартах радиосвязи имеет место пространственная обработка сигналов, подразумевающая использование многоантенных систем ММО (Multiple-Input-Multiple-Output). Использование технологии ММО в системах связи позволяет значительно увеличить пропускную способность, но требует решения многих задач обработки сигналов.

В существующих стандартах систем связи 4-го поколения предусмотрено использование алгоритмов предварительной обработки сигналов на передающей стороне — прекодирование. Эффективность прекодирования проявляется как для случая однопользовательских систем ММО, так и для случая нескольких пользователей в системах Multiuser ММО. Использование прекодирования позволяет наиболее эффективно передать информацию по каналу

связи, обеспечить высокую помехоустойчивость и произвести подавление межпользовательской интерференции за счет внесения определенных предсказаний в передаваемые сигналы.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В системах связи 4-го поколения предусмотрено использование алгоритмов дискретного прекодирования, называемых в англоязычной литературе codebook-based precoding (прекодирование по кодовой книге) [2]. Такие алгоритмы подразумевают наличие на передающей стороне конечного набора прекодирующих матриц, определяющих вносимые предсказания в сигналы, передаваемые по разным пространственным каналам. Алгоритмы дискретного прекодирования требуют передачи по линии обратной связи от приемника

DOI: [10.20535/S002134701710003X](https://doi.org/10.20535/S002134701710003X)

© В. Б. Крейнделин, Т. Б. К. Бен Режеб, 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tong, W.; Zhu, P.; Jia, M.; Chloma, A.; Bakouline, M.; Kreindeline V. Международный патент (PCT) № WO 2005/046081. Method to determine Precoding weights based on Channel State Information in a MIMO Communication Systems. 04 November 2004.
2. Бакулин, М.Г.; Варукина, Л.А.; Крейнделин, В.Б. *Технология MIMO: принципы и алгоритмы*. М.: Горячая линия-Телеком, 2014. 244 с.
3. Sibille, A.; Oestges, C.; Zanella, A. *MIMO: From Theory to Implementation*. UK: Elsevier, 2010.
4. Zheng, S.; Zhao, H.; Zhao, L.; Mei, J.; Tang, W. Multiuser beamforming with limited feedback for FDD massive MIMO systems. *Chinese J. Eng.*, v.2016, ID 9821845, 9 p., 2016. DOI: [10.1155/2016/9821845](https://doi.org/10.1155/2016/9821845).
5. Murata, H.; Shinohara, R. Performance improvement of ZF-precoded MU-MIMO transmission by collaborative interference cancellation. *IEICE Commun. Express*, v.4, n.5, p.155–160, 2015. DOI: [10.1587/comex.4.155](https://doi.org/10.1587/comex.4.155).
6. Wang, F.; Bialkowski, M. E. Performance of block diagonalization scheme for downlink multiuser MIMO system with estimated channel state information. *Int. J. Commun., Network and System Sciences*, v.4, n.2, p.82–87, 2011. DOI: [10.4236/ijcns.2011.42010](https://doi.org/10.4236/ijcns.2011.42010).
7. Babu, Varna L.; Mathews, Luxy; Pillai, Sakuntala S. Performance analysis of linear and nonlinear precoding in MIMO systems. *Int. J. Advanced Res. Computer Commun. Eng.*, v.4, n.6, p.373–376, 2015. DOI: [10.17148/IJARCCCE.2015.4681](https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2015.4681).
8. Spencer, Q. H.; Swindlehurst, A. L.; Haardt, M. Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels. *IEEE Trans. Signal Processing*, v.52, n.2, p.461–471, 2004. DOI: [10.1109/TSP.2003.821107](https://doi.org/10.1109/TSP.2003.821107).
9. Tsoulos, G. *MIMO System Technology for Wireless Communications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006. 378 p.
10. Zu, K. Novel efficient precoding techniques for multiuser MIMO systems. Ph.D thesis. University of New York, May 2013, 158 p.
11. Моисеев, Н.Н.; Иванилов, Ю.П.; Столярова, Е.М. *Методы оптимизации*. М.: Наука, 1978. 352 с.
12. Васильев, Ф.П. *Численные методы решения экстремальных задач*. М.: Наука, 1988. 522 с.
13. Sarkar, S.; Rahman, M.S. A unique equalizer to optimize BER in MIMO wireless multipath fading channel: modified MMSE vs. existing equalizers. *Int. J. Emerg. Sci.*, 3(2), p.200–215, June 2013. URL: <http://www.iub.edu.pk/ijes/index.php/ijes/article/view/97>.
14. Foluwasu, T. Receiver architectures for MIMO wireless communication systems based on VBLAST and sphere decoding algorithms. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of the University of Hertfordshire for the degree of Doctor of Philosophy. University of Hertfordshire, Hatfield, 2011. 144 p.
15. Kumari, P. R.; Reddy, C. K.; Ramesh, K. S. Ordered successive interference cancellation for maximum throughput in multi stream MIMO using different modulation schemes. *Indian J. Sci. Technol.*, v.9, n.9, p.1–5, 2016. DOI: [10.17485/ijst/2016/v9i9/85873](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i9/85873).
16. Wolniansky, P. W.; Foschini, G. J.; Golden, G. D.; Valenzuela, R. A. V-BLAST: an architecture for realizing very high data rates over the rich scattering wireless channel. *Proc. of 1998 URSI Int. Symp. on Signals, Systems, and Electronics*, 29 Sep.–2 Oct. 1998, Pisa, Italy. IEEE, 1998, pp. 295–300. DOI: [10.1109/ISSSE.1998.738086](https://doi.org/10.1109/ISSSE.1998.738086).

Поступила в редакцию 14.11.2016

После переработки 01.07.2017