

УДК

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБНАРУЖИТЕЛЕЙ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННОМ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИИ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-КОРРЕЛИРОВАННЫХ КАНАЛОВ

Д. В. ЧАУХАН<sup>1</sup> И ДЖ. К. БХАЛАНИ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Чаротарский университет науки и техники,  
Индия, Чанга, район Ананд, Гуджарат

<sup>2</sup>Технологический институт Бабария,  
Индия, Вадодара, Гуджарат

**Аннотация.** Пространственное мультиплексирование используется в системах беспроводной связи MIMO (multiple input multiple output) для повышения скорости передачи данных. Некоторые нелинейные обнаружители, такие как обнаружитель с минимальной среднеквадратической ошибкой MMSE (minimum mean square error), использующий вертикальную слоистую пространственно-временную архитектуру фирмы «Белл Лабораториз» VBLAST (vertical Bell laboratories layered space-time), обнаружитель MMSE VBLAST с максимальной апостериорной ошибкой MAP, и обнаружитель VBLAST с улучшенной MMSE, используются вместо более сложных обнаружителей, таких как обнаружитель максимального правдоподобия ML или обнаружитель на базе сингулярной декомпозиции. В этой работе представлены результаты моделирования частоты появления ошибочных символов SER системы MIMO от среднего значения отношения сигнал-шум SNR для обнаружителей MMSE VBLAST MAP и VBLAST с улучшенной MMSE, предполагая наличие пространственно-коррелированных каналов и использование многоуровневых квадратурных амплитудных модуляций QAM. Установлено, что характеристики обнаружителей MMSE VBLAST MAP и VBLAST с улучшенной MMSE близки в пространственно некоррелированных каналах. Однако в случае пространственно-коррелированных каналов обнаружитель VBLAST с улучшенной MMSE обеспечивает лучшие характеристики по сравнению с MMSE VBLAST MAP. Также доказано, что алгоритм улучшенного VBLAST по сложности превышает алгоритм VBLAST MAP.

**Ключевые слова:** пространственное мультиплексирование; система MIMO; система беспроводной связи; SNR; многоуровневая квадратурная амплитудная модуляция

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Современный спрос на беспроводную связь с высокой скоростью обмена можно удовлетворить путем использования пространственного мультиплексирования в системах беспроводной связи MIMO (multiple input multiple output) [1, 2]. Пространственное мультиплексирование может быть реализовано с помощью информации о состоянии канала, доступной на передатчике. Однако при этом требуется выделенный канал обратной связи,

что увеличивает сложность общей системы. Поэтому, чтобы избавиться от канала обратной связи, используется обнаружитель, основанный на методе наибольшего правдоподобия ML (maximum likelihood), или сферический дешифратор SD (sphere decoder). Однако это значительно повышает сложность приемника при увеличении количества антенн или при использовании схем модуляции высокого порядка [3–10].

DOI: [10.20535/S0021347017070020](https://doi.org/10.20535/S0021347017070020)

© Д. В. Чаухан и Дж. К. Бхалани, 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Foschini, G. J. Layered space time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas. *Bell Labs Technical J.*, Vol. 1, No. 2, p. 41–59, Autumn 1996. DOI: [10.1002/bltj.2015](https://doi.org/10.1002/bltj.2015).
2. Foschini, G. J.; Gans, M. J. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas. *Wireless Personal Communications*, Vol. 6, No. 3, p. 311–335, 1998. DOI: [10.1023/A:1008889222784](https://doi.org/10.1023/A:1008889222784).
3. Крейнделин, В. Б.; Варукина, Л. А. Метод демодуляции сигналов с пространственно-временным кодированием с применением нелинейного итерационного алгоритма. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 52, № 8, С. 25–32, 2009. URL: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347009080032>.
4. Agrell, E.; Eriksson, E.; Vardy, A.; Zeger, K. Closest point search in lattices. *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol. 48, No. 8, p. 2201–2214, August 2002. DOI: [10.1109/TIT.2002.800499](https://doi.org/10.1109/TIT.2002.800499).
5. Guo, Zhan; Nilsson, Peter. Reduced complexity Schnorr-Euchner decoding algorithms for MIMO systems. *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 8, No. 5, p. 286–288, May 2004. DOI: [10.1109/LCOMM.2004.827376](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2004.827376).
6. Gupta, Vipul; Sah, Abhay Kumar; Chaturvedi, A. K. Approximate matrix inversion based low complexity sphere decoding in MIMO systems. arXiv: 1509.02405v1 [cs.IT], 8 September 2015.
7. Kanthimathi, M.; Amutha, R. Reduced complexity maximum likelihood detection for DAPSK based relay communication systems. *Proc. of 2015 Int. Conf. on Computing and Communications Technologies, ICCCT*, 8 Oct. 2015, Chennai, India. IEEE, 2015, pp. 292–295. DOI: [10.1109/ICCCT2.2015.7292763](https://doi.org/10.1109/ICCCT2.2015.7292763).
8. Zhu, Yi-Jun; Wang, Wen-Ya; Zhang, Jian-Kang; Zhang, Yan-Yu. Constellation collaborated non-linear orthogonal space-time block codes with fast maximum-likelihood detection. *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol. 66, No. 1, p. 513–528, 2017. DOI: [10.1109/TVT.2016.2536060](https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2536060).
9. Chen, Yin; Huang, Xu Guang. A linewidth-tolerant two-stage CPE using a new QPSK-partitioning approach and an enhanced maximum likelihood detection for 64-QAM coherent optical systems. *J. Lightwave Technology*, Vol. 33, No. 18, p. 3883–3889, 2015. DOI: [10.1109/JLT.2015.2448113](https://doi.org/10.1109/JLT.2015.2448113).
10. Regev, Nir; Iofedov, Ilia; Wulich, Dov. Maximum likelihood detection of nonlinearly distorted OFDM signal. *Proc. of 2015 IEEE Global Communication Conf., GLOBECOM*, 6-10 Dec. 2015, San Diego, CA, USA. IEEE, 2016, pp. 1–6. DOI: [10.1109/GLOCOM.2015.7417009](https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2015.7417009).

11. 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 Int. Symp. on Signal, System and Electronics*, pp. 295–300, 1998. DOI: [10.1109/ISSSE.1998.738086](https://doi.org/10.1109/ISSSE.1998.738086).

12. Alimohammad, A.; Fard, S. F.; Cockburn, B. F. Improved layered MIMO detection algorithm with near-optimal performance. *Electron. Lett.*, Vol. 45, No. 13, p. 675–677, 2009. DOI: [10.1049/el.2009.0373](https://doi.org/10.1049/el.2009.0373).

13. Yapici, Yavuz. A new symbol detection algorithm for MIMO channels. A thesis submitted to the

department of electrical and electronics engineering and the institute of engineering and science of bilkent university, January 2005.

14. Chizhik, Dmitry; Farrokhi, Farrokh Rashid; Ling, Jonathan; Lozano, Angel. Effect of antenna separation on the capacity of BLAST in correlated channels. *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 4, No. 11, p. 337–339, Nov. 2000. DOI: [10.1109/4234.892194](https://doi.org/10.1109/4234.892194).

15. Loyka, Sergey L. Channel capacity of MIMO architecture using the exponential correlation matrix. *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 5, No. 9, p. 369–371, Sept. 2001. DOI: [10.1109/4234.951380](https://doi.org/10.1109/4234.951380).

Поступила в редакцию 05.09.2016