

УДК 621.396

ДЕТЕКТОР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОГО ВОСХОДЯЩЕГО ПОИСКА ДЛЯ КОДИРОВАННОЙ БОЛЬШОЙ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ МИМО-СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ПОДАВЛЕНИЕ МЕЖАНТЕННОЙ ПОМЕХИ И ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ПОМЕХ

Н. Р. ЧАЛА, К. БАГАДИ

*ИТ университет,
Индия, Веллур, 632014, Тамилнад*

Аннотация. Основная цель большой системы с многими пользователями и групповым входом и групповым выходом MU-MIMO (MultiUser Multiple-Input Multiple-Output) состоит в улучшении пропускной способности и спектральной эффективности в сетях беспроводной связи пятого поколения 5G. Рабочая эффективность системы MU-MIMO зависит от межантенной помехи IAI (Inter-Antenna Interference) и внутрисистемных помех MUI (MultiUser Interference). Помеха IAI возникает из-за ограничений пространства на каждом пользовательском терминале UT (User Terminal), а помеха MUI добавляется тогда, когда один UT оказывается вблизи другого UT в одной и той же сотовой сети связи. Помеха IAI может быть минимизирована с помощью схемы предварительного кодирования, например, схемы сингулярного разложения SVD (Singular Value Decomposition), а помеха MUI подавляется с помощью эффективных схем многопользовательского детектирования MUD (MultiUser Detection). Детектор максимального правдоподобия ML (Maximum Likelihood) является оптимальным, однако он имеет очень сложную структуру и требует большого количества вычислений, особенно в случае больших структур. Установлено, что алгоритм на базе поиска окрестности, например, алгоритм вероятностного восходящего поиска LAS (Likelihood Ascent Search), является лучшей альтернативой для подавления MUI, поскольку обеспечивает почти оптимальную характеристику эффективности при невысокой сложности. Большинство последних работ ориентировано на устранение или MUI или IAI, тогда как предлагаемая работа представляет совместное выполнение предварительного кодирования SVD и алгоритма LAS MUD для подавления обеих помех IAI и MUI. Предлагаемая схема обеспечивает почти оптимальную рабочую эффективность при меньшем количестве матричных вычислений.

Ключевые слова: большая многопользовательская МИМО-система; межантенная помеха; внутрисистемная помеха; сингулярное разложение; многопользовательское детектирование; вероятностный восходящий поиск

1. ВВЕДЕНИЕ

Постоянно растущий спрос на системы связи с высокой скоростью передачи данных и тенденция к существенному увеличению числа абонентов беспроводной связи обусловили проведение исследований, сосредоточенных на передовых технологиях беспроводной связи для будущих применений, таких как системы с

большим количеством пользователей, групповым входом и групповым выходом MU-MIMO (MultiUser Multiple-Input Multiple-Output) [1, 2].

Технология MU-MIMO представляет собой технологию беспроводной связи, которая разработана для увеличения пропускной способности и рабочей эффективности системы беспроводной связи в соответствии с требова-

Keywords: massive multiuser MIMO; inter-antenna interference; IAI; multiuser interference; MUI; singular value decomposition; multiuser detection; likelihood ascent search

REFERENCES

- [1] A. Chockalingam and B. Sundar Rajan, *Large MIMO Systems*, vol. 9781107026. Cambridge University Press, 2011, doi: [10.1017/CBO9781139208437](https://doi.org/10.1017/CBO9781139208437).
- [2] E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, and T. L. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 186–195, 2014, doi: [10.1109/MCOM.2014.6736761](https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736761).
- [3] L. Lu, G. Y. Li, A. L. Swindlehurst, A. Ashikhmin, and R. Zhang, "An overview of massive MIMO: Benefits and challenges," *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.*, vol. 8, no. 5, pp. 742–758, 2014, doi: [10.1109/JSTSP.2014.2317671](https://doi.org/10.1109/JSTSP.2014.2317671).
- [4] E. Biglieri, R. Calderbank, A. Constantinides, A. Goldsmith, A. Paulraj, and H. V. Poor, *MIMO Wireless Communications*, vol. 9780521873. Cambridge University Press, 2007, doi: [10.1017/CBO9780511618420](https://doi.org/10.1017/CBO9780511618420).
- [5] Y. Liu, J. Liu, Q. Wu, Y. Zhang, and M. Jin, "A Near-Optimal Iterative Linear Precoding with Low Complexity for Massive MIMO Systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 23, no. 6, pp. 1105–1108, 2019, doi: [10.1109/LCOMM.2019.2911472](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2019.2911472).
- [6] C. Tang, Y. Tao, Y. Chen, C. Liu, L. Yuan, and Z. Xing, "Approximate iteration detection and precoding in massive MIMO," *China Commun.*, vol. 15, no. 5, pp. 183–196, 2018, doi: [10.1109/CC.2018.8387997](https://doi.org/10.1109/CC.2018.8387997).
- [7] N. Fatema, G. Hua, Y. Xiang, D. Peng, and I. Natgunanathan, "Massive MIMO Linear Precoding: A Survey," *IEEE Syst. J.*, vol. 12, no. 4, pp. 3920–3931, 2018, doi: [10.1109/JSYST.2017.2776401](https://doi.org/10.1109/JSYST.2017.2776401).
- [8] V. V. Gudla and V. B. Kumaravelu, "Dynamic spatial modulation for next generation networks," *Phys. Commun.*, vol. 34, pp. 90–104, 2019, doi: [10.1016/j.phycom.2019.03.002](https://doi.org/10.1016/j.phycom.2019.03.002).
- [9] N. R. Challa and K. Bagadi, "Design of near-optimal local likelihood search-based detection algorithm for coded large-scale MU-MIMO system," *Int. J. Commun. Syst.*, p. e4436, 2020, doi: [10.1002/dac.4436](https://doi.org/10.1002/dac.4436).
- [10] M. Al-Rawi and M. Al-Rawi, "Performance of massive MIMO uplink system over Nakagami-m fading channel," *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 60, no. 1, pp. 13–17, 2017, doi: [10.3103/S0735272717010022](https://doi.org/10.3103/S0735272717010022).
- [11] T. A. Sheikh, J. Bora, and M. A. Hussain, "Sum-Rate Performance of Massive MIMO Systems in Highly Scattering Channel with Semi-Orthogonal and Random User Selection," *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 61, no. 12, pp. 547–555, 2018, doi: [10.3103/S0735272718120026](https://doi.org/10.3103/S0735272718120026).
- [12] A. H. Mehana and A. Nosratinia, "Diversity of MIMO linear precoding," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, no. 2, pp. 1019–1038, 2014, doi: [10.1109/TIT.2013.2289860](https://doi.org/10.1109/TIT.2013.2289860).
- [13] K. P. Bagadi, V. Annepu, and S. Das, "Recent trends in multiuser detection techniques for SDMA-OFDM communication system," *Phys. Commun.*, vol. 20, pp. 93–108, 2016, doi: [10.1016/j.phycom.2016.07.001](https://doi.org/10.1016/j.phycom.2016.07.001).
- [14] D. Lee, "Performance analysis of zero-forcing-precoded scheduling system with adaptive modulation for multiuser-multiple input multiple output transmission," *IET Commun.*, vol. 9, no. 16, pp. 2007–2012, 2015, doi: [10.1049/iet-com.2015.0201](https://doi.org/10.1049/iet-com.2015.0201).
- [15] X. He, Q. Guo, J. Tong, J. Xi, and Y. Yu, "Low-complexity approximate iterative LMMSE detection for large-scale MIMO systems," *Digit. Signal Process. A Rev. J.*, vol. 60, pp. 134–139, 2017, doi: [10.1016/j.dsp.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.dsp.2016.09.004).
- [16] A. Liu and V. K. N. Lau, "Two-stage constant-envelope precoding for low-cost massive MIMO systems," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 64, no. 2, pp. 485–494, 2016, doi: [10.1109/TSP.2015.2486749](https://doi.org/10.1109/TSP.2015.2486749).
- [17] A. Hindy and A. Nosratinia, "Ergodic Fading MIMO Dirty Paper and Broadcast Channels: Capacity Bounds and Lattice Strategies," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 5525–5536, 2017, doi: [10.1109/TWC.2017.2712631](https://doi.org/10.1109/TWC.2017.2712631).
- [18] I. W. Lai et al., "Spatial Permutation Modulation for Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Systems," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 68206–68218, 2019, doi: [10.1109/ACCESS.2019.2918710](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2918710).
- [19] L. Gopal, Y. Rong, and Z. Zang, "Tomlinson-Harashima Precoding Based Transceiver Design for MIMO Relay Systems With Channel Covariance Information," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 14, no. 10, pp. 5513–5525, 2015, doi: [10.1109/TWC.2015.2439279](https://doi.org/10.1109/TWC.2015.2439279).
- [20] R. Masashi Fukuda and T. Abrao, "Linear, Quadratic, and Semidefinite Programming Massive MIMO Detectors: Reliability and Complexity," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 29506–29519, 2019, doi: [10.1109/ACCESS.2019.2902521](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2902521).
- [21] W. A. Shehab and Z. Al-Qudah, "Singular value decomposition: Principles and applications in multiple input multiple output communication system," *Int. J. Comput. Networks Commun.*, vol. 9, no. 1, pp. 13–21, 2017, doi: [10.5121/ijcnc.2017.9102](https://doi.org/10.5121/ijcnc.2017.9102).
- [22] W. Liu, L. L. Yang, and L. Hanzo, "SVD-assisted multiuser transmitter and multiuser detector design for MIMO systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 2, pp. 1016–1021, 2009, doi: [10.1109/TVT.2008.927728](https://doi.org/10.1109/TVT.2008.927728).
- [23] A. Elghariani and M. Zoltowski, "Low Complexity Detection Algorithms in Large-Scale MIMO Systems," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 15, no. 3, pp. 1689–1702, 2016, doi: [10.1109/TWC.2015.2495163](https://doi.org/10.1109/TWC.2015.2495163).
- [24] Y. Li, Q. He, and R. S. Blum, "Limited-Complexity Receiver Design for Passive/Active MIMO Radar Detection," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 67, no. 12, pp. 3258–3271, 2019, doi: [10.1109/TSP.2019.2911262](https://doi.org/10.1109/TSP.2019.2911262).
- [25] D. C. Araujo, T. Maksymyuk, A. L. F. de Almeida, T. Maciel, J. C. M. Mota, and M. Jo, "Massive MIMO: Survey and future research topics," *IET Commun.*, vol. 10, no. 15, pp. 1938–1946, 2016, doi: [10.1049/iet-com.2015.1091](https://doi.org/10.1049/iet-com.2015.1091).
- [26] M. Mandloi and V. Bhatia, "Error Recovery Based Low-Complexity Detection for Uplink Massive MIMO Systems," *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 6, no. 3, pp. 302–305, 2017, doi: [10.1109/LWC.2017.2677905](https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2677905).
- [27] K. V. Vardhan, S. K. Mohammed, A. Chockalingam, and B. S. Rajan, "A low-complexity detector for large MIMO systems and multicarrier CDMA systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 26, no. 3, pp. 473–485, 2008, doi: [10.1109/JSAC.2008.080406](https://doi.org/10.1109/JSAC.2008.080406).
- [28] P. Li and R. D. Murch, "Multiple output selection-LAS algorithm in large MIMO systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, no. 5, pp. 399–401, 2010, doi: [10.1109/LCOMM.2010.05.100092](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2010.05.100092).
- [29] S. Agarwal, A. K. Sah, and A. K. Chaturvedi, "Likelihood-Based Tree Search for Low Complexity Detection in Large MIMO Systems," *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 6, no. 4, pp. 450–453, 2017, doi: [10.1109/LWC.2017.2702639](https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2702639).
- [30] A. K. Sah and A. K. Chaturvedi, "An Unconstrained Likelihood Ascent Based Detection Algorithm for

Large MIMO Systems,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 4, pp. 2262–2273, 2017, doi: [10.1109/TWC.2017.2661283](https://doi.org/10.1109/TWC.2017.2661283).

[31] L. Li, W. Meng, and C. Li, “Semidefinite further relaxation on likelihood ascent search detection algorithm for high-order modulation in massive MIMO system,” *IET Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 801–808, 2017, doi: [10.1049/iet-com.2016.1160](https://doi.org/10.1049/iet-com.2016.1160).

[32] M. Chaudhary, N. K. Meena, and R. S. Kshetrimayum, “Local search based near optimal low complexity detection for large MIMO System,” in *2016 IEEE Int. Conf. on Advanced Networks and Telecommunications Systems, ANTS 2016*, 2017, doi: [10.1109/ANTS.2016.7947792](https://doi.org/10.1109/ANTS.2016.7947792).

[33] A. K. Sah and A. K. Chaturvedi, “Sequential and Global Likelihood Ascent Search-Based Detection in Large

MIMO Systems,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 66, no. 2, pp. 713–725, 2018, doi: [10.1109/TCOMM.2017.2761383](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2017.2761383).

[34] D. A. Pokamestov, Y. V. Kryukov, E. V. Rogozhnikov, R. R. Abenov, and A. Y. Demidov, “Concepts of the physical level of the fifth generation communications systems,” *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 60, no. 7, pp. 285–296, 2017, doi: [10.3103/S0735272717070019](https://doi.org/10.3103/S0735272717070019).

[35] N. R. Challa and K. Bagadi, “Lattice Reduction Assisted Likelihood Ascent Search Algorithm for Multiuser Detection in Massive MIMO System,” in *INDICON 2018 - 15th IEEE India Council Int. Conf.*, 2018, doi: [10.1109/INDICON45594.2018.8987139](https://doi.org/10.1109/INDICON45594.2018.8987139).

Received December 13, 2019

Revised XX, 2020

Accepted XX, 2020