

УДК 621.396

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В СВЕРХБОЛЬШОЙ МІМО-СИСТЕМЕ С ПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ О СОСТОЯНИИ КАНАЛА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ КОДИРОВАНИЕМ*

Т. А. ШЕЙК, ДЖ. БОРА, М. А. ХУССЕЙН

*Северо-восточный региональный институт науки и техники,
Индия, Нирджули, 791109, Аруначал-Прадеш*

Аннотация. Аналитическое рассмотрение нижней границы спектральной эффективности (СЭ) канала нисходящей передачи в сверхбольшей МІМО-системе Н-МІМО (hyper MIMO) является важным аспектом для понимания роли различных факторов, участвующих в этом процессе. В данной работе получено математическое выражение для нижней границы СЭ Н-МІМО системы при использовании линейных методов предварительного кодирования, таких как метод обнуления ZF (zero-forcing) и метод минимальной среднеквадратичной ошибки MMSE (minimum mean square error). Анализ СЭ предусматривает рассмотрение трех алгоритмов совместного планирования для пользователей и антенн, таких как полуортогональный и случайный алгоритмы, и алгоритм планирования пользователей на основе расстояния, тогда как антенны выбираются на основе максимального отношения сигнал–шум SNR (signal-to-noise ratio) для зарегистрированных пользователей. Предполагается, что канал между пользователем и передатчиком имеет характеристики мелкомасштабного SSF (small scale fading) и крупномасштабного LSF (large scale fading) затухания при использовании рэлеевской распределенной блочной модели замирания. Исследовано влияние изменения мощности передачи, количества антенн базовой станции M и радиуса соты на СЭ. Проведено моделирование передачи по нисходящему каналу системы Н-МІМО и выполнено сравнение результатов моделирования с аналитическими результатами. Можно отметить, что тренды изменения результатов при варьировании различных факторов подобны, и разница между нижней границей СЭ при моделировании и аналитическом расчете составляет порядка 1–1,5 бит, причем аналитическое значение нижней границы является меньшим из двух указанных значений.

Ключевые слова: спектральная эффективность; параметры крупномасштабного замирания; технология hyper MIMO; Н-МІМО; пятое поколение; предварительное кодирование

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время академические и производственные структуры проводят исследования, связанные с технологией Н-МІМО (hyper MIMO, сверхбольшая МІМО-система), в силу присущих ей многих достоинств при

применении в системах беспроводной связи пятого поколения. Эта технология предоставляет большое число степеней свободы, отличается спектральной и энергетической эффективностью, высокой надежностью связи и простыми средствами обработки сигналов [1–3].

* Данная работа обеспечена финансовой поддержкой со стороны Visvervaraya PhD Scheme правительства Индии (Грант № PhD-MLA-4(96)/2015-2016).

REFERENCES

1. Sheikh, T. A.; Bora, J.; Hussain, A. "A survey of antenna and user scheduling techniques for massive MIMO-5G wireless system," *Proc. of 2017 Int. Conf. on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication*, CTCEEC, 8-9 Sept. 2017, Mysore, India. IEEE, 2017, pp. 578-583. DOI: [10.1109/ctceec.2017.8455177](https://doi.org/10.1109/ctceec.2017.8455177).
2. Larsson, E.G.; Edfors, O.; Tufvesson, F.; Marzetta, T.L. "Massive MIMO for next generation wireless systems," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 52, No. 2, p. 186-195, 2014. DOI: [10.1109/mcom.2014.6736761](https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6736761).
3. Ngo, H. Q. "Massive MIMO: Fundamentals and system designs," Linköping Studies in Science and Technology, Dissertations, No. 1642, Linköping University, 2015, SE-581 83 Linköping, Sweden. DOI: [10.3384/lic.diva-112780](https://doi.org/10.3384/lic.diva-112780).
4. Rusek, F.; Persson, D.; Lau, B. K.; Larsson, E. G.; Marzetta, T. L.; Edfors, O.; and Tufvesson, F. "Scaling up MIMO: Opportunities and challenges with very large arrays," *IEEE Signal Processing Mag.*, Vol. 30, No. 1, p. 40–60, 2013. DOI: [10.1109/msp.2011.2178495](https://doi.org/10.1109/msp.2011.2178495).
5. Selvan, V. P.; Iqbal, M. S.; Al-Raweshidy, H. S. "Performance analysis of linear precoding schemes for very large multi-user MIMO downlink system," *Proc. of IEEE Fourth Int. Conf. on Innovative Computing Technology*, INTECH, 13-15 Aug. 2014, Luton, UK. IEEE, 2014, pp. 219-224. DOI: [10.1109/intech.2014.6927765](https://doi.org/10.1109/intech.2014.6927765).
6. Sheikh, T. A.; Bora, J.; Hussain, M. A. "Sum-rate performance of massive MIMO systems in highly scattering channel with semi-orthogonal and random user selection," *Radioelectron. Commun. Syst.*, Mol. 61, To. 12, p. 547-555, 2018. DOI: [10.3103/s0735272718120026](https://doi.org/10.3103/s0735272718120026).
7. Zhao, L.; Zheng, K.; Long, H.; Zhao, H.; Wang, W. "Performance analysis for downlink massive multiple-input multiple-output system with channel state information delay under maximum ratio transmission precoding," *IET Commun.*, Vol. 8, No. 3, p. 390-398, 2014. DOI: [10.1049/iet-com.2013.0209](https://doi.org/10.1049/iet-com.2013.0209).
8. Lin, Y.; Li, X.; Fu, W.; Hei, Y. "Spectral efficiency analysis for downlink massive MIMO systems with MRT precoding," *China Commun.*, Vol. 12, No. Suppl., p. 67-73, 2015. DOI: [10.1109/cc.2015.7386172](https://doi.org/10.1109/cc.2015.7386172).
9. Sheikh, T. A.; Bora, J.; Hussain, M. A. "Combined user and antenna selection in massive MIMO using precoding technique," *Int. J. Sensors, Wireless Commun. Control*, Vol. 9, No. 2, p. 214-223, 2019. DOI: [10.2174/2210327908666181112144939](https://doi.org/10.2174/2210327908666181112144939).
10. Sheikh, T. A.; Bora, J.; Hussain, M. A. "Capacity maximizing in massive MIMO with linear precoding for SSF and LSF channel with perfect CSI," *Digital Commun. Networks*, in press, 2019. DOI: [10.1016/j.dcan.2019.08.002](https://doi.org/10.1016/j.dcan.2019.08.002).
11. Lu, L.; Li, G. Y.; Swindlehurst, A. L.; Ashikhmin, A.; Zhang, R. "An overview of massive MIMO: benefits and challenges," *IEEE J. Selected Topics Signal Process.*, Vol. 8, No. 5, p. 742-758, 2014. DOI: [10.1109/jstsp.2014.2317671](https://doi.org/10.1109/jstsp.2014.2317671).
12. Ngo, H. Q.; Larsson, E. G.; Marzetta, T. L. "Energy and spectral efficiency of very large multiusers MIMO systems," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 61, No. 4, p. 1436-1449, 2013. DOI: [10.1109/tcomm.2013.020413.110848](https://doi.org/10.1109/tcomm.2013.020413.110848).
13. Yang, A.; He, Z.; Xing, C.; Fei, Z.; Kuang, J. "The role of large-scale fading in uplink massive MIMO systems," *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, Vol. 65, No. 1, p. 477-483, 2016. DOI: [10.1109/TVT.2015.2397553](https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2397553).
14. Parfait, T.; Kuang, Y.; Jerry, K. "Performance analysis and comparison of ZF and MRT based downlink massive MIMO systems," *Proc. of 2014 Sixth Int. Conf. on Ubiquitous and Future Networks*, ICUFN, 8-11 Jul. 2014, Shanghai, China. IEEE, 2014, pp. 383-388. DOI: [10.1109/icufn.2014.6876818](https://doi.org/10.1109/icufn.2014.6876818).
15. Yang, H.; Marzetta, T. L. "Performance of conjugate and zero-forcing beamforming in large-scale antenna systems," *IEEE J. Selected Areas Commun.*, Vol. 31, No. 2, p. 172-179, 2013. DOI: [10.1109/jsac.2013.130206](https://doi.org/10.1109/jsac.2013.130206).
16. Ngo, H. Q.; Larsson, E. G.; Marzetta, T. L. "Massive MU-MIMO downlink TDD systems with linear precoding and downlink pilots," *Proc. of 2013 51st Annual Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing*, 2-4 Oct. 2013, Monticello, IL, USA. IEEE, 2013, pp. 293–298. DOI: [10.1109/allerton.2013.6736537](https://doi.org/10.1109/allerton.2013.6736537).
17. Bjornson, E.; Sanguinetti, L.; Hoydis, J.; Debbah, M. "Optimal design of energy-efficient multi-user MIMO systems: Is massive MIMO the answer?," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 14, No. 6, p. 3059-3075, 2015. DOI: [10.1109/TWC.2015.2400437](https://doi.org/10.1109/TWC.2015.2400437).
18. Zhao, L.; Zhao, H.; Hu, F.; Zheng, K.; Zhang, J. "Energy efficient power allocation algorithm for downlink massive MIMO with MRT precoding," *Proc. of 2013 IEEE 78th Vehicular Technology Conf.*, VTC Fall, 2-5 Sept. 2013, Las Vegas, USA. IEEE, 2013, pp. 1–5. DOI: [10.1109/VTCFall.2013.6692185](https://doi.org/10.1109/VTCFall.2013.6692185).
19. He, C.; Sheng, B.; Zhu, P.; You, X. "Energy efficiency and spectral efficiency tradeoff in downlink distributed antenna systems," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, Vol. 1, No. 3, p. 153-156, 2012. DOI: [10.1109/WCL.2012.022812.120048](https://doi.org/10.1109/WCL.2012.022812.120048).
20. Tulino, A.; Verdu, S. *Random Matrix Theory and Wireless Communications*. Now Foundations and Trends, 2004. DOI: [10.1561/0100000001](https://doi.org/10.1561/0100000001).

Received January 16, 2019

Revised September 7, 2019

Accepted September 28, 2019