

УДК 621.396

ПОЭЛЕМЕНТНАЯ И СОВМЕСТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРЕКОДЕРА MAX-DMIN ДЛЯ СИСТЕМ MIMO С LDPC КОДИРОВАНИЕМ И QAM-МОДУЛЯЦИЕЙ

С. МАХИ, А. БУАЧА

Университет им. Абу Бекера, Тлемсен, Алжир

Аннотация. Технология MIMO не только дает возможность разнесения и увеличение пропускной способности, но также обеспечивает более высокую спектральную эффективность и значительную надежность линии связи по сравнению с системами SISO. В настоящее время разработано множество методов, использующих свойство разнесения, получаемое с помощью систем со множеством антенн, такие как код Аламути и пространственное мультиплексирование, которое не требует информации о статусе канала на передающей стороне Tx-CSI (transmitter channel status information). Другие методы оптимизации распределения мощности, известные как прекодирование, требуют полную или частичную информацию Tx-CSI. Эти методы помогают преобразовывать сигнал перед его передачей согласно определенным критериям, среди которых минимальное евклидово расстояние, которое предполагается эффективным и является объектом исследований. В данной работе на основании полной информации о состоянии канала с обеих сторон передачи данных, предлагается новая схема передачи данных в беспроводных сетях, которая объединяет прекодер на основании минимального евклидова расстояния и коррекцию кода на основании не двоичного кода с низкой плотностью и проверкой четности NB-LDPC (Non-binary low-density parity-check code) с целью определения оптимизированного распределения мощности, что адаптирует блок линейного прекодирования к кодированию NB-LDPC при MIMO передаче. В работе использована квадратурная амплитудная модуляция QAM (Quadrature Amplitude Modulation) в канале с релейским затуханием при приеме по критерию максимального правдоподобия. Результаты компьютерного моделирования подтвердили, что согласно значению частоты битовой ошибки, код NB-LDPC в высокой степени подходит для объединения используемых схем прекодирования на основании максимизации критерия минимального евклидова расстояния.

Ключевые слова: MIMO, LDPC, Tx-CSI, Max-dmin precoder, SM, BER

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное развитие мобильных систем и социальных сетей приводит к экспоненциальному росту трафика данных, что приводит к работе сотовых сетей на пределе возможностей.

Современные стандарты беспроводной связи, такие как LTE, LTE-A [1] и в частности, сотовые сети пятого поколения (5G) [2, 3] должны отвечать этим требованиям и они заменят сети текущего поколения в течение нескольких лет. Эти современные сотовые сети

требуют высокую скорость передачи данных при низкой задержке. Кроме того, высокоскоростное кодирование, модуляция высокого порядка и технология множественного входа-множественного выхода MIMO (Multiple-Input Multiple Output) являются важнейшими инструментами достижения высокой скорости передачи данных.

Преимущества технологии MIMO главным образом обеспечиваются с помощью методов разомкнутой и замкнутой цепей [4, 5]. Технологии разомкнутой цепи (open loop), также известные как пространственное кодирование STC

DOI: [10.20535/S0021347019110037](https://doi.org/10.20535/S0021347019110037)

© С. Махи, А. Буача, 2019

REFERENCES

1. Strelkovskaya, I. V.; Grygoryeva, T. I.; Solovskaya, I. N. "Self-similar traffic in G/M/1 queue defined by the Weibull distribution," *Radioelectron. Commun. Syst.*, Vol. 61, No. 3, p. 128-134, 2018. DOI: [10.3103/S0735272718030056](https://doi.org/10.3103/S0735272718030056).
2. Pokamestov, D. A.; Kryukov, Y. V.; Rogozhnikov, E. V.; Abenov, R. R.; Demidov, A. Y. "Concepts of the physical level of the fifth generation communications systems," *Radioelectron. Commun. Syst.*, Vol. 60, No. 7, p. 285-296, 2017. DOI: [10.3103/S0735272717070019](https://doi.org/10.3103/S0735272717070019).
3. Morgado, A.; Huq, K. M. S.; Mumtaz, S.; Rodriguez, J. "A survey of 5G technologies: regulatory, standardization and industrial perspectives," *Digit. Commun. Netw.*, Vol. 4, No. 2, p. 87-97, 2017. DOI: [10.1016/j.dcan.2017.09.010](https://doi.org/10.1016/j.dcan.2017.09.010).
4. V. Tarokh, V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A.R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," *IEEE Transactions on Information Theory*, 45(5):1456-1467, 1999, DOI: [10.1109/49.753730](https://doi.org/10.1109/49.753730).
5. Kreyndelin, V. B.; Ben Rejeb, T. B. K. "Nonlinear iterative precoding algorithm for MIMO multiuser systems," *Radioelectron. Commun. Syst.*, Vol. 60, No. 10, p. 449-457, 2017. DOI: [10.3103/S073527271710003X](https://doi.org/10.3103/S073527271710003X).
6. Jing, Qingfeng; Wu, Jiajia. "Performance comparison of space-time block and trellis codes in the MIMO land mobile satellite channels," *Radioelectron. Commun. Syst.*, Vol. 60, No. 1, p. 1-12, 2017. DOI: [10.3103/S0735272717010010](https://doi.org/10.3103/S0735272717010010).
7. Nhan, Nhat-Quang; Rostaing, Philippe; Amis, Karine; Collin, Ludovic; Radoi, Emanuel. "Complexity reduction for the optimization of linear precoders over random MIMO channels," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 65, No. 10, p. 4205-4217, 2017. DOI: [10.1109/TCOMM.2017.2716375](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2017.2716375).
8. Telatar, E. "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," *European Trans. Telecommun.*, Vol. 10, No. 6, p. 585-595, Nov./Dec. 1999. DOI: [10.1002/ett.4460100604](https://doi.org/10.1002/ett.4460100604).
9. Stoica, P.; Ganesan, G. "Maximum-SNR spatial-temporal formatting designs for MIMO channels," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 50, No. 12, p. 3036- 3042, 2002. DOI: [10.1109/TSP.2002.805266](https://doi.org/10.1109/TSP.2002.805266).
10. Sampath, H.; Stoica, P.; Paulraj, A. "Generalized linear precoder and decoder design for MIMO channels using the weighted MMSE criterion," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 49, No. 12, p. 2198-2206, 2001. DOI: [10.1109/26.974266](https://doi.org/10.1109/26.974266).

11. Rostaing, P.; Berder, O.; Burel, G.; Collin, L. "Minimum BER diagonal precoder for MIMO digital transmissions," *Signal Process.*, Vol. 82, No. 10, p. 1477-1480, 2002. DOI: [10.1016/S0165-1684\(02\)00288-8](https://doi.org/10.1016/S0165-1684(02)00288-8).
12. Scaglione, A.; Stoica, P.; Barbarossa, S.; Giannakis, G. B.; Sampath, H. "Optimal designs for space-time linear precoders and decoders," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 50, No. 5, p. 1051-1064, 2002. DOI: [10.1109/78.995062](https://doi.org/10.1109/78.995062).
13. Collin, L.; Berder, O.; Rostaing, P.; Burel, G. "Optimal minimum distance-based precoder for MIMO spatial multiplexing systems," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 52, No. 3, p. 617-627, Mar. 2004. DOI: [10.1109/TSP.2003.822365](https://doi.org/10.1109/TSP.2003.822365).
14. Ngo, Q.-T.; Berder, O.; Scalart, P. Minimum Euclidean distance based precoders for MIMO systems using rectangular QAM modulations," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 60, No. 3, p. 1527-1533, 2012. DOI: [10.1109/TSP.2011.2177972](https://doi.org/10.1109/TSP.2011.2177972).
15. Mahi, S.; Bouacha, A. "Behavior of the minimum Euclidean distance optimization precoders with soft maximum likelihood detector for high data rate MIMO transmission," *Int. J. Advanced Computer Sci. App.*, Vol. 9, No. 2, p. 364-370, 2018. DOI: [10.14569/IJACSA.2018.090250](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090250).
16. Shannon, C. E. "A mathematical theory of communication," *Bell System Tech. J.*, Vol. 27, No. 4, p. 623-656, 1948. DOI: [10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x](https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x).
17. Shpylka, A. A.; Zhuk, S. Ya. "Decoding of convolutional codes on a sliding window during signal propagation in a multipath communications channel," *Radioelectron. Commun. Syst.*, Vol. 53, No. 9, p. 497-501, 2010. DOI: [10.3103/S0735272710090086](https://doi.org/10.3103/S0735272710090086).
18. Gallager, R. "Low-density parity-check codes," *IRE Trans. Inf. Theory*, Vol. 8, No. 1, p. 21-28, 1962. DOI: [10.1109/TIT.1962.1057683](https://doi.org/10.1109/TIT.1962.1057683).
19. MacKay, D. J. C.; Neal, R. M. "Near Shannon limit performance of low density parity check codes," *Electron. Lett.*, Vol. 33, No. 6, p. 457-458, 1997. DOI: [10.1049/el:19970362](https://doi.org/10.1049/el:19970362).
20. Brink, S. T.; Kramer, G.; Ashikhmin, A. "Design of low-density parity-check codes for modulation and detection," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 52, No. 4, p. 670-678, Apr. 2004. DOI: [10.1109/TCOMM.2004.826370](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2004.826370).
21. Islam, M. R.; Hossain, Md. M.; Hoque, Md. A.; Islam, K. K.; Ullah, Md. S. "Low density parity check code in cooperative MIMO communication at wireless sensor network," *Radioelectron. Commun. Syst.*, Vol. 54, No. 7, p. 359-366, 2011. DOI: [10.3103/S073527271107003X](https://doi.org/10.3103/S073527271107003X).
22. Deepa, T.; Kumar, R. "Performance evaluation of LDPC coded MIMO transceiver with equalization," *Proc. of Int. Conf. on Recent Trends in Information Technology*, 25-27 Jul. 2013, Chennai, India. IEEE, 2013, pp. 147-151, DOI: [10.1109/ICRTIT.2013.6844196](https://doi.org/10.1109/ICRTIT.2013.6844196).
23. Hou, J.; Siegel, P. H.; Milstein, L. B. "Performance analysis and code optimization of low density parity-check codes on Rayleigh fading channels," *IEEE J. Selected Areas Commun.*, Vol. 19, No. 5, p. 924-934, May 2001. DOI: [10.1109/49.924876](https://doi.org/10.1109/49.924876).
24. Iniya, S.; "Pergroup precoding for MIMO with LDPC coding using QAM modulation," *Int. J. Innovative Res. Technol. Sci. Eng.*, Vol. 2, No. 3, Mar. 2016.
25. Chehade, T.; Collin, L.; Rostaing, P.; Radoi, E.; Bazzi, O. "Power allocation optimization: linear precoding adapted to NB-LDPC coded MIMO transmission," *Int. J. Antennas Propag.*, Vol. 2015, ID 975139, 2015. DOI: [10.1155/2015/975139](https://doi.org/10.1155/2015/975139).
26. Perez-Cruz, F.; Rodrigues, M. R. D.; Verdu, S. "MIMO Gaussian channels with arbitrary inputs: optimal precoding and power allocation," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol. 56, No. 3, p. 1070-1084, 2010. DOI: [10.1109/TIT.2009.2039045](https://doi.org/10.1109/TIT.2009.2039045).
27. Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other Broadband Satellite Applications (DVB-S2) [archive], ETSI EN 302 307, V1.2.1, April 2009.

Received July 27, 2018

Revised August 4, 2019

Accepted November 12, 2019