

УДК 621.396

КОДОВОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ С МНОГОСТАНЦИОННЫМ ДОСТУПОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО БЛОЧНОГО КОДА НА ОСНОВЕ ХАОТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ В СИСТЕМАХ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

ЛВАА Ф. АБДУЛАМИР

*Багдадский университет,
Ирак, Багдад*

Аннотация. Атмосферная оптическая связь FSO (Free-Space Optical) способна обеспечить высокую скорость передачи данных, когда влияние турбулентности незначительно. При этом использование пространственно-временного блочного кода STBC (Space-Time-Block-Code) является хорошим приемом для ослабления указанной зависимости от турбулентности. В работе предложен гибридный «кодированный разделенный оптический канал с многоадресным доступом» OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) и STBC в FSO для построения «последней мили» в местах, где затруднен доступ к удаленным районам. Основным недостатком при реализации канала FSO связан с влиянием турбулентности атмосферы. Возможность использования STBC в системе OCDMA состоит в ослаблении эффектов турбулентности. В данной работе выполнена оценка характеристики коэффициента однобитовых ошибок BER (Bit-Error-Rate) для системы OCDMA при работе в условиях флуктуаций, где указанный эффект описывается моделью гамма-гамма распределения. Наиболее очевидным результатом, полученным в результате анализа, является тот факт, что при использовании канала MIMO коэффициент BER можно улучшить на несколько порядков для различного числа пользователей и различных значений уровня флуктуаций по сравнению с каналом SISO. При этом теоретический анализ характеристики BER, полученной на основании гамма-гамма модели, подтверждается путем моделирования по методу Монте-Карло.

Ключевые слова: OCDMA; кодовое разделение оптических каналов с многоадресным доступом; STBC; пространственно-временный блочный код; FSO; атмосферная оптическая связь; хаотический метод

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время оптическая связь приобрела популярность среди исследователей благодаря использованию диапазона рабочих частот, для которых не требуется лицензия, устойчивости к электромагнитным помехам и быстрому исчерпанию доступных ресурсов в радиочастотной области. В настоящее время атмосферная оптическая связь FSO (Free-Space Optical) среди оптических средств связи является новой развивающейся сферой исследований. Вследствие атмосферных эффектов, кана-

лы связи для оптических беспроводных систем представляют собой серьезную проблему.

Атмосферная оптическая связь быстро становится основной технологией, поскольку обеспечивает высокую скорость передачи данных в тех местах, где невозможна прокладка волоконно-оптического кабеля. Технология FSO важна для широкого круга применений вблизи земли, например, «от здания к зданию», «от воздушного шара до земли», и даже «от самолета до земли». Для систем FSO эффективность их работы сильно зависит от турбулентности атмосферы [1]. Однако технология кодо-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Liu, P.; Dat, P. T.; Wakamori, K.; Matsumoto, M. "A new scheme on time-diversity atmospheric OCDMA system over atmospheric turbulence channels," *Proc. of IEEE Globecom Workshop*, 6-10 Dec. 2010, Miami, FL, USA. IEEE, 2010, pp. 1020-1025. DOI: [10.1109/GLOCOMW.2010.5700088](https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2010.5700088).
2. Boudriga, N.; Abdallah, W.; Hamdi, M. "Physical layer cryptography in optical networks: A lattice-based approach," *Proc. of 12th Int. Conf. on Transparent Optical Networks*, 27 Jun.-1 Jul. 2010, Munich, Germany. IEEE, 2010, pp. 1-7. DOI: [10.1109/ICTON.2010.5549040](https://doi.org/10.1109/ICTON.2010.5549040).
3. Litvinenko, A.; Lboltins, A. "Selection and performance analysis of chaotic spreading sequences for DS-CDMA systems," *Proc. of Advances in Wireless and Optical Communications*, RTUWO, 3-4 Nov. 2016, Riga, Latvia. IEEE, 2016, pp. 38-45. DOI: [10.1109/RTUWO.2016.7821852](https://doi.org/10.1109/RTUWO.2016.7821852).
4. Yang, L.; Shou, G.; Qian, Z.; Hu, Y.; Miki, T. "OCDMA-WDM-PON with two-level chaotic logistic-map as spread spectrum sequence," *Proc. of Joint Conf.*

on OECC/ACOFT, 7-10 Jul. 2008, Sydney, Australia. IEEE, 2008, DOI: [10.1109/OECCACOFT.2008.4610530](https://doi.org/10.1109/OECCACOFT.2008.4610530).

5. Donati, S.; Rirasso, C. R. "Introduction to the feature section on optical chaos and applications to cryptography," *IEEE J. Quantum Electronics*, Vol. 38, No. 9, P. 1138-1140, 2002. DOI: [10.1109/JQE.2002.801951](https://doi.org/10.1109/JQE.2002.801951).

6. Ninos, M. P.; Nistazakis, H. E.; Tombras, G. S. "On the BER performance of FSO links with multiple receivers and spatial jitter over gamma-gamma or exponential turbulence channels," *Optik*, Vol. 138, P. 269-279, 2017. DOI: [10.1016/j.ijleo.2017.03.009](https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.03.009).

7. Ma, J.; Li, K.; Tan, L.; Yu, S.; Cao, Y. "Exact error rate analysis of free-space optical communications with spatial diversity over Gamma-Gamma atmospheric turbulence," *J. Modern Optics*, Vol. 63, No. 3, P. 252-260, 2016. DOI: [10.1080/09500340.2015.1075618](https://doi.org/10.1080/09500340.2015.1075618).

8. Bayaki, E.; Schober, R.; Mallik, R. K. "Performance analysis of MIMO free-space optical systems in gamma-gamma fading," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 57, No. 11, P. 3415-3424, 2009. DOI: [10.1109/TCOMM.2009.11.080168](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2009.11.080168).

9. Garcia-Zambrana, A. "Error rate performance for STBC in free-space optical communications through strong atmospheric turbulence," *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 11, No. 5, p. 390-392, 2007. DOI: [10.1109/LCOMM.2007.061980](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2007.061980).

10. Anbarasi, K.; Hemanth, C.; Sangeetha, R. G. "A review on channel models in free space optical communication systems," *Optics Laser Technol.*, Vol. 97, p. 161-171, 2017. DOI: [10.1016/j.optlastec.2017.06.018](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.06.018).

11. Park, J.; Lee, E.; Yoon, G. "Average bit-error rate of the Alamouti scheme in gamma-gamma fading channels," *IEEE Photonic Technol. Lett.*, Vol. 23, No. 4, p. 269-271, 2011. DOI: [10.1109/LPT.2010.2100815](https://doi.org/10.1109/LPT.2010.2100815).

12. Alamouti, S. M. "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Selected Areas Commun.*, Vol. 16, No. 8, p. 1451-1458, 1998. DOI: [10.1109/49.730453](https://doi.org/10.1109/49.730453).

13. Huang, T.; Wang, L.; Xu, W.; Chen, G. "A multi-carrier M-ary differential chaos shift keying system with low PAPR," *IEEE Access*, Vol. 5, p. 18793-18803, 2017. DOI: [10.1109/ACCESS.2017.2752238](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2752238).

14. Lawrance, A. J.; Ohama, G. "Exact calculation of bit error rates in communication systems with chaotic modulation," *IEEE Trans. Circuits Systems I: Fundamental Theory Appl.*, Vol. 50, No. 11, p. 1391-1400, 2003. DOI: [10.1109/TCSI.2003.818612](https://doi.org/10.1109/TCSI.2003.818612).

15. Kaddoum, G.; Lawrance, A. J.; Charge, P.; Roviras, D. "Chaos communication performance: Theory and computation," *Circuit Syst. Signal Processing*, Vol. 30, No. 1, p. 185-208, 2011. DOI: [10.1007/s00034-010-9217-1](https://doi.org/10.1007/s00034-010-9217-1).

16. Yi, X.; Yao, M.; Wang, X. "MIMO FSO communication using subcarrier intensity modulation over double generalized gamma fading," *Optics Commun.*, Vol. 382, p. 64-72, 2017. DOI: [10.1016/j.optcom.2016.07.064](https://doi.org/10.1016/j.optcom.2016.07.064).

17. Liu, X.-L.; En, D.; Wang, L.-G. "An optical CDMA system based on chaotic sequences," *Optoelectronics Lett.*, Vol. 10, No. 2, p. 126-128, 2014. DOI: [10.1007/s11801-014-3191-y](https://doi.org/10.1007/s11801-014-3191-y).

18. Chen, X.; Chen, D.; Wang, Z. "Performance improvement of bandwidth-limited coherent OCDMA system," *Photon. Netw. Commun.*, Vol. 16, No. 2, p. 149-154, 2008. DOI: [10.1007/s11107-008-0126-1](https://doi.org/10.1007/s11107-008-0126-1).

19. Liu, X.; Yu, C.; Xin, X.; Zhang, Q. "Generator of optical chaotic sequences," *Electronics Lett.*, Vol. 43, No. 21, p. 1159-1195, 2007. DOI: [10.1049/el:20071812](https://doi.org/10.1049/el:20071812).

20. Bayaki, E.; Schober, R.; Mallik, R. K. "Performance analysis of free-space optical systems in gamma-gamma fading," *Proc. of IEEE Global Telecommunication Conf.*, 30 Nov.-4 Dec. 2008, New Orleans, USA. IEEE, 2008, pp. 1-6. DOI: [10.1109/GLOCOM.2008.ECP.548](https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2008.ECP.548).

21. Feng, J.; Zhao, X. "Performance analysis of OOK-based FSO systems in Gamma-Gamma turbulence with imprecise channel models," *Optics Commun.*, Vol. 402, p. 340-348, 2017. DOI: [10.1016/j.optcom.2017.06.016](https://doi.org/10.1016/j.optcom.2017.06.016).

22. Lawrance, A. J.; Yao, J. "Likelihood-based demodulation in multi-user chaos shift keying communication," *Circuits Syst. Signal Process.*, Vol. 27, No. 6, p. 847-864, 2007. DOI: [10.1007/s00034-008-9063-6](https://doi.org/10.1007/s00034-008-9063-6).

23. Shinozuka, M.; Uchida, A.; Ogawa, T.; Yoshimori, S.; Kannari, F. "Chaotic on-off keying method in microchip lasers for secure communications," *Proc. of Conf. on Lasers and Electro-Optics*, 15-19 Jul. 2001, Chiba, Japan. IEEE, 2001, Vol. 2, pp. II-390-II-391, DOI: [10.1109/CLEOPR.2001.970998](https://doi.org/10.1109/CLEOPR.2001.970998).

24. Abdulameer, L. F.; Sripathi, U.; Kulkarni, M. "CSK based STBC-CDMA system: design and performance evaluation," *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences*, Vol. 24, No. 1, p. 13-29, 2017. URI: <https://www.jaaru.org/index.php/auisseng/article/view/21>.

25. Kaddoum, G.; Roviras, D.; Charge, P.; Fournier-Prunaret, D. "Robust synchronization for asynchronous multi-user chaos-based DS-CDMA," *Signal Process.*, Vol. 89, No. 5, p. 807-818, 2009. DOI: [10.1016/j.sigpro.2008.10.023](https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2008.10.023).

26. Premaratne, M.; Zheng, F.-C. "Orthogonal space-time block codes for free-space IM/DD optical links," *Electronics Lett.*, Vol. 43, No. 15, p. 822-823, 2007. DOI: [10.1049/el:20073712](https://doi.org/10.1049/el:20073712).

Поступила в редакцию 29.10.2017

После переработки 23.09.2018