

УДК

КАУШИК Р., ХАНДЕЛВАЛ В., ДЖЕЙН Р. С.

ВЛИЯНИЕ УСРЕДНЕНИЯ АПЕРТУРЫ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗНЕСЕНИЯ ПРИЕМА НА ЕМКОСТЬ КАНАЛА В ОПТИЧЕСКИХ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ЛОГАРИФМИЧЕСКИ НОРМАЛЬНЫМ КАНАЛОМ*Институт информационных технологий им. Джэйти,
Индия, Ноода, Уттар-Прадеш*

Аннотация. В статье рассмотрена работа беспроводной телекоммуникационной системы с логарифмически нормальным каналом при использовании усреднения апертуры и разнесенного приема. Выполнена оценка средней пропускной способности (емкость канала) такой системы с помощью простых выражений с хорошей аппроксимацией. Исследуется и сравнивается качественное улучшение емкости канала при использовании технологий уменьшения турбулентности (усреднение апертуры, технология разнесенного приема) и разнесенного приема (суммирование дифференциально-взвешенных сигналов каждого канала и линейное суммирование сигналов равной мощности). Установлено, что усреднение апертуры дает существенное улучшение производительности по сравнению с обоими типами разнесенного приема вне зависимости от конкретного значения силы турбулентности. Независимо от силы турбулентности главное улучшение емкости канала достигается применением массива (сети) направленных детекторов приемника. Полученные выражения согласуются с результатами, полученными с помощью моделирования методом Монте-Карло.

Ключевые слова: оптическая беспроводная связь; средняя емкость канала; усреднение апертуры; разнесенный прием; логарифмически нормальное распределение

ВВЕДЕНИЕ

С ростом требований к пропускной способности каналов становится ясно, что используемые в настоящее время радиочастотные технологии доступа, такие как проводные технологии на медных/коаксиальных кабелях и сотовые микроволновые технологии, не могут удовлетворить возрастающие требования к емкости канала. Такие приложения как видеотелефония, мобильное телевидение и видеоигры требуют большой пропускной способности каналов, что в свою очередь требует альтернативных решений для организации доступа в таких сетях.

Сети, построенные на оптоволоконных линиях, уже стали популярными, но установка таких систем достаточно дорога и трудозатратна. Оптические беспроводные сети OWC (optical wireless communication) или оптика свободного пространства FSO (free space optics) рассматриваются как перспективные решения для удовлетворения всевозрастающих требований к увеличению скорости передачи данных и для преодоления «бутылочного горлышка» последней мили в сетях доступа с разнообразными приложениями (линии связи на короткие расстояния и линии связи «последней мили»). Они также включают в себя внешние линии связи между зданиями и кос-

DOI: [10.20535/S0021347016120013](https://doi.org/10.20535/S0021347016120013)

© Каушик Р., Ханделвал В., Джейн Р. С., 2016

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Khalighi M. A.* Survey on free space optical communication: A communication theory perspective / Mohammad A. Khalighi, Murat Uysal // IEEE Commun. Surveys Tutorials. — 2014. — Vol. 16, No. 4. — P. 2231–2258. — DOI : [10.1109/COMST.2014.2329501](https://doi.org/10.1109/COMST.2014.2329501).
2. *Zhu X.* Free-space optical communication through atmospheric turbulence channels / Xiaoming Zhu, J. M. Kahn // IEEE Trans. Commun. — Aug. 2002. — Vol. 50, No. 8. — P. 1293–1300. — DOI : [10.1109/TCOMM.2002.800829](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2002.800829).
3. *Andrews L. C.* Laser Beam Propagation through Random Media / Larry C. Andrews, Ronald L. Phillips. — SPIE Press, 1998. — ISBN : 9780819459480.

4. Majumdar A. K. Advanced Free Space Optics (FSO): A Systems Approach / Arun K. Majumdar. — New York : Springer-Verlag, 2015. — ISBN : 9781493909179. — DOI : [10.1007/978-1-4939-0918-6](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0918-6).
5. Churnside J. H. Aperture averaging of optical scintillations in the turbulent atmosphere / James H. Churnside // Appl. Optics. — 1991. — Vol. 30, No. 15. — P. 1982–1994. — DOI : [10.1364/AO.30.001982](https://doi.org/10.1364/AO.30.001982).
6. Aperture-averaging effects for weak scintillations / Gerald E. Homstad, John W. Strohbehn, Roger H. Berger, J. M. Heneghan // JOSA A. — 1974. — Vol. 64, No. 2. — P. 162–165. — DOI : [10.1364/JOSA.64.000162](https://doi.org/10.1364/JOSA.64.000162).
7. Navidpour S. M. BER performance of free-space optical transmission with spatial diversity / S. Mohammad Navidpour, Mural Uysal, Mohsen Kavehrad // IEEE Trans. Wireless Commun. — Aug. 2007. — Vol. 6, No. 8. — P. 2813–2819. — DOI : [10.1109/TWC.2007.06109](https://doi.org/10.1109/TWC.2007.06109).
8. Shannon capacities and error-correction codes for optical atmospheric turbulent channels / Jaime A. Anguita, Ivan B. Djordjevic, Mark A. Neifeld, Bane V. Vasic // J. Optical Networking. — 2005. — Vol. 4, No. 9. — P. 586–601. — DOI : [10.1364/JON.4.000586](https://doi.org/10.1364/JON.4.000586).
9. Average capacity of optical wireless communication systems over atmospheric turbulence channels / Hector E. Nistazakis, Evangelia A. Karagianni, Andreas D. Tsigopoulos, Michael E. Fafalios, George S. Tombras // J. Lightwave Technol. — Apr. 2009. — Vol. 27, No. 8. — P. 974–979. — DOI : [10.1109/JLT.2008.2005039](https://doi.org/10.1109/JLT.2008.2005039).
10. Haas S. M. Capacity of wireless optical communications / S. M. Haas, J. H. Shapiro // IEEE J. Sel. Areas Commun. — Oct. 2003. — Vol. 21, No. 8. — P. 1346–1357. — DOI : [10.1109/JSAC.2003.816618](https://doi.org/10.1109/JSAC.2003.816618).
11. Fading reduction by aperture averaging and spatial diversity in optical wireless systems / Mohammad-Ali Khalighi, Noah Schwartz, Naziha Aitamer, Salah Bourennane // J. Optical Commun. Networking. — 2009. — Vol. 1, No. 6. — P. 580–593. — DOI : [10.1364/JOCN.1.000580](https://doi.org/10.1364/JOCN.1.000580).
12. Lee E. J. Part 1: Optical communication over the clear turbulent atmospheric channel using diversity / E. J. Lee, V. W. S. Chan // J. Sel. Areas Commun. — Nov. 2004. — Vol. 22, No. 9. — P. 1896–1906. — DOI : [10.1109/JSAC.2004.835751](https://doi.org/10.1109/JSAC.2004.835751).
13. Ibrahim M. M. Performance analysis of optical receivers with space diversity reception / M. M. Ibrahim, A. M. Ibrahim // IEE Proc. Commun. — Dec. 1996. — Vol. 143, No. 6. — P. 369–372. — DOI : [10.1049/ip-com:19960885](https://doi.org/10.1049/ip-com:19960885).
14. Diversity techniques for a free-space optical communication system in correlated log-normal channels / Mohamed Abaza, Raed Mesleh, Ali Mansour, El-Hadi M. Aggoune // Opt. Eng. — Jan. 2014. — Vol. 53, No. 1. — P. 016102. — DOI : [10.1117/1.OE.53.1.016102](https://doi.org/10.1117/1.OE.53.1.016102).
15. Free-space optical communication employing subcarrier modulation and spatial diversity in atmospheric turbulence channel / W. O. Popoola, Z. Ghassemlooy, J. I. H. Allen, E. Leitgeb, S. Gao // IET Optoelectronics. — Feb. 2008. — Vol. 2, No. 1. — P. 16–23. — DOI : [10.1049/iet-opt:20070030](https://doi.org/10.1049/iet-opt:20070030).
16. Goldsmith A. Wireless Communication / Andrea Goldsmith. — Cambridge University Press, 2005. — ISBN : 9780521837163.
17. Rosenblueth E. Point estimates for probability moments / Emilio Rosenblueth // Proc. NAS. — 1975. — Vol. 72, No. 10. — P. 3812–3814. — DOI : [10.1073/pnas.72.10.3812](https://doi.org/10.1073/pnas.72.10.3812).
18. Karmeshu. On the applicability of average channel capacity in log-normal fading environment / Karmeshu, Vineet Khandelwal // Wireless Personal Commun. — Feb. 2013. — Vol. 68, No. 4. — P. 1393–1402. — DOI : [10.1007/s11277-012-0529-2](https://doi.org/10.1007/s11277-012-0529-2).
19. Holtzman J. M. A simple, accurate method to calculate spread-spectrum multiple-access error probabilities / J. M. Holtzman // IEEE Trans. Commun. — Mar. 1992. — Vol. 40, No. 3. — P. 461–464. — DOI : [10.1109/26.135712](https://doi.org/10.1109/26.135712).
20. Laourine A. Estimating the ergodic capacity of log-normal channels / A. Laourine, A. Stephenne, S. Affes // IEEE Commun. Lett. — Jul. 2007. — Vol. 11, No. 7. — P. 568–570. — DOI : [10.1109/LCOMM.2007.070302](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2007.070302).
21. Optical Wireless Products. — URL : <http://www.fsona.com/products.php>.

Поступила в редакцию 14.08.2015 После переработки 04.04.2016