УДК 621.372

Г.С. ВАСИЛЬЕВ, Д.И. СУРЖИК, О.Р. КУЗИЧКИН
G.S. VASILYEV, D.I. SURZHIK, OR. KUZICHKIN

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ MXMC-СИСТЕМ^! СВЯЗИ С УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ КАНАЛОМ

PERFORMANCE ANALYSIS OF MIMO COMMUNICATION SYSTEM WITH UV CHANNEL

Выполнен анализ производительности MIMO-системы ультрафиолетовой связи в режиме отсутствия прямой видимости (non-line-of-sight, NLOS). Рассчитан достижимый коэффициент битовых ошибок при использовании трех способов пространственного мультиплексирования для различных значений битрейта, азимутального отклонения между диаграммами направленности оптического передатчика и оптического приемника, различных уровнях шума.

Ключевые слова: ультрафиолетовая связь, УФ-С, NLOS, MIMO, самоорганизующаяся сеть.

Performance analysis of multiple input, multiple output (MIMO) UV communication system in non-line-of-sight (NLOS) mode was performed. The achievable bit error rate was calculated using three spatial multiplexing methods for different bitrate values, azimuthal deviation between the optical transmitter and optical receiver directivity diagrams, and different noise levels.

Keywords: UV communication, UV-C, NLOS, MIMO, ad-hoc network.

Введение

Системы связи солнечно-слепого ультрафиолетового диапазона UV-C от 200 до 280 нм обеспечивают возможность связи при отсутствии прямой видимости (non line-of-sight, NLOS) за счет сильного рассеяния УФ излучения в атмосфере, в том числе при наличии высоких препятствий между передатчиком и приемником, когда традиционная радиосвязь неэффективна [1-4]. Одним из способов повышения производительности систем УФ-С связи является использование технологии multiple input, multiple output (MIMO) [5, 6]. Кроме того, применение массива передатчиков и массива приемников, ориентированных в различных направлениях, позволяет обеспечить связь при перемещениях и поворотах узлов связи, что характерно для мобильной самоорганизующейся сети с УФ-С каналом [7-9]. Для применения технологии MIMO в реальных системах УФ связи необходимо выполнить анализ характеристик производительности системы в различных условиях функционирования, определяемых состоянием канала и выбранным режимом передачи.

Основная часть

Рассчитанные энергетические характеристики MIMO-системы связи с абстрактным каналом для трех способов пространственного мультиплексирования с N=2 каналами передатчика и *M*=2 каналами приемника показаны на рис. 1. Детектирование на приемной стороне осуществляется на основе одного из трех критериев: 1) максимума правдоподобия (Maximum-Likelihood, ML); 2) подавления нелинейной интерференции на основе минимизации усредненной мощности интерференции на приеме (Zero-Forcing Successive Interference Cancellation, ZF-SIC); 3) подавления нелинейной интерференции на основе минимизации среднеквадратической ошибки оценивания (Minimum-Mean-Square-Error SIC, MMSE-SIC). Для анализа системы связи с реальным УФ-С каналом необходимо определить зависимость отношения сигнал - шум (SNR) от параметров канала.

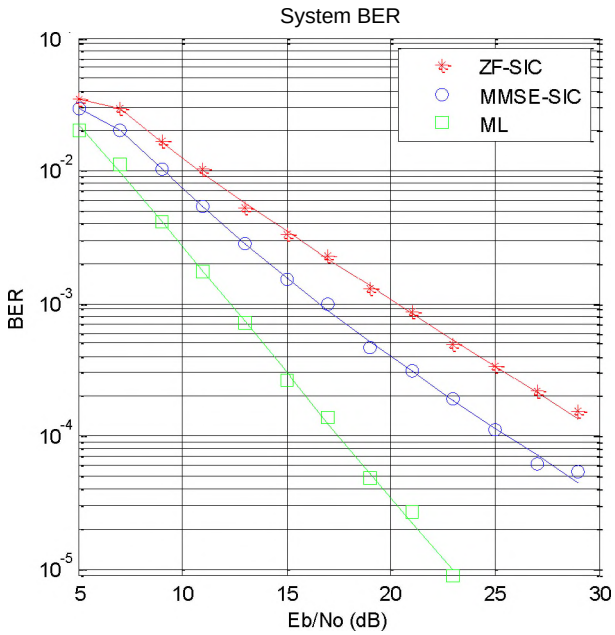

Рисунок 1 - Энергетические характеристики системы MIMO для трех способов пространственного мультиплексирования

Отношение сигнал-шум (SNR) УФ канала определяется как отношение числа продетектированных сигнальных фотонов к числу шумовых фотонов. Число сигнальных фотонов зависит от мощности и битовой скорости передачи, потерь в канале связи, апертуры и квантовой эффективности приемника. Типичные частоты детектирования шумовых фотонов при малом, среднем и высоком уровне шума составляют около 1000; 5000; 15000 Гц соответственно (при использовании качественного солнечно-слепого фильтра и фотоэлектронного умножителя с апертурой 1,92 см) [10].

Рассчитанные энергетические характеристики MIMO-системы УФ связи показаны на рисунках 2-4. Моделирование величины потерь в УФ канале выполнено на базе метода Монте-Карло. Были приняты следующие значения параметров УФ канала: дальность связи r =100 м, углы возвышения передатчика и приемника $в_1$ =30^0 и $в_2$ =30^0, ширины диаграмм направленности передатчика и приемника $ф_1$ =10^0 и $ф_2$ =30^0, длина волны излучения /1=260 нм, коэффициенты рассеяния и поглощения для ясной погоды, площадь апертуры приемника ^$_r$=1,92 см^2). Также принято Pm= 50 мВт, SNR = 10 дБ, R = 100 кбит/с.

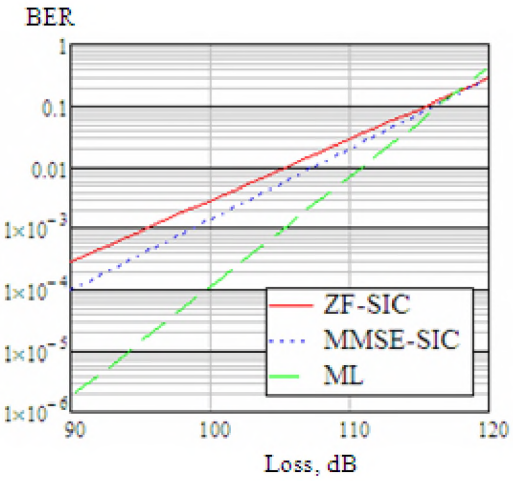

Рисунок 2 - Зависимости BER от потерь для различных видов пространственного мультиплексирования при высоком уровне шума

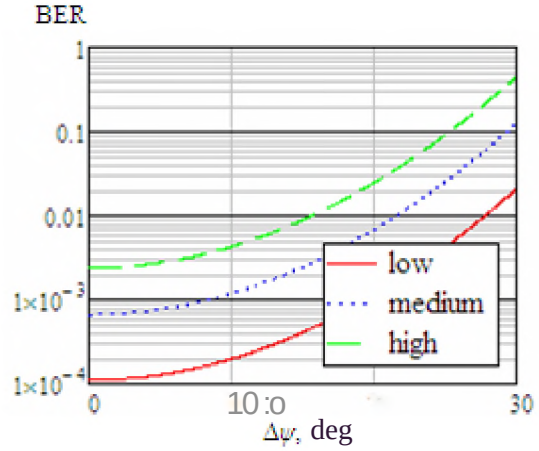

Рисунок 3 - Зависимости BER от азимутального отклонения для MMSE-SIC при различных уровнях шума

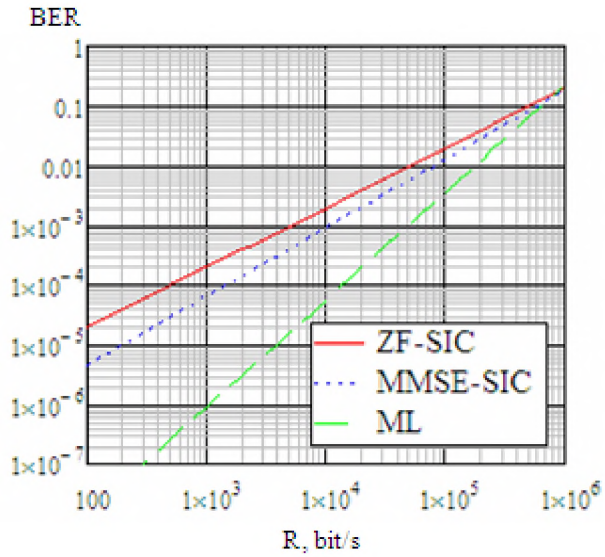

Рисунок 4 - Зависимости BER от битрейта для различных видов пространственного кодирования при высоком уровне шума

Заключение

Способ мультиплексирования на основе критерия максимума правдоподобия (ML) обеспечивает наименьший коэффициент битовых ошибок (BER) при прочих равных условиях, но обладает наибольшими вычислительными затратами. Поэтому в реальных системах может быть целесообразно использование метода MMSE-SIC с лучшими характеристиками, чем ZF-SIC, но с меньшими вычислительными затратами, чем ML. Сильная зависимость BER от азимутального отклонения между диаграммами направленности оптического передатчика и оптического приемника A^ (рисунок 3) определяет необходимость использования качественной системы наведения. Проведенные исследования позволяют определять характеристики производительности MIMO-системы УФ связи в различных условиях функционирования (при изменении состояния канала, режима передачи, поворотах или перемещениях узлов связи).

Благодарности

The work was supported by грант Президента РФ МК-2159.2020.8 «Моделирование и экспериментальное исследование беспроводной мобильной самоорганизующейся сети ультрафиолетовой связи».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xu Z. and Sadler B. Ultraviolet communications: potential and state-of-the-art IEEE Commun. Mag.4667-73, 2009.
2. Han D., Liu Y., Zhang K., et al. Theoretical and experimental research on diversity reception technology in NLOS UV communication system [J]. Optics express, 2012, 20(14): 15833-15842.
3. Guo Q., He N., He Z. Research on the channel performances and transmission in UV-LED scatter communications [J]. Study On Optical Communications, 2013 (3): 64-66.
4. Chen G., Liao L., Li Z., et al. Experimental and simulated evaluation of long distance NLOS UV communication [C] // Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSND-SP), 2014 9th International Symposium on. IEEE, 2014: 904-909.
5. M.A. El-Shimy and S. Hranilovic, «Spatial-diversity imaging receivers for Non-Line-of-Sight Solar-Blind UV communications», Journal of Lightwave Technology, vol. 33, no. 11, pp. 2246-2255, 2015.
6. Shaw G., Nischan M., Iyengar M., Kaushik S. and Griffin M. NLOS UV communication for distributed sensor systems Proc. SPIE 412683-96, 2000.
7. I.S. Konstantinov, G.S. Vasyliev, O.R. Kuzichkin, D.I. Surzhik, I.A. Kurilov, S.A. Lazarev. AUV Link Mobile Ad-Hoc Network Examination, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249-8958, Volume 8, Issue 5S July 2019, DOI: 10.35940/ijeat.E1063.0785S319.
8. I.S. Konstantinov, G.S. Vasilyev, O.R. Kuzichkin, I.A. Kurilov, S.A. Lazarev. Modeling and Analysis of the Characteristics of Ultraviolet Channels under Different Conditions of Radiation Propagation for the Organization of Wireless AD-HOC Network // JARDCS - Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems - 2018. - 07-Special Issue, pp. 1853-1859. http: //j ardcs .org/abstract.php?archiveid=5147.
9. I.S. Konstantinov, G.S. Vasyliev, O.R. Kuzichkin, D.I. Surzhik, I.A. Kurilov, S.A. Lazarev. Development Of UV Communication Channels Characteristics Modeling Algorithm In A Mobile Ad-Hoc Network / Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems (JARDCS) / ISSN: 1943-023X / Volume 11 | 08-Special Issue, 2019. Pages: 1920-1928. http://www.jardcs.org/abstract.php?id=2543.
10. Chen G., F. Abou-Galala, Z. Xu and B.M. Sadler. «Experimental evaluation of LED-based solar blind NLOS communication links», Optics Express, vol. 16, no. 19, pp. 15059-15068, Sep. 2008.

Васильев Глеб Сергеевич
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., с.н.с. инжинирингового центра
Тел.: 8(915) 751-66-47
E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Суржик Дмитрий Игоревич
Владимирский государственный университет, г. Владимир
К.т.н., доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах»
E-mail: arzerum@mail.ru

Кузичкин Олег Рудольфович
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Д.т.н., профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: Kuzichkin@bsu.edu.ru