УДК 621.372

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МОБИЛЬНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ

MODELING OF UV COMMUNICATION CHANNELS FOR THE ORGANIZATION OF A MOBILE AD-HOC NETWORK

Обсуждаются проблемы моделирования ультрафиолетовых каналов связи для организации мобильной самоорганизующейся сети (Mobile Ad-Hoc Network, MANET). Выполнено моделирование потерь распространения излучения в оптическом ультрафиолетовом канале для одноканального и многоканального режима связи.

Ключевые слова: оптическая ультрафиолетовая связь, мобильная самоорганизующаяся сеть (Mobile Ad-Hoc Network, MANET), MIMO, метод Монте-Карло.

The problems of modeling UV communication channels for the organization of a mobile ad-hoc network (MANET) are discussed. The simulation of radiation propagation losses in the optical ultraviolet channel for single-channel and multi-channel communication modes is performed.

Keywords: optical ultraviolet communication; Mobile Ad-Hoc Network; MANET; MIMO; Monte Carlo method.

Введение

В настоящее время особую актуальность приобретает разработка и применение систем беспроводной оптической связи в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне спектра. Важным достоинством УФ канала является возможность обеспечения надежной связи, защищенной от преднамеренного подавления и перехвата, в условиях отсутствия прямой видимости между передатчиком и приемником. Для создания эффективных средств оптической УФ связи необходимы разработка и анализ математических моделей УФ канала. Многие известные численные и аналитические модели УФ каналов не учитывают особенности геометрии канала, актуальные для мобильной самоорганизующейся сети связи (Mobile Ad-Hoc Network, MANET): изменение азимутов передатчиков и приемника при поворотах узлов связи, режим связи с различным числом передатчиков и приемников, и пр. [1, 2].

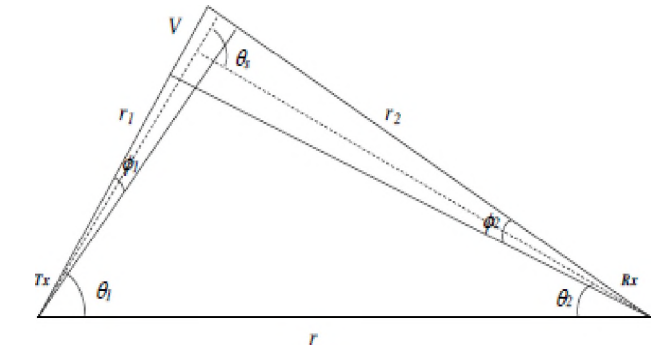
Основная часть

Стандартная геометрия модели УФ канала в режиме отсутствия прямой видимости (NLOS UV) с одним передатчиком и одним приемником, используемая в большом числе работ [2-4 и многие другие], приведена на рисунке 1.

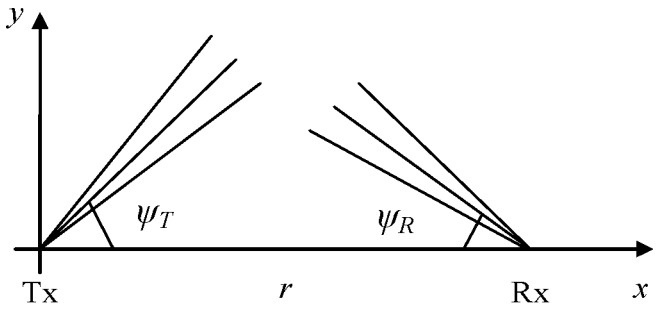
На рисунке 1 показана вертикальная проекция канала и обозначено: Tx - передатчик, Rx - приемник, *r* - расстояние между Tx и Rx, $0i,_2$ и $\wedge i,_2$ - угол места и ширина ДН, индекс 1 относится к передатчику, индекс 2 - к приемнику, *6s* - угол рассеяния, *V* - общий объем диаграмм направленности Tx и Rx, r_{12} - расстояние от *Tx* и *Rx* до центра области *V*.

Перемещение и повороты узлов связи сети MANET требуют задавать в модели соответствующие пространственные и угловые параметры, адекватные реальным узлам. Для обеспечения связи с узлами в различных направлениях требуется варьировать азимуты Tx и Rx. Для повышения информационной емкости каналов целесообразно использовать дополнительную степень свободы пространственного разделения - различие углов места (возвышения) между отдельными Tx и отдельными Rx. Пространственные ориентации решеток передатчиков Tx и приемников Rx задаются следующими угловыми параметрами: угол возвышения и азимут центра решетки, размах диаграммы

направленности (ДН) по углу возвышения и по азимуту, сдвиг по азимуту между рядами передатчиков (приемников) [5, 6].



а)



б)

Рисунок 1 - Вертикальная (а) и горизонтальная (б) проекция УФ канала в режиме отсутствия прямой видимости (NLOS UV) с одним передатчиком и одним приемником

Следует отметить, что моделирование УФ каналов встречает многочисленные трудности: сложный характер угловой функции рассеяния фотонов, наличие многократного рассеяния, сложный характер влияния погодных условий на уровень шума и другие характеристики канала и др. Данные проблемы определяют необходимость использования для анализа УФ каналов наряду с аналитическими моделями [3] метод статистического моделирования Монте-Карло [7, 8].

Предлагаемый алгоритм моделирования потерь в канале основан на работе [1]. Параметры УФ канала связи определяются свойствами рассеяния УФ излучения. Вероятность рассеяния фотона в заданном направлении определяется фазовой (угловой) функцией рассеяния. Фазовая функция является взвешенной суммой фазовых функций молекулярного рассеяния Рэлея и аэрозольного рассеяния Ми [1-2]. Испускание фотонов передатчиком моделируется случайными числами с распределением вероятности, определяемой формой ДН излучающего элемента. При наличии нескольких передатчиков дополнительная дискретная случайная величина с равномерным распределением задает номер передатчика, который испускает каждый конкретный фотон. Для моделирования начальных траекторий фотонов, излучаемых передатчиками с различными углами места *вт* и азимутами ^*m*, выполняется преобразование координат, описываемое произведением двух матриц поворота в трехмерном пространстве:

$$M = M. \quad \frac{-в_т}{2} \quad \bullet Mz\,(W_t\,),\ {}_{My}(a) = \begin{vmatrix} \wedge \cos a\ 0 & \sin a \wedge \\ 0\ 1 & 0 \\ y\text{-}\sin a\ 0 & \cos a \end{vmatrix}, {}_{Mz}(a) = \begin{vmatrix} \wedge \cos a & -\sin a & 0\ \wedge \\ \sin a & \cos a & 0 \\ V\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Аналогично выполняется преобразование координат для приемников с различными углами места e_R и азимутами ^r.

В результате моделирования методом Монте-Карло (МС) получены зависимости потерь (Path loss) от различных параметров канала (дальности связи Range и азимута приемника ^$_2$) для длины волны 260 нм (рисунок 2). Были приняты следующие значения параметров УФ канала: дальность связи r =100 м, углы возвышения передатчика и приемника $в_1$ =30^{0}и $в_2$ =50^0, ширины ДН передатчика и приемника $ф_1$=17^0 и ф$_2$ =30^0, длина волны излучения >1=260 нм, коэффициенты рассеяния и поглощения для ясной погоды, площадь апертуры приемника A$_r$=1,77 см^2.

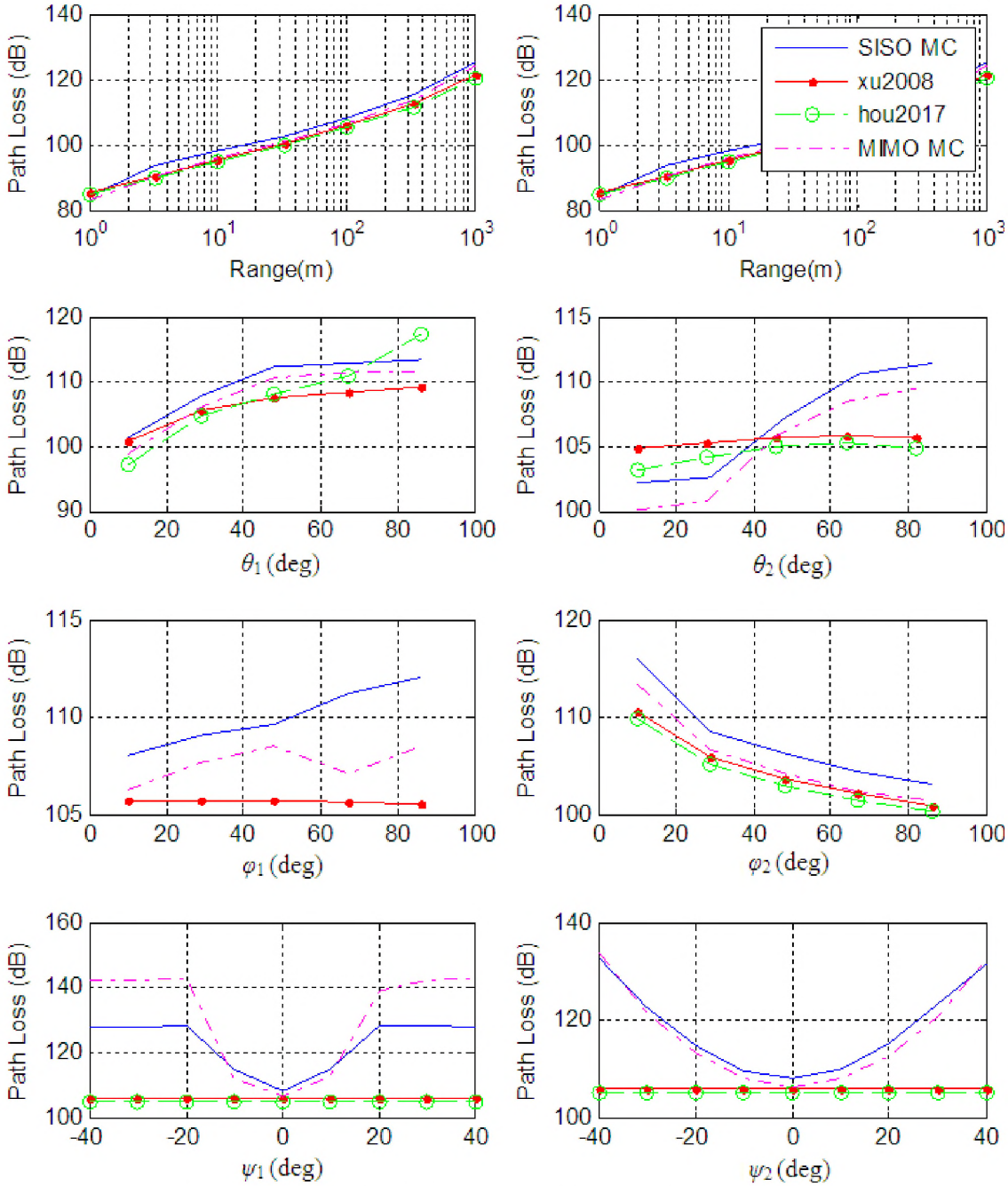


Рисунок 2 – Потери УФ излучения с длиной волны 260 нм

Для проверки корректности предложенного подхода приведены зависимости хи2008 и hou2017, рассчитанные на основе известных аналитических моделей [2] и [4]. Малое различие зависимостей SISO (одноканальный режим single input, single output) и MIMO (многоканальный режим, multiple input, multiple output) объясняется тем, что для MIMO использовалась модель плоских решеток однонаправленных передатчиков Tx и

приемников Rx, так что характеристики каналов между отдельными Tx и отдельными Rx идентичны друг другу и характеристикам канала SISO. Аналитические модели (xu2008 и hou2017) не учитывают различие азимутов, поэтому зависимости от $^{\wedge}_{2}$ по данным моделям являются прямыми линиями.

Предложенный подход позволяет задавать комбинации с различным числом передатчиков и приемников УФ излучения, повышает достоверность моделирования мобильной самоорганизующейся сети связи MANET с УФ каналом, характеризующейся пространственными перемещениями узлов связи.

Благодарности

Работа выполнена по гранту Президента РФ МК-2159.2020.8 «Моделирование и экспериментальное исследование беспроводной мобильной самоорганизующейся сети ультрафиолетовой связи».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ding H., Chen G., Majumdar A., Sadler B. and Xu Z. Modeling of non-line-of-sight ultraviolet scattering channels for communication IEEE J. Sel. Areas Commun. 271535-44, 2009.
2. Xu Z., Ding H., Sadler B.M. and Chen G. «Analytical performance study of solar blind non-line-of-sight ultraviolet short-range communication links», Optics Letters, vol. 33, no. 16, pp. 1860-1862, Aug. 2008.
3. Luettgen M.R., Shapiro J.H. and Reilly D.M. Non-line-of-sight single-scatter propagation model. J. Opt. Soc. Am. A81964-72, 1991.
4. Hou W., Liu C., Lu F., Kang J., Mao Z., Li B. Non-line-of-sight ultraviolet single-scatter path loss model. - Phonon Network Communications, Oct 05, 2017. - DOI 10.1007/s11107-017-0737-5.
5. 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.
6. 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.
7. Drost R.J., Moore T.J. and Sadler B.M. Monte-Carlo-based multiple-scattering channel modeling for non-line-of-sight ultraviolet communications Proc. SPIE8038803802, 2011.
8. Yin H., Chang S., Jia H., Yang J., and Yang J., «Non-line-of-sight multiscatter propagation model», J. Opt. Soc. Am. 26 (11), 2466-2469 (2009).

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

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