УДК 621.391

ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОТКРЫТОЙ ЛАЗЕРНОЙ АТМОСФЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ЗВЕЗДООБРАЗНОЙ СТРУКТУРЫ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ

OPTIMIZATION OF THE OPEN LASER ATMOSPHERIC INFORMATION TRANSMISSION SYSTEM OF A STAR-SHAPED STRUCTURE, CONSIDERING EXTERNAL INFLUENCING FACTORS

Мамедов Афлатун Масим оглы
преподаватель,
Азербайджанский государственный экономический университет
aflatunmasimoglu@mail.ru

Алиева Хумар Сабир кызы
кандидат технических наук, доцент,
главный научный сотрудник,
Национальное Аэрокосмическое Агентство
a.khumar.1962@gmail.com

Самедов Фарид Рамиз оглы
научный сотрудник,
Национальное Аэрокосмическое Агентство
farid.samedov@hotmail.com

Mammadov Aflatun Masim oglu
Teacher,
Azerbaijan State University of Economics
aflatunmasimoglu@mail.ru

Aliyeva Khumar Sabir gizi
Ph. D., Associate Professor,
Chief Researcher,
National Aerospace Agency
a.khumar.1962@gmail.com

Samadov Farid Ramiz oglu
Research Associate,
National Aerospace Agency
farid.samedov@hotmail.com

Аннотация. Рассматривается случай, когда периферийные приемные узлы находятся на различных дистанциях, что приводит к появлению некоторого множества линейных размеров оптического луча лазера (т.е. диаметра луча) на входах разно удаленных приемников. Решение сформированной оптимизационной задачи достижения максимальной величины суммы сигналов на входах периферийных приемных станций позволило синтезировать оптимальную взаимосвязь между диаметром лазерного луча и размером диафрагмы на входах приемных станций при наличии некоторого технологического ограничения на суммарный показатель диафрагм, применяемых в звездообразной сети.

Ключевые слова: лазерные атмосферные системы, звездообразная структура, мощность сигнала, оптимизация, условно-непрерывная модель.

Annotation. The paper considers the case when the peripheral receiving nodes are located at different distances, which leads to the appearance of a set of linear dimensions of the laser's optical beam (i.e., the beam diameter) at the inputs of the differently remote receivers. The solution of the formulated optimization problem of achieving the maximum value of the sum of signals at the inputs of the peripheral receiving stations allowed for the synthesis of an optimal relationship between the laser beam diameter and the aperture size at the inputs of the receiving stations, given a certain technological constraint on the total aperture size used in the star-shaped network.

Keywords: laser atmospheric systems, star-shaped structure, signal power, optimization, conditional-continuous model.

Введение

Открытые лазерные атмосферные системы оптической передачи информации (далее FSO системы (Free Space Optics) могут иметь как линейную структуру (состоящую от одного передатчика и одного приемника) так и звездообразную структуру, состоящую из одного передатчика и нескольких приемников, расположенных в периферии, на различных расстояниях от передатчика. Следует отметить, что вопросам качества линейных структур, в плане оценки влияния внешних воздействующих факторов посвящена обширная литература. Так, например, проведены значительные исследования по оценке влияния таких внешних факторов, как плодные условия [1, 2], в частности влияния пыли [3], дождя [4, 5], влияние внешней освещенности [6, 7, 8] и других, так называемых атмосферных факторов (турбулентность, сцинтилляция, рефракция) [9].

В общем случае мощность сигнала принимаемой на приемной стороне, согласно [9] может быть определена как

$$P_{пр} = P_0 - A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5, \quad (1)$$

где P_0 – оптическая мощность излучаемого лазера; A_1 – потери мощности в оптических узлах передатчика (линзы); A_2 – потери мощности при распространении луча в идеальных атмосферных

условиях; A_3 – потери мощности из-за таких атмосферных факторов как турбулентность и рассеяние; A_4 – потери мощности из-за метеофакторов (дождь, пыль, туман); A_5 – потери в оптических узлах приемника.

Влияние вышеуказанных факторов на мощность принимаемого сигнала в виде диаграммы приведена на рисунке 1.

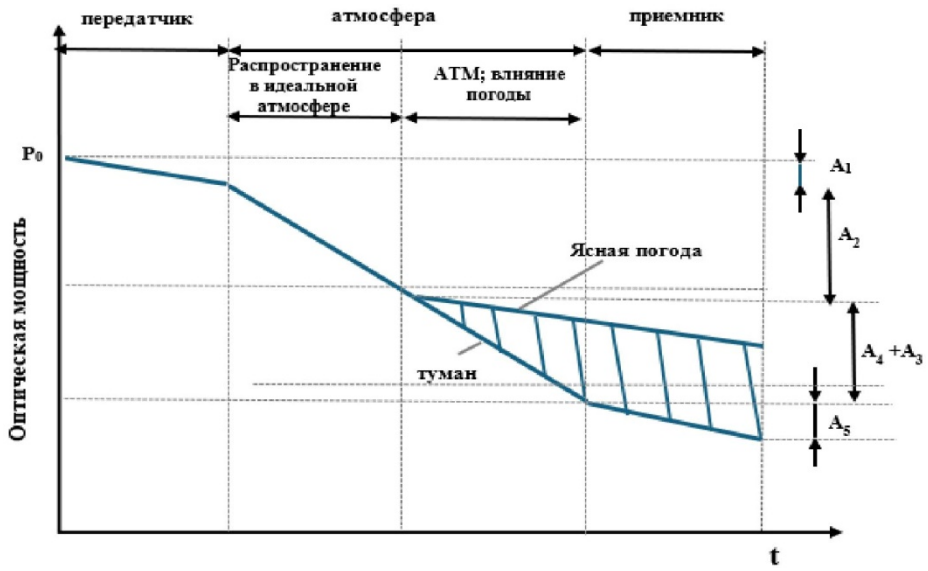

Рисунок 1 – Диаграмма потерь мощности при распространении оптического сигнала от передатчика к приемнику (В диаграмме осуществлена идеализация; в фазе «распространение» принято отсутствие влияния турбулентности и рассеяния)

Целью настоящего исследования является выявление условий, при которых суммарные потери мощности в FSO системах звездообразной структуры могли бы сведены к минимуму. Для решения указанного вопроса воспользуемся результатами, полученными в работе [9] применительно к линейной структуре (один передатчик + дин приемник) системы FSO.

Материалы и методы

В соответствии с работой [9] потери распространения мощности оптического сигнала в реальной линейной структуре FSO определяется как

$$A_2(D, L) = 20\log\left[\frac{\sqrt{2}(W_0+L\theta)}{D}\right], \quad (2)$$

где W_0 – радиус исходного луча лазера; L – дистанция; Θ – половина угла дивергенции; D – диаметр диафрагмы (апертуры).

В случае W <<LD с учетом (1) и (2) имеем

$$M(L) = M + 20\log\left[\frac{\sqrt{2}(W_0+L\theta)}{D}\right], \quad (3)$$

где M(L) – суммарные потери мощности.

$$M_0 = A_1 + A_3 + A_4 + A_5. \quad (4)$$

Конкретно рассмотрим звездообразную структуру FSO (рис. 2).

Вместе с тем формула (3) предусматривает оценку потерь мощности оптического сигнала на входе приемника в децибелах, т. е. по нелинейной шкале и по этой причине развивать процедуру оптимизации на базе этой формулы нежелательно.

Как нам представляется оптимизация звездообразной открытой лазерной атмосферной системе прежде всего должна быть осуществлена в аспекте правильного выбора соотношения таких показателей как D_i и L_i $(i = 1, n)$ по периферийным направлениям сети, не прибегая к оценкам мощности в децибелах. Для этой цели наиболее пригодной формулой можно считать следующую формулу, приведенную в работе [9].

$$P(D, L) = P_0\left[1 - \exp\left(-\frac{D^2}{2W^2(L)}\right)\right], \quad (5)$$

где P(D, L) – величина мощности сигнала на входе приемника.

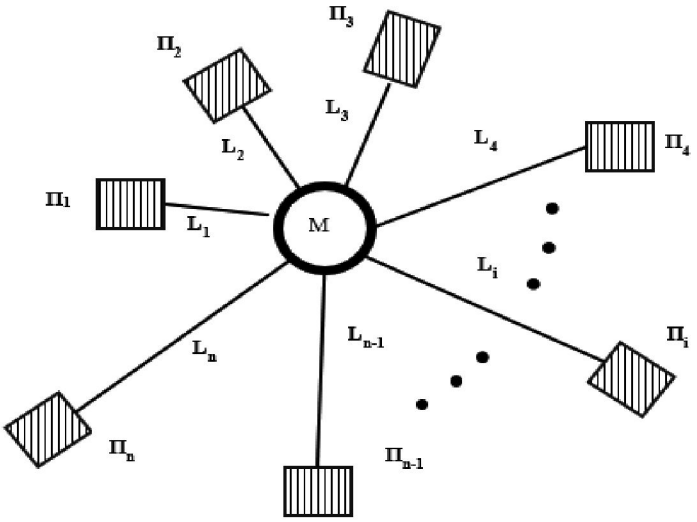

Рисунок 2 – Упорядоченная структура звездообразной FSO системы:
$П_i$ – i-й приемник; L_i – дистанция от центра до i-го приемника

Для удобства математической записи далее примем следующие обозначения:

$$\left.\begin{array}{r} D^2 = y \\ W^2(L) = x \end{array}\right\}. \tag{6}$$

Составим оптимизационную задачу определения условий достижения максимального суммарного сигнала на входах приемников сети. Введем на рассмотрение оптимизационную функцию

$$y = f(x). \tag{7}$$

В этом случае с учетом (6) и (7) выражение (5) приобретает вид

$$P(x, y) = P_0\left[1 - \exp\left(-\frac{f(x)}{2x}\right)\right]. \tag{8}$$

Приняв $n \to \infty$ условно *x* и *y* можно считать непрерывными величинами. Проинтегрировав выражение (8) в пределах $x_{min} - x_{max}$ получим

$$F_1 = \int_{x_{min}}^{x_{max}} P_0\left[1 - \exp\left(-\frac{f(x)}{2x}\right)\right] dx\,. \tag{9}$$

Далее с учетом наличия реального ограничения в виде

$$\sum_{i=1}^{n} y = C;\ C = const \tag{10}$$

для рассматриваемой условно непрерывной модели запишем

$$\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x)dx = C_1;\ C_1 = const. \tag{11}$$

Некоторые варианты геометрического представления функции f(x), удовлетворяющих условию (11) приведены на рисунке 3.

С учетом выражений (9) и (11) можно оптимизировать рассматриваемую условно-непрерывную модель звездообразной структуру сети и синтезировать относительный вид функции *f(x)*. С этой целью на базе выражений (9) и (11) составим следующий целевой функционал вариационной оптимизации F_2:

$$F_2 = \int_{x_{min}}^{x_{max}} P_0\left[1 - \exp\left(-\frac{f(x)}{2x}\right)\right] dx - \lambda\left[\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x)dx - C_1\right], \tag{12}$$

где λ – множитель Лагранжа; λ = const.

Согласно методу Эйлера, решение оптимизационной задачи (12) удовлетворяет условию

$$\frac{d\left\{\left[1-\exp\left(-\frac{f(x)}{2x}\right)\right]-\lambda f(x)\right\}}{df(x)} = 0. \tag{13}$$

Из условия (13) получаем

$$\frac{P_0}{2x}\exp\left(\frac{-f(x)}{2x}\right) - \lambda = 0. \tag{14}$$

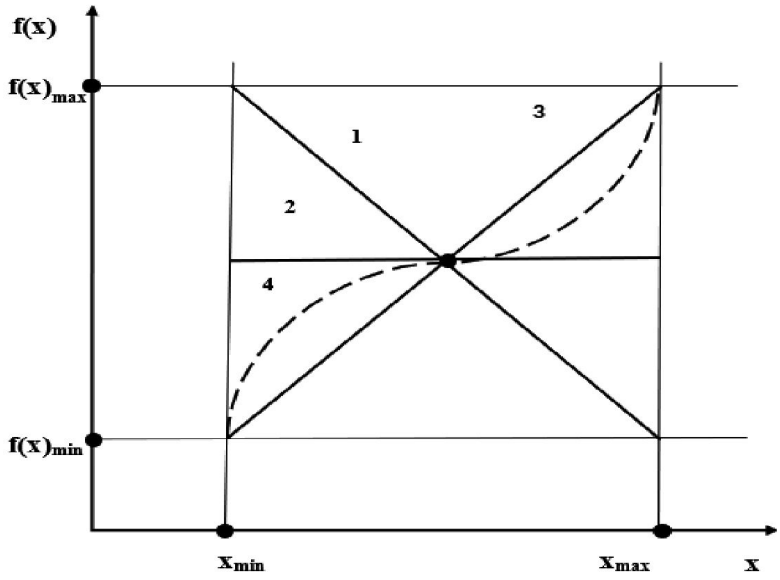

Рисунок 3 – Геометрические представления функции *f(x)* удовлетворяющие условию (11). Цифрами указаны: 1 – рост x приведет к уменьшению y; 2 – y не зависит от x; 3 – рост x приводит к увеличению y; 4 – возможная нелинейна зависимость, удовлетворяющая условию (11)

Из (13) находим

$$\exp\left(\frac{-f(x)}{2x}\right) = \frac{2\lambda x}{P_0} -= 0\,. \tag{15}$$

Логарифмируя (15), получим

$$\frac{f(x)}{2x} = \frac{\ln P_0}{2\lambda x} -= 0 \tag{16}$$

или

$$f(x) = 2x\frac{\ln P_0}{2\lambda x} -= 0. \tag{17}$$

Таким образом при сложном линейно-логарифмической зависимости y от x функционал F_2 достигает экстремума. При этом применив признак Лагранжа можно убедиться, что экстремум является максимумом.

Подводя итог проделанной процедуре оптимизации звездообразной сети открытой лазерной атмосферной связи, можно заключить, что максимальный суммарный сигнал на входах периферийных приемников следует ожидать при прямо пропорциональной, но не линейной связи между y и x (т.е. между D и W).

Обсуждение

Таким образом, рассмотрен общий баланс всех составляющих суммарных потерь мощности оптического сигнала в открытых лазерных атмосферных системах передачи информации.

Рассматривается случай, когда периферийные приемные узлы находятся на различных дистанциях, что приводит к появлению некоторого множества линейных размеров оптического луча лазера (т. е. диаметра луча) на входах разно удаленных приемников. Вместе с тем допускается, что в таких приемниках могут быть использованы диафрагмы различных размеров, сумма которых подлежит некоторому технологическому ограничению. Таким образом появляется возможность формирования и решения задачи синтеза оптимальной взаимосвязи между указанными переменными при которой может появиться максимум суммы входных сигналов на входах периферийных приемников.

Заключение и выводы

1. Проанализирована теоретическая база для формирования оптимизационных задач применительно к рассматриваемой звездообразной структуре открытой оптической лазерной атмосферной связи.

2. Решение сформированной оптимизационной задачи достижения максимальной величины суммы сигналов на входах периферийных приемных станций позволило синтезировать оптимальную взаимосвязь между диаметром лазерного луча и размером диафрагмы на входах приемных станций при наличии некоторого технологического ограничения на суммарный показатель диафрагм, применяемых в звездообразной сети.

Список литературы / List of references:

1. Alexander Vavoulas, Harilaos G. Sandalidis, and Dimitris Varoutas. Weather Effects on FSO Network Connectivity // Journal of Optical Communications and Networking. – 2012. – № 4(10). – P. 734–740. – DOI: 10.1364/JOCN.4.000734
2. Affreen Aijaz, Abita Narwal. Performance Analysis of FSO Link Under Extreme Weather Conditions. International // Journal of Engineering Applied Sciences and Technology. – 2022. – № 7(3). – P. 207–211. – DOI: 10.33564/IJEAST.2022.v07i03.032
3. Esmail Maged Abdullah, Fathallah Habib, Alouini Mohamed-Slim. Effect of dust storms on FSO communications links // 2016 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT). – DOI: 10.1109/CEIT.2016.7929046
4. Investigation on Heavy Precipitation Effects over FSO Link / M.F. Talib, A.K. Rahman, M.S. Anuar [et al.] // MATEC Web of Conferences. 97, 01113 (2017). ETIC 2016. – DOI: 10.1051/ matecconf/2017 9701113
5. Performance Enhancement of FSO Communication System Under Rainy Weather Environment Using a Novel Encryption Technique / Somia A. ABD El-Mottaleb, Amira G.G. Mohamed, Hassan Yousif Ahmed [et al.] // IEEE Access. – January 2024. – P. (99):1-1. – DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3357396
6. Background light environment for free-space optical terrestrial communication links / David Rollins, Jeff Baars, David Bajorins [et al.] // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. October 2002. – URL : https://doi.org/10.1117/12.455520
7. Faizan Shafi, Awanish Kumar, Rangaswamy Nakkeeran. Performance Analysis of Free Space Optical Networks Under External Limiting Factors // Results in Optics. – February 2024. – DOI: 10.1016/j.rio.2024.100615
8. Noor Th. Almalah. Evaluating Li-Fi System Performance in the Presence of External While Light Interference // Al-Iraqia Journal for Scientific Engineering Research. – № 3(3). – P. 105–116. – URL : https://doi.org/10.58564/IJSER.3.3.2024.228
9. Ales Prokes. Atmospheric effects on availability of free space optics systems // Optical Engineering. – June 2009. – Vol. 48. – Issue 6. – P. 066001. – URL : https://doi.org/10.1117/1.3155431