

<https://doi.org/10.51301/ce.2023.i4.05>

## Research of an optical wireless communication system for internal use

N.K. Smailov<sup>1\*</sup>, A.S. Shakir<sup>2</sup>, M.M. Baygulbaeva<sup>2</sup>, G.O. Kobieva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakhstan University of Innovative and Telecommunication Systems, Ural, Kazakhstan

\*Corresponding author: [akm-2020@mail.ru](mailto:akm-2020@mail.ru)

**Abstract.** Research into optical wireless communication systems for indoor use is focused on enhancing wireless communication capabilities in confined spaces such as offices and industrial facilities. This article examines the current state of the art in optical wireless communications, addresses challenges, and proposes solutions. Through a comprehensive literature review and original research, the study aims to improve understanding of the potential applications, limitations, and optimization strategies of indoor optical wireless communication systems.

**Keywords:** *quasi-passive optical wireless systems, indoor communication, optical wireless communication, LED technologies, photodetectors, high data transfer rates, indoor applications, integration with smart systems, signal alignment, interference with external light sources.*

### 1. Введение

Распространение технологий беспроводной связи изменило способы обмена информацией в различных средах. Во внутренних помещениях, таких как офисы, фабрики и склады, потребность в эффективной, безопасной и высокоскоростной связи привела к исследованию систем оптической беспроводной связи. В отличие от традиционных радиочастотных систем, оптическая беспроводная связь использует световые волны для передачи данных, предлагая такие преимущества, как более высокие скорости передачи данных, снижение помех и повышенная безопасность.

В этом введении представлен обзор мотивации исследования внутренних оптических систем беспроводной связи, подчеркивая необходимость улучшения связи в ограниченном пространстве. В разделе обсуждаются ограничения существующих беспроводных технологий во внутренних средах, такие как перегрузка радиочастот и электромагнитные помехи. Он также представляет концепцию оптической беспроводной связи как многообещающее решение для преодоления этих проблем.

Интеграция оптических систем беспроводной связи во внутренние помещения обещает такие преимущества, как увеличение пропускной способности, снижение задержек и повышение безопасности. Во введении рассматриваются ключевые компоненты оптической беспроводной связи, включая источники света, фотодетекторы и методы модуляции. Кроме того, в нем описываются потенциальные применения этой технологии в таких областях, как внутренняя навигация, умные офисы и Индустрия 4.0.

Поскольку введение закладывает основу для исследования, оно подчеркивает важность изучения текущего состояния оптической беспроводной связи для внутреннего использования. В последующих разделах мы углубимся в существующую литературу, выявим

проблемы, представим цель и задачи исследования, обсудим используемые учебные материалы и методы, представим результаты исследования, проанализируем результаты и сделаем вывод о последствиях и будущих направлениях [5].

#### 1.1. Обзор литературы и решение проблем

Обзор литературы по оптическим беспроводным системам связи для внутреннего использования раскрывает существующие знания и проблемы в этой развивающейся области. Традиционные системы беспроводной связи, преимущественно основанные на радиочастотах, сталкиваются с ограничениями в переполненных помещениях из-за помех и ограниченной полосы пропускания. Оптическая беспроводная связь, использующая световые волны, представляет собой многообещающую альтернативу.

Исследования подчеркивают потенциальные преимущества оптической беспроводной связи, включая более высокую скорость передачи данных, меньшую задержку и устойчивость к электромагнитным помехам. Однако такие проблемы, как требования к прямой видимости, восприимчивость к атмосферным условиям и затухание сигнала, создают препятствия для его широкого внедрения. Исследователи решили эти проблемы посредством достижений в методах модуляции, формирования луча и адаптивной оптики [5].

Различные схемы модуляции, включая модуляцию интенсивности, частотную модуляцию и фазовую модуляцию, были исследованы для повышения устойчивости и надежности оптических систем беспроводной связи. Исследователи предложили такие решения, как адаптивное формирование луча, которое динамически регулирует направление передаваемых лучей для поддержания связи в динамичных внутренних средах.

Кроме того, в литературе описано применение оптической связи камер (ОСС) для связи внутри помещений с

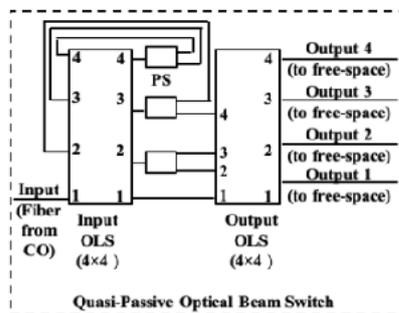
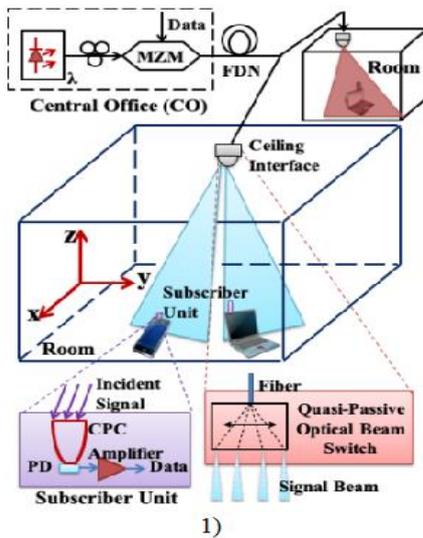
использованием существующих камер в качестве приемников. Этот инновационный подход открывает новые возможности для плавной интеграции в существующие инфраструктуры [2].

Для решения проблемы ослабления сигнала в исследованиях было изучено использование методов усиления и оптических реле. Исследователи изучают потенциал гибридных систем, сочетающих оптическую и радиочастотную связь для достижения оптимальной производительности в различных сценариях.

Хотя литература указывает на значительный прогресс в этой области, проблемы сохраняются. В обзоре подчеркивается важность постоянных исследований для преодоления препятствий и раскрытия всего потенциала оптической беспроводной связи для внутреннего использования.

*Квазипассивная внутренняя система OWC.*

Архитектура предлагаемой квазипассивной внутренней системы OWC показана на рисунке 1. Централизованная архитектура используется, когда несколько помещений соединены с одним и тем же центральным офисом (CO) через существующую внутри здания FDN [7].



- OLS: optical latching switch
- MZM: Mach-Zehnder modulator
- CPC: compound parabolic concentrator
- FDN: fiber distribution network
- PD: photo-detector
- PS: power splitter

2)

Рисунок 1. 1) Архитектура предлагаемой квазипассивной внутренней системы OWC; 2) Структура квазипассивного оптического переключателя луча

Внутри каждой комнаты установлен потолочный интерфейс, который испускает оптические лучи в зависимости от положения пользователей. После того, как сигнал распространяется в свободном пространстве, он собирается и обнаруживается приемником, который состоит из оптического концентратора и фотодетектора (ФД).

На рисунке 1(2) изображена структура предлагаемого квазипассивного оптического переключателя луча. В этой системе используются оптические фиксирующие переключатели (ОЛС) с механизмом самофиксации [10]. Механизм самофиксации не требует постоянного энергопотребления для удержания определенного состояния и может быть переключен с помощью коротких импульсов. Представленный квазипассивный оптический переключатель луча представляет собой устройство 1×4, включающее входное волокно, подключенное к СО (центральному офису), два ОЛС (для входа и выхода), делители мощности с коэффициентом потерь 3 дБ и четыре выходных волоконных интерфейса для направления луча в свободное пространство. Входной ОЛС и делители мощности 3 дБ генерируют регулируемое распределение мощности. Например, распределение мощности  $(P_0, 0, 0, 0)$ , где  $P_0$  — мощность входного сигнала, может быть сгенерировано путем подключения входного порта 1 к выходному порту 1. Когда входной порт 1 подключен к выходу 2, благодаря делителю мощности 3 дБ можно генерировать распределение мощности  $(\frac{1}{2} * P_0, \frac{1}{2} * P_0, 0, 0)$ . Аналогично,  $(\frac{1}{2} * P_0, \frac{1}{4} * P_0, \frac{1}{4} * P_0, 0)$  и  $(\frac{1}{2} * P_0, \frac{1}{4} * P_0, \frac{1}{4} * P_0, \frac{1}{4} * P_0)$  также могут быть сгенерированы путем объединения входной ОЛС и делители мощности 3 дБ. Затем выходной ОЛС выполняет функцию пространственной маршрутизации, направляя генерируемые оптические сигналы к различным выходам, ориентированным в разных направлениях свободного пространства. Благодаря самофиксирующемуся механизму, энергопотребление в установившемся режиме отсутствует, когда управление лучом не требуется. В отличие от аналоговых МЭМС-зеркал, которые обеспечивают непрерывное управление лучом, предлагаемый квазипассивный переключатель луча представляет собой цифровую схему, которая направляет сигнальный луч по дискретным направлениям распространения в свободном пространстве. Поскольку луч сигнала может охватывать определенную область, непрерывное управление лучом аналоговыми зеркалами MEMS не является обязательным, а цифровое управление лучом может удовлетворить требования передачи данных, при этом обеспечивая дополнительное преимущество в виде низкого энергопотребления.

Одним из ключевых преимуществ квазипассивного оптического переключателя луча является поддержка как однопользовательского, так и многопользовательского доступа. Для однопользовательского доступа входной ОЛС настроен на состояние прямого прохождения для генерации  $(P_0, 0, 0, 0)$  распределения мощности. Направление распространения в свободном пространстве выбирается выходным ОЛС в соответствии с местоположением пользователя. Когда пользователь перемещается внутри зоны покрытия луча, ОЛС сохраняют свое состояние без потребления энергии. Потребление энергии необходимо только тогда, когда пользователь выходит из зоны покрытия и требуется другое направление распро-

странения в свободном пространстве, что достигается путем перенастройки выходного OLS. В этом письме, поскольку мы фокусируемся на квазипассивном переключателе оптического луча, мы предполагаем, что местоположение пользователя определяется ранее изученной внутренней системой локализации, такой как метод на основе Wi-Fi [8]. Предполагается, что обратная связь о местоположении пользователя с квазипассивным переключателем также является частью системы локализации, что также было продемонстрировано в предыдущих исследованиях [7,8].

Квазипассивный оптический переключатель луча также поддерживает многопользовательский доступ. Когда несколько пользователей могут быть охвачены одним и тем же лучом, можно использовать описанную выше конфигурацию, и пользователи разделяют пропускную способность канала с помощью мультиплексирования с временным разделением (TDM) или кодирования временных интервалов (TSC) [11]. Когда несколько пользователей должны быть охвачены несколькими лучами сигнала, входной OLS можно настроить для направления входного сигнала на делители мощности 3 дБ (т. е. от входного порта 1 к выходному порту 2, 3 или 4) для генерации нескольких сигналов, которые затем переключаются выходным OLS на требуемые направления свободного пространства в зависимости от местоположения пользователей. С помощью переключателя 1×4 можно генерировать различные распределения мощности, и их можно гибко выбирать в зависимости от количества необходимых лучей сигнала. Распределение мощности также может выбираться динамически в зависимости от потребностей пользователей в скорости, при этом более высокие мощности выделяются высокоскоростным пользователям. Таким образом, можно обеспечить высокоскоростную OWC для нескольких пользователей в разных местах. Поскольку предлагаемая система предназначена для использования в личных помещениях, ожидается, что количество пользователей будет низким или умеренным. Таким образом, по-прежнему могут быть достигнуты широкая полоса пропускания и высокая скорость связи на одного пользователя [6].

## 1.2. Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является проведение комплексного исследования систем оптической беспроводной связи для внутреннего использования с упором на решение существующих проблем и оптимизацию производительности. Задачи исследования сформулированы следующим образом:

Обзор и обобщение литературы. Проведите углубленный обзор существующей литературы, чтобы понять текущее состояние систем оптической беспроводной связи, выделив достижения, проблемы и потенциальные решения.

Выявление ключевых проблем. Выявление и анализ ключевых проблем, связанных с оптической беспроводной связью во внутренних средах, включая требования к прямой видимости, затухание сигнала и восприимчивость к факторам окружающей среды.

Стратегии оптимизации. Предложите и оцените стратегии оптимизации для повышения производительности оптических систем беспроводной связи с учетом

таких факторов, как методы модуляции, адаптивное формирование луча и подходы гибридной связи.

Приложения и варианты использования. Изучите потенциальные приложения и варианты использования внутренних оптических систем беспроводной связи, включая умные офисы, внутреннюю навигацию и приложения Индустрии 4.0.

Обучение и распространение: разрабатывать образовательные материалы и методы для распространения знаний об оптических системах беспроводной связи, способствуя пониманию и экспертному опыту среди исследователей, инженеров и практиков.

Экспериментальная проверка: Проведите экспериментальную проверку для оценки осуществимости и практичности предлагаемых стратегий оптимизации в реальных внутренних условиях.

Показатели производительности. Определите и оцените показатели производительности для оптических систем беспроводной связи с учетом таких факторов, как скорость передачи данных, задержка, надежность и энергоэффективность.

Достигая этих целей, данное исследование призвано внести вклад в развитие систем оптической беспроводной связи для внутреннего использования, предоставляя ценную информацию, решения и практические рекомендации для исследователей, специалистов отрасли и политиков [2,3].

## 2. Материалы и методы

Учебные материалы и методы, использованные в этом исследовании, охватывают междисциплинарный подход, интегрируя теоретические знания, инструменты моделирования и практические эксперименты. В исследовании используется существующая литература, исследовательские работы и технические документы для создания теоретической основы для понимания принципов и проблем оптической беспроводной связи.

Инструменты моделирования, такие как OptiSystem и MATLAB, используются для моделирования и моделирования сценариев оптической беспроводной связи. Это позволяет исследователям оценить влияние различных параметров, таких как схемы модуляции и условия окружающей среды, на производительность системы в контролируемой виртуальной среде.

Экспериментальная проверка является важнейшим компонентом исследования, включающим разработку и внедрение прототипов оптических систем беспроводной связи в реальных помещениях. Практические эксперименты помогают подтвердить теоретические выводы, оценить осуществимость предлагаемых стратегий оптимизации и дать представление о практических проблемах развертывания.

Исследование включает в себя практический опыт обучения, семинары и учебные занятия для распространения знаний и навыков, связанных с оптической беспроводной связью. Образовательные материалы, включая конспекты лекций, учебные пособия и онлайн-ресурсы, разрабатываются для облегчения понимания между студентами, исследователями и профессионалами отрасли [8].

Кроме того, для создания атмосферы сотрудничества и поощрения обмена идеями и опытом использу-

ются методы совместного обучения, такие как групповые проекты и отраслевое партнерство. Учебные материалы и методы направлены на устранение разрыва между теоретическими концепциями и практической реализацией, вооружая людей навыками, необходимыми для внесения вклада в развитие систем оптической беспроводной связи.

### 3. Результаты и обсуждение

Результаты исследования, полученные в результате этого исследования, дают ценную информацию об оптимизации систем оптической беспроводной связи для внутреннего использования. Благодаря обширному обзору литературы, выявлению ключевых проблем и экспериментам исследование позволило получить важные результаты:

*Стратегии оптимизации.* В исследовании предлагаются и оцениваются различные стратегии оптимизации, включая передовые методы модуляции и адаптивное формирование диаграммы направленности, для повышения устойчивости и надежности оптических систем беспроводной связи. Результаты указывают на улучшение производительности с точки зрения скорости передачи данных, задержки и надежности [1,4].

*Гибридные коммуникационные подходы.* Исследование гибридных коммуникационных подходов, сочетающих оптическую и радиочастотную связь, демонстрирует потенциальные преимущества в смягчении таких проблем, как затухание сигнала и повышение устойчивости системы в динамичных внутренних средах [2].

*Приложения и варианты использования:* В исследовании рассматриваются практические применения и варианты использования внутренних оптических систем беспроводной связи. Результаты подчеркивают возможность внедрения таких систем в «умных» офисах, системах внутренней навигации и приложениях «Индустрии 4.0», открывая новые возможности для расширения возможностей подключения.

*Показатели производительности.* Показатели производительности, включая скорость передачи данных, задержку, надежность и энергоэффективность, определяются и оцениваются для оценки эффективности стратегий оптимизации и информирования о будущих направлениях исследований.

В целом, результаты исследований способствуют совершенствованию систем оптической беспроводной связи для внутреннего использования, предоставляя ценную информацию, решения и рекомендации для оптимизации производительности и решения практических задач в реальных условиях.

#### 3.1. Анализ результатов исследования

Анализ результатов исследования выявил несколько ключевых идей и последствий для проектирования, развертывания и оптимизации систем оптической беспроводной связи для внутреннего использования:

*Стратегии оптимизации.* Эффективность передовых методов модуляции и адаптивного формирования луча в повышении производительности системы подчеркивает важность непрерывных исследований и инноваций в оптимизации оптических систем беспроводной связи.

*Гибридные коммуникационные подходы.* Исследование гибридных коммуникационных подходов под-

черкивает потенциальную синергию между оптическими и радиочастотными технологиями, обеспечивая повышенную гибкость и устойчивость в сценариях связи внутри помещений.

*Приложения и варианты использования.* Определение практических приложений и вариантов использования демонстрирует разнообразные возможности для внедрения внутренних оптических систем беспроводной связи в различных областях, включая «умные офисы», внутреннюю навигацию и приложения «Индустрия 4.0» [10].

*Показатели производительности.* Определение и оценка показателей производительности обеспечивают ценные ориентиры для оценки эффективности и ответственности стратегий оптимизации, направляя будущие исследования и разработки.

В целом, анализ результатов исследования подчеркивает важность междисциплинарного сотрудничества и непрерывных инноваций в продвижении систем оптической беспроводной связи для внутреннего использования. Решая ключевые проблемы и исследуя новые возможности, исследователи могут раскрыть весь потенциал технологии оптической беспроводной связи в преобразовании возможностей подключения в ограниченных пространствах [9].

### 4. Выводы

В заключение отметим, что исследования оптических систем беспроводной связи для внутреннего использования представляют собой важнейшую область исследований, которые имеют значительные последствия для различных регионов, включая телекоммуникации, промышленность и интеллектуальную инфраструктуру. Благодаря углубленному изучению существующих проблем и стратегий оптимизации, в этом исследовании содержится ценная информация и решения для повышения производительности и надежности внутренних оптических систем беспроводной связи.

Используя передовые методы модуляции, адаптивное формирование луча и гибридные подходы к связи, исследователи могут преодолеть такие препятствия, как затухание сигнала и помехи от окружающей среды, открывая путь к беспрепятственному подключению в помещениях. Практические применения и варианты использования демонстрируют разнообразные возможности внедрения систем оптической беспроводной связи в «умных» офисах, внутренней навигации и приложениях «Индустрии 4.0».

Интеграция показателей производительности позволяет отслеживать и отслеживать стратегии, направляя будущие исследования и разработки в этой быстро развивающейся области. Кроме того, междисциплинарное сотрудничество и распространение знаний играют решающую роль в стимулировании инноваций и опыта среди исследователей, специалистов в этой области и политиков.

Подводя итог, можно сказать, что исследования оптических систем беспроводной связи для внутреннего использования обладают огромным потенциалом для революционного изменения возможностей подключения в ограниченном пространстве, повышения эффективности, производительности и инноваций в различ-

ных секторах. Поскольку технологии продолжают развиваться, непрерывные исследования и инновации будут иметь важное значение для раскрытия всех возможностей оптических систем беспроводной связи и реализации концепции бесшовного подключения в помещениях.

## References / Литература

- [1] Mashkov, V.S. & Nikolaev, A.V. (2019). *Besprovodnye opticheskie seti svyazi: uchebnoe posobie. Izdatel'stvo Tvorchestvo*
- [2] Zajcev, V.N., Kirichek, N.A. & Fadeev, A.N. (2018). *Tehnologii opticheskoj svyazi. SPbGJeTU «LJeTI», 4(37)*
- [3] Ghassemlooy, Z., Popoola, W., Radzhabhandari, S. (2012). *Opticheskaja besprovodnaja svjaz': modelirovanie sistem i kanalov s pomoshh'ju MATLAB (1-e izd.). Boka-Raton, Florida: CRC Press, Inc*
- [4] Chi, Y. & Li, C. (2017). Visible light communications for 5G wireless networking systems: From fixed to mobile communications. *IEEE Network*, 31(6), 98-104
- [5] Khan, M.I. & Jaleel, F. (2020). A Comprehensive Survey of Visible Light Communication Systems. *IEEE Access*, (8), 157383-157405
- [6] Hrustalev, D.A., Popov, A.S. & Krjukov, V.V. (2016). Opticheskie besprovodnye seti svyazi v informacionnyh sistemah: uchebnoe posobie. *Izdatel'skij dom Severo-Kavkazskij federal'nyj universitet*
- [7] Ramadan, O.M., Elgala, H. & Haas, H. (2016). Indoor Optical Wireless Communication: A New Approach for High-Speed Internet Connectivity. *IEEE Communications Magazine*, 54(2), 72-78
- [8] Miramirkhani, F. & Vucic, J. (2021). Optical Camera Communication for Indoor Applications: System Design, Channel Models, and Performance Analysis. *IEEE Transactions on Communications*, 69(2), 1195-1208
- [9] Jungnickel, V., Fischer, S. & Langer, K. D. (2019). Visible light communication—Standardization, opportunities and challenges. *Computer Communications*, (146), 24-38
- [10] Khalid, A.M., Cossu, G., Corsini, R., Choudhury, P. & Ciaramella, E. (2015). LED-based indoor visible light communications: State of the art. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(3), 1649-1678
- [11] Kachris, C., Tsokanos, A., Polyzos, G.C. & Kokkinos, P. (2016). Optical Wireless Communication Networks: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1), 759-784
- [12] Geng, Y., Yu, C. & Chen, H. (2017). Indoor Optical Wireless Communications: System Performance and Applications. *IET*
- [13] White, I.H. (2017). *Optical and Wireless Convergence for 5G Networks. Springer*

## Ішкі пайдалануға арналған оптикалық сымсыз байланыс жүйесін зерттеу

Н.К. Смайлов<sup>1\*</sup>, А.Ш. Шакир<sup>2</sup>, М.М. Байгулбаева<sup>2</sup>, Г.О. Көбиева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Қазақстанның инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан

\*Корреспонденция үшін автор: [akm-2020@mail.ru](mailto:akm-2020@mail.ru)

**Андатпа.** Ішкі пайдалануға арналған оптикалық сымсыз байланыс жүйелерін зерттеу кеңселер мен өнеркәсіптік нысандар сияқты шектеулі кеңістіктерде сымсыз байланыс мүмкіндіктерін жақсартуға бағытталған. Бұл мақала оптикалық сымсыз байланыстың қазіргі жағдайын зерттейді, қиындықтарды қарастырады және шешімдерді ұсынады. Әдебиетті жан-жақты шолу және түпнұсқалық зерттеулер арқылы зерттеу ішкі оптикалық сымсыз байланыс жүйелерінің әлеуетті қолданбаларын, шектеулерін және оңтайландыру стратегияларын түсінуді жақсартуға бағытталған.

**Негізгі сөздер:** квазипассивті оптикалық сымсыз жүйелер, ішкі байланыс, оптикалық сымсыз байланыс, LED технологиялары, фотодетекторлар, жоғары деректер жылдамдығы, үй ішінде қолдану, ақылды жүйелермен интеграция, сигналдарды туралау, сыртқы жарық көздерімен интерференция.

## Исследование системы оптической беспроводной связи для внутреннего использования

Н.К. Смайлов<sup>1\*</sup>, А.Ш. Шакир<sup>2</sup>, М.М. Байгулбаева<sup>2</sup>, Г.О. Көбиева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, Уральск, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [akm-2020@mail.ru](mailto:akm-2020@mail.ru)

**Аннотация.** Исследования оптических систем беспроводной связи для внутреннего использования сосредоточены на расширении возможностей беспроводной связи в ограниченных пространствах, таких как офисы и промышленные объекты. В этой статье исследуется современное состояние оптической беспроводной связи, рассматриваются проблемы и предлагаются решения. Благодаря всестороннему обзору литературы и оригинальным исследованиям исследование направлено на улучшение понимания потенциальных применений, ограничений и стратегий оптимизации внутренних оптических систем беспроводной связи.

**Ключевые слова:** квазипассивные оптические беспроводные системы, внутрипомещенная связь, оптическая беспроводная связь, LED технологии, фотодетекторы, высокие скорости передачи данных, применения внутри помещений, интеграция с умными системами, выравнивание сигналов, интерференция с внешними источниками света.

Received: 28 September 2023

Accepted: 15 December 2023

Available online: 31 December 2023