

ORIGINAL ARTICLE

Design of an Optical Intelligent Reflecting Surface-Based Visible Light Communication System Supporting a Large-Scale Indoor Applications

Hamed Alizadeh Ghazijahani^{1*}, Mohammad Mofarreh²

1 Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

2 Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran.

Correspondence

Hamed Alizadeh Ghazijahani
Email: hag@azaruniv.ac.ir

How to cite

Alizadeh Ghazijahani, H. Mofarreh, M. (2026). Design of an Optical Intelligent Reflecting Surface-Based Visible Light Communication System Supporting a Large-Scale Indoor Applications, Optoelectronic, 8(3), 49-56.

ABSTRACT

This paper proposes a novel design of a visible light communication (VLC) system enhanced by an optical intelligent reflecting surface (OIRS) to support large-scale indoor applications. The system leverages the programmable reflectivity of the optical IRS to optimize light propagation, thereby improving signal coverage and quality across expansive indoor environments. A detailed system model is formulated, incorporating the characteristics of VLC channels and the controllable properties of the optical IRS. Through mathematical analysis and extensive simulations, we demonstrate that the proposed system significantly enhances the signal-to-noise ratio (SNR) and extends coverage compared to conventional VLC systems. The findings validate the efficacy of the optical IRS-based VLC system as a robust solution for high-speed, reliable wireless communication in large indoor spaces such as warehouses, shopping malls, and conference centers.

KEYWORDS

Visible Light Communication (VLC), Optical Intelligent Reflecting Surface (OIRS), Optimization, Large-Scale Indoor.

فصلنامه علمی

اپتوالکترونیک

«مقاله پژوهشی»

طراحی یک سیستم ارتباطی نور مرئی مبتنی بر سطح بازتابنده هوشمند اپتیکی برای کاربردهای داخلی در مقیاس بزرگ

حامد علیزاده قاضی جهانی^{۱*}، محمد مفرح^۲

چکیده

این مقاله یک طرح جدید از یک سیستم ارتباط نور مرئی (VLC^۱) را ارائه می‌دهد که توسط یک سطح بازتابنده هوشمند نوری (OIRS^۲) برای پشتیبانی از کاربردهای داخلی در مقیاس بزرگ بهبود یافته است. این سیستم از بازتاب‌پذیری قابل برنامه‌ریزی OIRS نوری برای بهینه‌سازی انتشار نور استفاده می‌کند و در نتیجه پوشش و کیفیت سیگنال را در محیط‌های داخلی گسترده بهبود می‌بخشد. یک مدل دقیق از سیستم، شامل ویژگی‌های کانال VLC و خصوصیات کنترل‌پذیر OIRS توسعه داده شده است. از طریق تجزیه و تحلیل ریاضی و شبیه‌سازی‌های گسترده، نشان داده شده است که سیستم پیشنهادی به طور قابل توجهی نسبت سیگنال به نویز (SNR^۳) افزایش داده شده و پوشش بهتری در مقیاس با سیستم‌های VLC معمولی ارائه می‌دهد. نتایج به دست آمده، اثربخشی سیستم VLC مبتنی بر OIRS نوری را به عنوان یک راه حل قوی برای ارتباط بی‌سیم پرسرعت و قابل اعتماد در فضاهای داخلی بزرگ مانند انبارها، مراکز خرید و مراکز کنفرانس تأیید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی

مخابرات نور مرئی، سطح بازتابنده هوشمند اپتیکی، بهینه‌سازی، محیط داخلی مقیاس بزرگ.

۱ استادیار، گروه مهندسی برق، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.
۲ استادیار، گروه مهندسی برق، دانشگاه بناب، بناب، ایران.

نویسنده مسئول:

حامد علیزاده قاضی جهانی

رایانامه: hag@azaruniv.ac.ir

استناد به این مقاله:

حامد علیزاده قاضی جهانی، محمد مفرح (۱۴۰۵). طراحی یک سیستم ارتباطی نور مرئی مبتنی بر سطح بازتابنده هوشمند اپتیکی برای کاربردهای داخلی در مقیاس بزرگ.

فصلنامه علمی اپتوالکترونیک، ۸(۳)، ۴۹-۵۶

<https://jphys.journals.pnu.ac.ir>

1 Visible Light Communication

2 Optical Intelligent Reflecting Surface

3 Signal-to-Noise Ratio

مقدمه

ارتباطات نور مرئی (VLC^۱) به عنوان یک فناوری نوظهور برای ارتباطات بی سیم داخلی، توجه زیادی را به خود جلب کرده است و مزایایی مانند پهنای باند بالا، هزینه پیاده سازی پایین و ایمنی در برابر تداخل الکترومغناطیسی را ارائه می دهد [۱]. VLC با استفاده از دیودهای ساطع کننده نور (LED) برای روشنایی همزمان و انتقال داده به همراه مزیت صرفه جویی در مصرف انرژی به جایگزینی جذاب برای سیستم های فرکانس رادیویی (RF) سنتی تبدیل شده است. با این حال، استفاده از VLC در محیط های داخلی در مقیاس بزرگ مانند سالن های کنفرانس، مراکز خرید یا انبارهای صنعتی چالش هایی از جمله انسداد خط دید (LOS^۲)، اثرات چندمسیره و توزیع ناهموار نور را ایجاد می کند که کیفیت سیگنال را کاهش داده و پوشش را محدود می کند [۳-۴].

برای غلبه بر این محدودیت ها، این مقاله ادغام یک سطح بازتابنده هوشمند نوری (IRS^۳) را در سیستم های VLC معرفی می کند. یک IRS نوری (OIRS^۴) شامل یک متاسطح با عناصر بازتابنده متعدد است که هر کدام قادر به تنظیم پویای خواص بازتاب امواج نور تابشی هستند [۵]. با کنترل هوشمندانه این عناصر، OIRS می تواند انتشار نور را دستکاری کند تا قدرت سیگنال دریافتی را در مکان های مورد نظر افزایش دهد. این مفهوم از سطوح بازتابنده هوشمند در ارتباطات RF الهام گرفته شده است که پیشرفت های قابل توجهی در کارایی طیفی و پوشش نشان داده اند [۶-۸]. با این حال، تطبیق اصول IRS با VLC به دلیل ویژگی های انتشار متمایز نور مرئی، مانند اتکای آن به مدولاسیون شدت و تشخیص مستقیم (IM/DD^۵) به جای تشخیص منسجم، چالش ها و فرصت های منحصر به فردی را ایجاد می کند.

انگیزه این کار ناشی از تقاضای رو به رشد برای ارتباطات بی سیم پرسرعت و قابل اعتماد در فضاهای داخلی بزرگ است که در آن سیستم های سنتی VLC برای حفظ عملکرد خود با مشکل مواجه هستند. به عنوان مثال، در یک انبار با مساحت صدها متر مربع، مسیرهای LOS ممکن است توسط ماشین آلات یا قفسه بندی مسدود شوند و در نتیجه شکاف های پوشش ایجاد شود. به طور مشابه، در مراکز خرید، نیاز به پشتیبانی از کاربران متعدد در یک منطقه وسیع، راه حل های

نوآورانه ای فراتر از استقرار فرستنده های متعدد را ضروری می کند که هزینه و پیچیدگی را افزایش می دهد. سیستم OIRS با افزایش تحویل سیگنال از طریق بازتاب های کنترل شده، یک رویکرد مقرون به صرفه و مقیاس پذیر ارائه می دهد و به طور بالقوه تعداد فرستنده های مورد نیاز را کاهش می دهد و در عین حال کارایی کلی سیستم را بهبود می بخشد [۹].

هدف اصلی این مقاله، طراحی و ارزیابی یک سیستم VLC مبتنی بر OIRS است که برای کاربردهای داخلی در مقیاس بزرگ طراحی شده است. نوآوری ما در این مقاله سه جنبه دارد: (۱) یک مدل سیستم جامع توسعه داده شده است که تعامل بین کانال های VLC و OIRS را در بر می گیرد؛ (۲) یک چارچوب بهینه سازی برای پیکربندی IRS برای به حداکثر رساندن پوشش و کیفیت سیگنال پیشنهاد شده است و (۳) عملکرد سیستم از طریق شبیه سازی های گسترده اعتبارسنجی شده و نتایج کمی در مورد مزایای آن نسبت به سیستم های VLC سنتی ارائه شده است.

ادامه این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: بخش دوم مدل سیستم را ارائه می دهد؛ بخش سوم جزئیات روش طراحی و بهینه سازی را شرح می دهد؛ بخش چهارم نتایج شبیه سازی را بحث می کند و بخش پنجم با دید تحقیقاتی آینده، مقاله را نتیجه گیری می کند.

مدل سیستم

این بخش مدل سیستم برای سیستم VLC مبتنی بر IRS نوری پیشنهادی را شرح می دهد که برای کار در یک محیط داخلی در مقیاس بزرگ طراحی شده است. این مدل شامل فرستنده، OIRS، گیرنده ها و ویژگی های کانال مرتبط است.

محیط و فرستنده

محیط بررسی شده یک فضای داخلی مستطیلی با ابعاد $L \times W \times H$ (طول، عرض، ارتفاع) در نظر گرفته شده است که نشان دهنده یک کاربرد در مقیاس بزرگ مانند انبار یا سالن کنفرانس است. فرستنده LED واحد روی سقف در مختصات (x_t, y_t, H) نصب شده است و سیگنال های نوری مدوله شده با توان نوری P_t را منتشر می کند [۱۰]. LED از مدل شناخته شده لامبرتی با مرتبه $m = -\ln(2)$ $\ln(\cos \Phi_{1/2})$ تبعیت می کند که پارامتر $\Phi_{1/2}$ زاویه نصف توان است. بر این اساس شدت تابش LED در زوایای مختلف

1 Visible Light Communication

2 Line-of-Sight

3 Intelligent Reflecting Surface

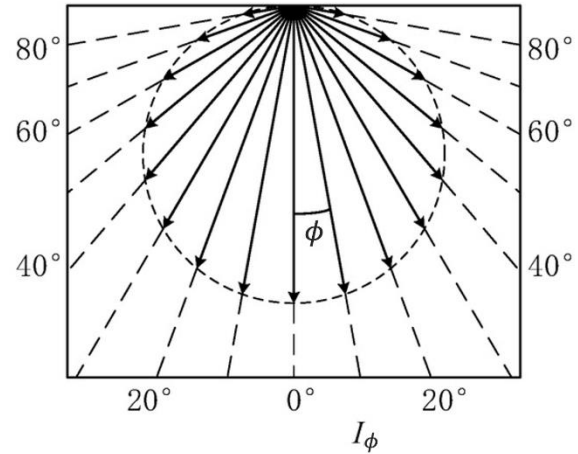
4 Optical Intelligent Reflecting Surface

5 Intensity Modulation/Direct Detection

از رابطه زیر به دست می آید:

$$I(\phi) = P_t \frac{m+1}{2\pi} \cos^m \phi \quad (۱)$$

که در آن ϕ زاویه تابش نسبت به عمود بر LED است [۱۱]. مدل تشعشی LED در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. نمودار شماتیک شدت نور نرمالیزه منبع نور استاندارد لامبری [۱۲]

منعکس شده از OIRS است. بهره کانال LOS به صورت زیر مدل سازی می شود [۱۱]:

$$h_{\text{LOS},k} = \frac{(m+1)A_r}{2\pi d_{t,r,k}^2} \cos^m(\phi_{t,r,k}) \cos(\psi_{r,k}) \cdot \mathbb{I}(\psi_{r,k} \leq \Psi_c), \quad (۲)$$

که در آن $d_{t,r,k} = \sqrt{(x_t - x_{r,k})^2 + (y_t - y_{r,k})^2 + H^2}$ فاصله فرستنده LED تا گیرنده k است. A_r مساحت گیرندگی فتودیود بوده و $\phi_{t,r,k}$ و $\psi_{r,k}$ به ترتیب زوایای تابش از سمت LED و دریافت در PD^۱ گیرنده هستند که هر دو نسبت به عمود سنجیده می شوند. همچنین $\mathbb{I}(\cdot)$ تابع نشانگری است که تضمین می کند گیرنده در محدوده میدان دید (Ψ_c) قرار دارد. به این مفهوم که پرتوهای تابشی اگر در محدوده مخروطی میدان دید PD قرار بگیرند توسط گیرنده آشکارسازی خواهند شد؛ در غیر این صورت قابل آشکارسازی نیستند. برای مسیر بازتاب از طریق عنصر i ام OIRS، بهره کانال یک فرآیند دو جهشی است: از فرستنده LED به عنصر آینه‌ای OIRS و از عنصر به PD گیرنده. بر این اساس بهره کانال از فرستنده به عنصر i برابر است با:

$$h_{t,i} = \frac{(m+1)}{2\pi d_{t,i}^2} \cos^m(\phi_{t,i}) \cos(\psi_i), \quad (۳)$$

که در آن $h_{t,i} = \frac{(m+1)}{2\pi d_{t,i}^2} \cos^m(\phi_{t,i}) \cos(\psi_i)$ و $\phi_{t,i}$ و ψ_i زوایای تابش از سمت LED و برخورد به عنصر i ام OIRS هستند. همچنین بهره از عنصر i به گیرنده k برابر است با [۱۴]:

$$h_{i,r,k} = \frac{A_r}{d_{i,r,k}^2} \cos(\phi_{i,r,k}) \cos(\psi_{r,k}) \cdot \mathbb{I}(\psi_{r,k} \leq \Psi_c), \quad (۴)$$

که در آن:

$$d_{i,r,k} = \sqrt{(x_{r,i} - x_{r,k})^2 + (y_{r,i} - y_{r,k})^2 + z_{r,i}^2}.$$

کل بهره کانال بازتابی برابر است با:

$$h_{\text{ref},k} = \sum_{i=1}^N \Gamma_i h_{t,i} h_{i,r,k} \quad (۵)$$

مدل سیستم در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، LED نصب شده در سقف اتاق کاربرانی که غالباً در نواحی مرکزی قرار دارند را پوشش داده (ناحیه زرد رنگ) و نواحی کناری با وجود تامین روشنایی اتاق به دلیل خارج بودن زاویه پرتو نوری دریافتی از FOV فتودیود، گیرنده قادر به آشکارسازی این سیگنال‌ها نیست. این در حالی است که OIRS با انعکاس هوشمندانه و هدفمند، پرتوهای نوری را

سطح بازتابنده هوشمند نوری

المان OIRS یک آرایه مسطح از N عنصر بازتابنده در نظر گرفته شده است که در مختصات $(x_{r,i}, y_{r,i}, z_{r,i})$ برای عنصر i ام قرار گرفته و روی دیوار نصب شده است. هر عنصر از این OIRS یک میکرو بازتابنده است که امکان تنظیم ضریب بازتاب Γ_i برای آن وجود دارد که در آن $0 \leq \Gamma_i \leq 1$ است و نشان دهنده کسری از نور تابشی است که به سمت جهت هدف هدایت می شود [۱۳]. برخلاف بازتابنده‌های غیرفعال، OIRS نوری از مواد پیشرفته (مانند متاسطوح کریستال مایع) برای کنترل پویای Γ_i استفاده می کند و امکان بهینه سازی الگوی بازتاب را فراهم می کند. OIRS با هدایت نور به مناطقی با سیگنال‌های LOS ضعیف یا بدون سیگنال، عملکرد سیستم VLC را بهبود بخشیده و به طور مؤثر به عنوان یک آرایه آینه‌ای قابل برنامه ریزی عمل می کند.

در این مقاله OIRS با چینش مستطیلی در نظر گرفته شده است. در بیشتر تحقیقات این حوزه نحوه چینش المان‌های OIRS به صورت مستطیلی رایج است که البته محدودیتی برای چینش‌های دیگر وجود ندارد. هدف تنظیم زاویه المان‌های آینه‌ای است به نحوی که بیشترین پوشش کاربران قرار گرفته در نقاط کور را فراهم کند.

مدل کانال

بهره کل کانال برای گیرنده k شامل مؤلفه LOS و مؤلفه‌های

1 Photo-Diode
2 Field-of-View

پیکربندی Γ_i برای به حداکثر رساندن پوشش و کیفیت سیگنال در تمام گیرنده‌ها در محیط با مقیاس بزرگ است.

مسئله بهینه‌سازی

برای کاربردهای در مقیاس بزرگ، تضمین عملکرد یکنواخت بسیار مهم است. بنابراین هدف ما به حداکثر رساندن حداقل توان دریافتی است:

$$\max_{\Gamma} \min_{k=1, \dots, K} P_{r,k} \quad (8)$$

مشروط به:

$$0 \leq \Gamma_i \leq 1, \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (9)$$

با جایگذاری رابطه (۶) مسئله تبدیل می‌شود به:

$$\max_{\Gamma} \min_k (P_t h_{\text{LOS},k} + \sum_{i=1}^N P_t \Gamma_i h_{t,i} h_{i,r,k}) \quad (10)$$

$$0 \leq \Gamma_i \leq 1$$

روش حل مسئله

مسئله حداکثر-حداقل^۳ طرح‌شده با استفاده از روش دوبخشی حل می‌شود. با تعریف پارامتر γ به عنوان آستانه توان حداقل و برای هر تکرار، مسئله امکان‌پذیری به صورت زیر قابل حل خواهد شد:

$$P_t h_{\text{LOS},k} + \sum_{i=1}^N P_t \Gamma_i h_{t,i} h_{i,r,k} \geq \gamma, \quad \forall k \quad (11)$$

$$0 \leq \Gamma_i \leq 1$$

این یک برنامه خطی (LP^4) با N متغیر و K محدودیت است که با استفاده از حل‌کننده‌های استاندارد LP (مثلاً روش‌های نقطه داخلی) به طور کارآمد قابل حل است. الگوریتم دوبخشی به صورت تکراری مقدار γ را بین یک حد پایین (مثلاً $\min_k P_t h_{\text{LOS},k}$) و یک حد بالا (مثلاً $\sum_{i=1}^N h_{t,i} h_{i,r,k}$) تا زمان همگرایی تنظیم می‌کند.

ملاحظات عملی و کاربردها

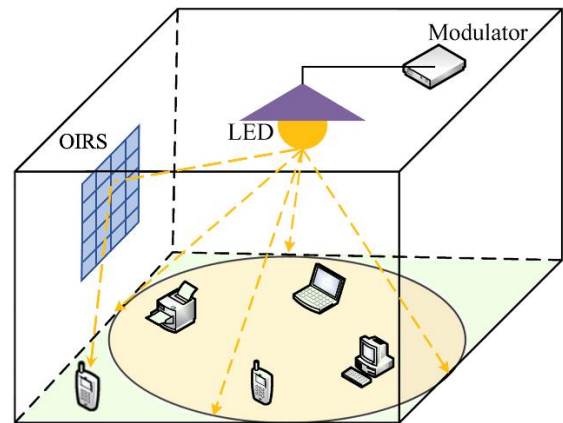
پیاده‌سازی IRS نوری نیاز به یک مکانیزم کنترل برای تنظیم مقدار Γ هر المان OIRS دارد که از سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS^۵) یا فناوری‌های کریستال مایع^۶ استفاده می‌کند. زمان پاسخ باید به اندازه کافی سریع باشد تا با توزیع‌های متغیر کاربر سازگار شود [۱۵]. اگرچه همان طور که قبلاً ذکر شد این پژوهش برای سادگی، پیکربندی ایستا را فرض می‌کند. در این سیستم مصرف انرژی حداقل است؛ زیرا OIRS غیرفعال است و به جای افزایش توان جهت

به سمت سایر کاربران (نواحی سبز رنگ) هدایت کرده و سیگنال دهی را برای آنها فراهم می‌کند.

از آنجایی که VLC از سیستم ارسال و دریافت IM/DD استفاده می‌کند، نور دریافتی از مسیرهای مختلف ناهمدوس بوده و کل توان نوری دریافتی در گیرنده k برابر با مجموع توان‌ها است:

$$h_{\text{ref},k} = \sum_{i=1}^N H_i \quad (6)$$

که در این رابطه، H_i ضریب کانال بازتابی i ام رسیده به PD است.



شکل ۲. مدل سیستم VLC به همراه OIRS

مدل نویز

سیگنال دریافتی با نویز سفید گاوسی ($AWGN^1$)، شامل نویز شات و نویز حرارتی، با واریانس کل $\sigma^2 = \sigma_{\text{thermal}}^2 + \sigma_{\text{shot}}^2$ جمع شده است. بر این اساس SNR^2 در گیرنده k برابر است با:

$$SNR_k = \frac{(RP_{r,k})^2}{\sigma^2} \quad (7)$$

که در این رابطه، $P_{r,k}$ میزان توان دریافتی توسط کاربر k ام است. برای تحلیل اولیه، یک پیکربندی ایستا برای مدل سیستم در نظر گرفته شده است. در این مدل بازتاب‌های با مراتب بالاتر نادیده گرفته می‌شوند؛ زیرا سهم آنها معمولاً در سیستم‌های VLC که تحت سلطه LOS و بازتاب‌های مرتبه اول هستند، جزئی است.

طراحی سیستم VLC مبتنی بر OIRS

این بخش به تشریح طراحی و بهینه‌سازی OIRS برای افزایش عملکرد VLC در یک محیط گسترده می‌پردازد. هدف،

3 Max-Min Problem

4 Linear Programming

5 Micro-Electro-Mechanical System

6 Liquid Crystal

1 Additive White Gaussian Noise

2 Signal-to-Noise Ratio

یا ربات‌های سیار هستند، انتقال یکپارچه در مکان‌یابی دقیق ضروری است. قابلیت تمرکز مکانی OIRS به افزایش کیفیت لینک و پشتیبانی از موقعیت‌یابی مبتنی بر نوری کمک می‌کند [۱۹].

نتایج شبیه‌سازی

در این بخش سیستم پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی‌ها ارزیابی شده و عملکرد آن با یک سیستم VLC پایه بدون IRS مقایسه می‌شود.

محیط داخلی یک اتاق ۱۰ متر × ۱۰ متر × ۴ متر است که فرستنده LED در مختصات (۵، ۵، ۵) و IRS در مرکز (۳، ۱۰، ۵) با $N = 100$ عنصر قرار دارد. گیرنده‌ها به تعداد $K = 50$ به صورت تصادفی روی زمین توزیع شده‌اند. واریانس نویز روی $\sigma^2 = 10^{-15}$ و $R = 0.5$ A/W تنظیم شده است. برخی دیگر از پارامترهای شبیه‌سازی در جدول ۱ آورده شده است.

معیارهای کلیدی مطلوب شامل توزیع مکانی توان دریافتی $P_{r,k}$ ، میانگین SNR و حداقل SNR در تمام گیرنده‌ها است که طبق رابطه (۷) محاسبه می‌شوند.

شکل ۳ توزیع توان دریافتی در محیط اتاق در سطح گیرنده را نشان می‌دهد که بهبود قابل توجهی را در حضور OIRS، به ویژه در مناطق سایه‌دار، نشان می‌دهد. در این شکل، به وضوح مشخص است که در شرایط بدون OIRS، گوشه‌های کناری به دلیل محدودیت زاویه دید فتودیود، نتوانسته‌اند به طور مؤثر پرتو نوری ارسال شده از فرستنده را دریافت کنند و به این

پوشش‌دهی کاربران در محیط مقیاس بزرگ، پرتوهای نوری را که سیگنال اطلاعات کاربران نیز محسوب می‌شوند به نحو مطلوب و هوشمندانه به سمت گیرنده هدایت می‌کند.

از جمله مهم‌ترین کاربردهای سیستم VLC معرفی شده با OIRS می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ساختمان‌ها و دفاتر هوشمند

VLC بهبودیافته با OIRS می‌تواند دسترسی بی‌سیم با پوشش بالا برای محیط‌های اداری پرجمعیت فراهم کند. همچنین با کاهش وابستگی به لینک‌های RF، انتقال ایمن داده‌ها و تراکم بالای کاربر را بدون تداخل الکترومغناطیسی امکان‌پذیر می‌کند [۱۶].

اینترنت اشیا و اتوماسیون صنعتی

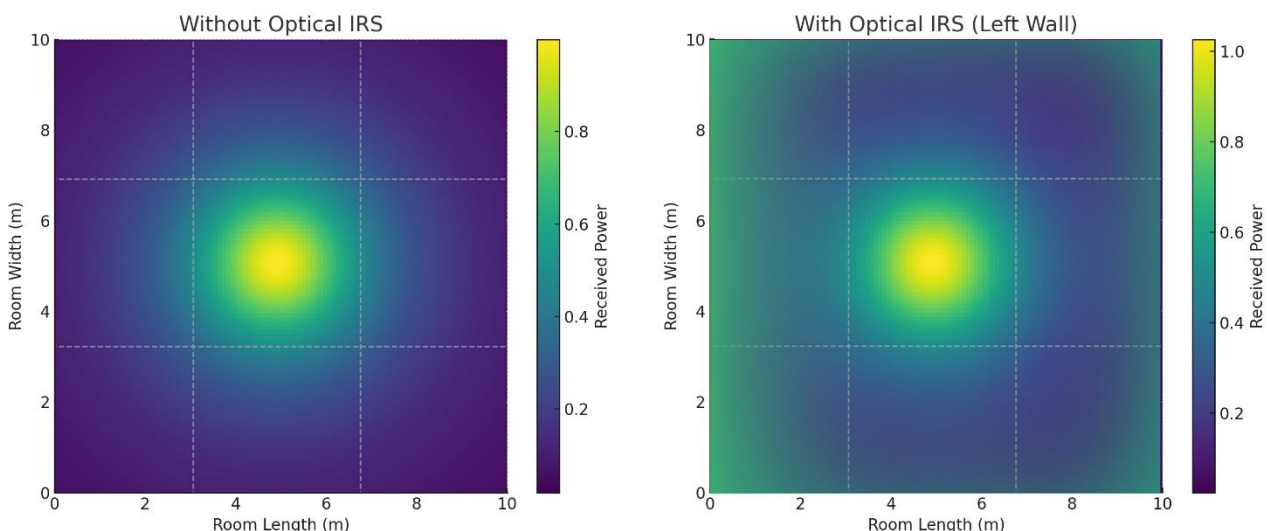
کارخانه‌ها و سیستم‌های اتوماسیون می‌توانند از تأخیر قطعی پایین و نرخ داده بالای ارائه شده توسط VLC بهره‌مند شوند، که با بازتاب‌پذیری به کمک پنل OIRS که از انسداد ماشین‌آلات عبور می‌کند و پوشش را گسترش می‌دهد، بهبود بیشتری می‌یابد [۱۷].

مراقبت‌های بهداشتی و محیط‌های پاک

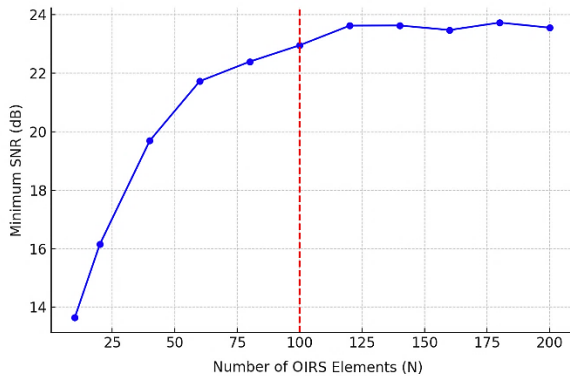
در محیط‌های استریل مانند بیمارستان‌ها یا آزمایشگاه‌ها، کاهش امواج الکترومغناطیسی بسیار مهم است. سیستم‌های OIRS-VLC ضمن رعایت استانداردهای سختگیرانه روشنایی، ارتباط ایمن و بدون تداخل را تضمین می‌کنند [۱۸].

واقعیت افزوده و ناوبری داخلی

برای کاربردهایی که شامل دستگاه‌های واقعیت مجازی (AR^۱)



شکل ۳. توزیع توان دریافتی در سطح اتاق با وجود OIRS و بدون آن



شکل ۴. میزان حداقل SNR متناسب با تعداد المان OIRS (N)

جدول ۲. مقایسه عملکرد سیستم VLC با وجود OIRS

میزان حداقل SNR (dB)	میزان میانگین SNR (dB)	ساختار
15.8	25.3	بدون OIRS
20.4	28.7	با OIRS و N=50
23.1	30.2	با OIRS و N=100

نتیجه‌گیری

این مقاله یک سیستم VLC مبتنی بر IRS نوری جدید را ارائه می‌دهد که برای کاربردهای داخلی در مقیاس بزرگ طراحی شده است. مدل سیستم و چارچوب بهینه‌سازی، بهبودهای قابل توجهی در پوشش و SNR را نشان می‌دهند که از طریق شبیه‌سازی‌های دقیق تأیید شده‌اند. کارهای آینده شامل بررسی پیکربندی‌های OIRS پویا برای کاربران تلفن همراه و سیستم‌های ترکیبی RF-VLC که امروزه در حال گسترش هستند با بهره‌گیری از OIRS است.

References

[1] Matheus, L. E. M., Vieira, A. B., Vieira, L. F., Vieira, M. A., & Gnawali, O. (2019). Visible light communication: Concepts, applications and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4), 3204-3237.

[2] Pathak, P. H., Feng, X., Hu, P., & Mohapatra, P. (2015). Visible light communication, networking, and sensing: A survey, potential and challenges. *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(4), 2047-2077.

[3] Alizadeh Ghazijahani, H., & Atashbar, M. (2024). A Public Information Precoding for MIMO Visible Light Communication System Based on Manifold Optimization. *Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations (JECEI)*, 307-316.

[4] Loureiro, P. A., Guiomar, F. P., & Monteiro, P. P. (2023, August). Visible light communications: A survey on recent high-capacity demonstrations and digital modulation techniques. In *Photonics* (Vol. 10, No. 9, p. 993). MDPI.

[5] Singh, A., Salameh, H. B., Ayyash, M., & Elgala, H. (2024). Performance analysis of OIRS-aided

ترتیب به عنوان نقاط کور شناخته می‌شوند. در مقابل، با استفاده از OIRS، پرتوهای نوری به این نواحی هدایت شده‌اند و این امر به کاربران این امکان را می‌دهد که در اکثر نقاط، سیگنال نوری حاوی داده‌های VLC را دریافت کنند. این پیشرفت به طور چشمگیری به بهبود کیفیت ارتباطات نوری کمک می‌کند و قابلیت دسترسی به داده‌ها را افزایش می‌دهد. بنابراین با استفاده از تکنولوژی OIRS، می‌توانیم پوشش بهتری را در نواحی که قبلاً تحت تأثیر محدودیت‌های زاویه‌ای بودند، فراهم کنیم.

همچنین با بررسی شکل ۴ مشخص می‌شود که افزایش N، حداقل SNR را افزایش می‌دهد و بازده آن پس از N = 100 چندان افزایش قابل توجهی را نشان نمی‌دهد. جدول ۲ مقادیر کمی بهبود را نشان می‌دهد؛ به طوری که استفاده از OIRS با N = 100 موجب افزایش ۷/۳ دسی‌بل در حداقل SNR نسبت به حالت پایه می‌شود.

جدول ۱. پارامترهای مدل سیستم

مقدار	پارامتر
10m × 10m × 4m	ابعاد اتاق
20 w	توان ارسالی (P _t)
1	مرتبه لامبرتی LED (m)
1 cm ²	مساحت گیرندگی PD (A _r)
60°	زاویه دید گیرنده (Ψ _c)
50 - 100	تعداد المان OIRS (N)

منابع

indoor VLC systems under dynamic human blockages and random UE orientation. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(20), 33110-33119.

[6] Atashbar, M., & Ghazijahani, H. A. (2025). Integrated design of precoding and alignment matrices for optical reflecting intelligent surface-enabled multi-user multiple-input multiple-output visible light communication system in the presence of barriers. *Optical Engineering*, 64(5), 058103-058103.

[7] Wang, H., Zhang, Z., Zhu, B., Dang, J., & Wu, L. (2023). Optical reconfigurable intelligent surfaces aided optical wireless communications: Opportunities, challenges, and trends. *IEEE Wireless Communications*, 30(5), 28-35.

[8] Sun, S., Yang, F., Mei, W., Song, J., Han, Z., & Zhang, R. (2025). Channel estimation for optical intelligent reflecting surface-assisted vlc system: A joint space-time sampling approach. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*.

[9] Liu, Z., Yang, F., Sun, S., Song, J., & Han, Z. (2023). Sum rate maximization for NOMA-based

- VLC with optical intelligent reflecting surface. *IEEE Wireless Communications Letters*, 12(5), 848-852.
- [10] Liu, Y., Li, Y., Ji, X., & Li, B. (2025). High-Resolution Dimmable Augmented Spectral-Efficiency Discrete Multi-Tone Architecture Based on Hybrid Pulse-Width Modulation in Visible-Light Communications. *Sensors*, 25(8), 2385.
- [11] Ghassemlooy, Z., Popoola, W., & Rajbhandari, S. (2019). *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC press.
- [12] Bravo Alvarez, L., Montejo-Sánchez, S., Rodríguez-López, L., Azurdia-Meza, C., & Saavedra, G. (2023). A review of hybrid vlc/rf networks: Features, applications, and future directions. *Sensors*, 23(17), 7545.
- [13] Guzman, B. G., Cespedes, M. M., Jimenez, V. P. G., Armada, A. G., & Brandt-Pearce, M. (2025). Resource allocation exploiting reflective surfaces to minimize the outage probability in VLC. *IEEE Transactions on Wireless Communications*.
- [14] Sun, S., Mei, W., Yang, F., An, N., Song, J., & Zhang, R. (2023). Optical intelligent reflecting surface assisted MIMO VLC: Channel modeling and capacity characterization. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 23(3), 2125-2139.
- [15] Zhang, Q., Yang, F., Liu, Z., Sun, S., Zhang, H., & Song, J. (2024). Hardware implementation of a mirror array-based optical intelligent reflecting surface for VLC: prototype and experimental results. *Optics Express*, 32(11), 19252-19264.
- [16] Gupta, S., Roy, D., Bose, S., Dixit, V., & Kumar, A. (2024). Illuminating the future: A comprehensive review of visible light communication applications. *Optics & Laser Technology*, 177, 111182.
- [17] Oyewobi, S. S., Djouani, K., & Kurien, A. M. (2022). Visible light communications for internet of things: Prospects and approaches, challenges, solutions and future directions. *Technologies*, 10(1), 28.
- [19] Niranga, G. H., Devidas, A. R., & Ramesh, M. V. (2024). NeoCommLight: A Visible Light Communication System for RF-Restricted NICUs. *IEEE Access*, 12, 12827-12842.
- [20] Wang, R., Niu, G., Cao, Q., Chen, C. S., & Ho, S. W. (2024). A survey of visible-light-communication-based indoor positioning systems. *Sensors*, 24(16), 5197.