

**ANALISIS PERFORMANSI DATA DOWNLINK DENGAN SISTEM
MULTICOLOR VISIBLE LIGHT COMMUNICATION (VLC)
ANALYSIS OF DOWNLINK DATA PERFORMANCE ON
MULTICOLOR VISIBLE LIGHT COMMUNICATION SYSTEM**

Radzqi Fadhil Muhammad¹, Ir. Akhmad Hambali, M.T.², Kris Sujatmoko, S.T., M.T.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹razqi.rp@gmail.com ²ahambali@telkomuniversity.ac.id

³krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Tugas akhir ini melakukan penelitian atas *Optical Wireless communication (OWC)* pada ruangan tertutup (*indoor*). Sistem komunikasi optik merupakan salah satu opsional solusi untuk menanggulangi berbagai varietas kebutuhan manusia dalam berkomunikasi. Hal inilah yang menyokong penulis untuk melakukan penelitian pada teknologi jaringan nirkabel optik. Dalam tugas akhir ini, mengusulkan penelitian performansi pengunduhan data pada kombinasi warna yang dipancarkan oleh LED untuk sistem *Indoor Visible Light Communication (VLC)*.

Pada Tugas Akhir ini dilakukannya analisis terhadap performansi dari kapasitas yang dapat dicapai dalam proses pengiriman data yang diukur dalam unsur *bandwidth*. Dengan menggunakan tiga buah LED-RGB pada posisi dan spektrum pancaran warna yang telah ditentukan pada sebuah ruangan tertutup dengan dimensi ruangan $5\text{m} \times 5\text{m} \times 3\text{m}$, demi mendukung performansi pengiriman yang lebih baik digunakannya teknik modulasi *On – Off Keying Non Return Zero (OOK-NRZ)*. Evaluasi sistem diamati menggunakan beberapa parameter seperti SNR, *Q-factor*, dan BER untuk menunjukkan seberapa tinggi hasil performansi yang dapat dicapai.

Hasil dari rancangan sistem VLC ini bertujuan untuk mengetahui besarnya ukuran performansi optimum yang dapat dicapai oleh kombinasi warna yang dipancarkan oleh LED. Hal ini dibuktikan dengan hasil analisis pada kombinasi warna merah dengan hijau dengan panjang gelombang 623,74 nm dan 519 nm menghasilkan harga SNR sebesar 18.83 dB, *Q-factor* sebesar 11.31 dan BER senilai 1.06×10^{-17} .

Kata kunci: *Multicolor Visible Light Communication (VLC), Bandwidth, Spektrum warna.*

Abstract

This final project conducts a research on Optical Wireless communication (OWC) in a closed room. Optical communication system is an optional solution to overcome various difference of human needs in communication. This is what supports the author to conduct a research on optical wireless network technology. In this final project, proposed a research on performance of down link data performance with color combination emitted by LED for the Indoor Visible Light Communication (VLC) system.

In this final project, an analysis of the performance of capacity can be achieved in the process of sending data measured in the bandwidth. By using three LED-RGB in the position and spectrum of color that has been determined in a closed room with room dimensions of $5\text{m} \times 5\text{m} \times 3\text{m}$, in order to support better down link performance the On-Off Keying Non Return Zero (OOK-NRZ) modulation technique are used. System evaluation is observed using several parameters such as SNR, Q factor, and BER to show how high the performance results can be achieved.

The results of the VLC system design aims to determine the amount of optimum performance that can be achieved for each color spectrum and an analysis of system performance. This is proved by the results of the analysis on the combination of red and green light with the wavelength of 623,74 nm and 519 nm. producing an SNR value of 18,83 dB, a Q factor of 11,31 and a BER valued at $1,06 \times 10^{-17}$.

Key words : *Multicolor Visible Light Communication (VLC), Bandwidth, Color Spectrum*

1. Pendahuluan

Teknologi dan informasi menjadi kebutuhan dasar manusia saat ini. Hal ini yang mendasari banyaknya inovasi baru dalam media penyampaian informasi. Pada era ini model pengiriman data yang banyak digunakan adalah menggunakan radio frekuensi atau yang lebih dikenal dengan

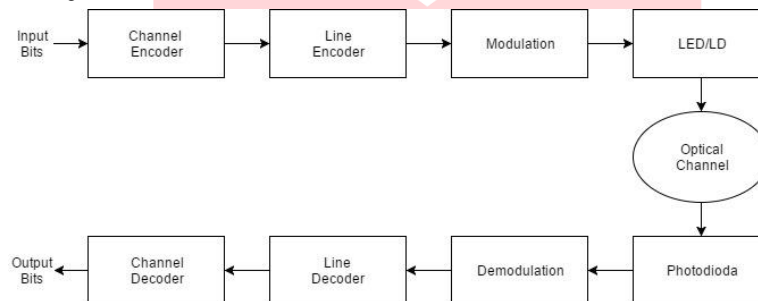
sebutan *wireless*. Gelombang elektromagnetik melintas dan merambat lewat ruang hampa udara. Transmisi menggunakan radio dinilai efektif dan efisien akan tetapi banyak kekurangannya antara lain alokasi range frekuensi yang digunakan untuk beberapa aplikasi sangatlah terbatas[1].

Teknologi pengiriman data melalui cahaya tampak menjadi salah satu solusi sebagai media transmisi komunikasi tanpa kabel (*Wireless*). Teknologi VLC menawarkan berbagai keunggulan dalam penyampaian dan keamanan media transmisi dibanding teknologi yang masih menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai media transmisinya. Secara teori data yang dikirimkan dari serat optik cahayanya akan mengirimkan data *digital* beriringan dengan intensitas cahaya yang dipancarkan oleh LED, yang mana kecepatannya bisa mencapai 500 Mbps hanya dengan menggunakan cahaya berwarna putih[2].

Sebagai bentuk pengimplementasian sistem transmisi VLC dikedepannya, pada proyek akhir ini akan dilakukan penelitian terhadap kecepatan maksimal yang dapat dicapai oleh VLC guna pengimplementasiannya untuk berbagai teknologi yang akan dikembangkan seperti *Li-Fi*, sensor *smart home*[3], media komunikasi, dan berbagai teknologi lainnya.

2. Dasar Teori

2.1. Cara Kerja Sistem VLC



Gambar 1 Model Sistem VLC

Dari penjelasan gambar di atas bahwa untuk input merupakan sebuah data digital, data yang masuk untuk ditransmisikan melalui LED akan di modulasi untuk mengubah sinyal listrik yang ingin dikirimkan menjadi sebuah sinyal cahaya, dari LED data akan ditransmisikan berupa cahaya yang harus *line of sight* dengan receivernya. Pada sisi *receiver* cahaya akan diubah kembali menjadi sinyal listrik oleh perangkat fotodiode dimana alat ini memiliki filter yang berfungsi untuk mengurangi *noise* yang ada.

2.2 LED - RGB COM-00105

Red(R), *Green*(G), *Blue*(B) LED yang dikenal juga dengan nama LED-*RGB* adalah LED yang menghasilkan spektrum warna putih apabila menggabungkan tiga LED tunggal dengan spektrum warna berbeda yakni merah, hijau, biru. Setiap warna LED memiliki karakteristik pola emisi yang berbeda-beda dikarenakan proses perpaduan dan difusi warna pada LED ini menggunakan rangkaian elektronik[4].

2.3 Cahaya Tampak

Panjang gelombang pada cahaya berkisar antara kurang dari 1 nm hingga mencapai lebih dari 1 km. Keseluruhan kisaran radiasi ini dikenal sebagai spektrum elektromagnetik. Segmen yang paling penting dalam kehidupan karena panjang gelombangnya dapat ditangkap oleh retina mata adalah pita sempit yang dengan panjang gelombangnya berkisar Antara 400 nm sampai dengan 780 nm[5]. Radiasi ini dikenal sebagai cahaya tampak karena terdeteksi oleh mata manusia sebagai bermacam macam warna.

2.4 Warna

Spektrum yang terlihat adalah bagian dari spektrum elektromagnetik yang terlihat oleh retina mata manusia. Radiasi elektromagnetik dalam kisaran panjang gelombang ini disebut cahaya tampak atau hanya cahaya. Mata manusia yang khas akan merespons panjang gelombang sekitar

400 hingga 740 nm. Dalam hal frekuensi, ini sesuai dengan sebuah bandwidth di sekitar 430-770 THz.

2.5 Spectral Power Distribution

Distribusi daya spektral (SPD) adalah grafik tingkat energi sumber cahaya melalui berbagai panjang gelombang cahaya. tingkat energi aktual yang diukur dalam sumber cahaya bervariasi di seluruh spektrum cahaya yang terlihat dan tidak selalu seakurat. Sebagaimana yang dirumuskan dalam *double Gaussian model* [6] untuk mencari besarnya panjang gelombang dari kombinasi beberapa warna adalah sebagai berikut:

$$S_{LED}(\lambda) = g(\lambda, \lambda_0, \Delta\lambda_{0.5}) + \frac{2}{3}g(\lambda, \lambda_0, \Delta\lambda_{0.5})^5 \quad (1)$$

Dimana bentuk $g(\lambda, \lambda_0, \Delta\lambda_{0.5})$ didapatkan sebagai persamaan $\exp\left(-\left(\frac{\lambda-\lambda_0}{\Delta\lambda_{0.5}}\right)^2\right)$ dengan λ merupakan panjang gelombang dari cahaya tampak dan λ_0 merupakan puncak dari panjang gelombangnya dan $\Delta\lambda_{0.5}$ adalah lambda FWHM dari panjang gelombang tersebut.

2.6 Bandwidth

Bandwidth juga mengacu pada rentang frekuensi yang digunakan untuk mengirim sinyal. Jenis *bandwidth* ini diukur dalam hertz dan sering direferensikan dalam aplikasi pemrosesan sinyal. Untuk mengukur *bandwidth* dapat menggunakan rumus pada gelombang sebagai berikut:

$$BW = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{\lambda^2 - \frac{\Delta\lambda^2}{4}} \quad (2)$$

c merupakan kecepatan cahaya yang senilai 3×10^8 dengan λ merupakan panjang gelombang dari warna yang sedang diamati dan $\Delta\lambda$ merupakan nilai dari selisih gelombang jarak antara gelombang tertinggi dikurangi dengan gelombang terendah.

2.7 Jarak Transmitter terhadap Receiver

Besarnya jarak receiver terhadap transmitter (d) dapat dihitung dari rumus sebagai berikut:

$$d = \sqrt{(X_r - X_t)^2 + (Y_r - Y_t)^2 + h^2} \quad (3)$$

2.8 Signal to Noise Ratio

Salah satu parameter yang dapat mengukur kualitas performansi dari sebuah transmisi antaran antara lain yaitu: S/N dimana pengukuran berdasarkan perbandingan antara *level power* sinyal informasi dengan *level power noise* yang diterima pada saat *transmitting*[7]. SNR didapatkan dari arus *photodetector* dikali faktor multiplikasi, dibagi dengan jumlah dari arus *noise thermal*, arus *dark bulk*, arus *dark surface leakage*, dan arus *noise* kuantum, yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SNR = \frac{(i_p^2)^M}{(i_r^2) + (i_{DB}^2) + (i_{DS}^2) + (i_Q^2)} \quad (4)$$

Maka dengan persamaan - persamaan berikut dapat disimpulkan bahwa, nilai SNR didapatkan dari persamaan berikut :

$$SNR = \frac{(P_{rx} \cdot R)^2 \cdot \int_{\lambda}^{\lambda_0} S_{LED}(\lambda) d\lambda}{2 \cdot q \cdot (I_P + I_D) \cdot B_W \cdot M^2 \cdot F(M) + 2 \cdot q \cdot I_L \cdot B_W + \left(\frac{4 \cdot K_B \cdot T \cdot B_W}{R_L}\right)} \quad (5)$$

2.9 Q Faktor

Q faktor adalah parameter yang menggambarkan perilaku resonansi osilator harmonik (resonator)[7] Nilai Q faktor dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q = \left(\frac{10^{\frac{SNR_{dB}}{10}}}{2} \right) \quad (6)$$

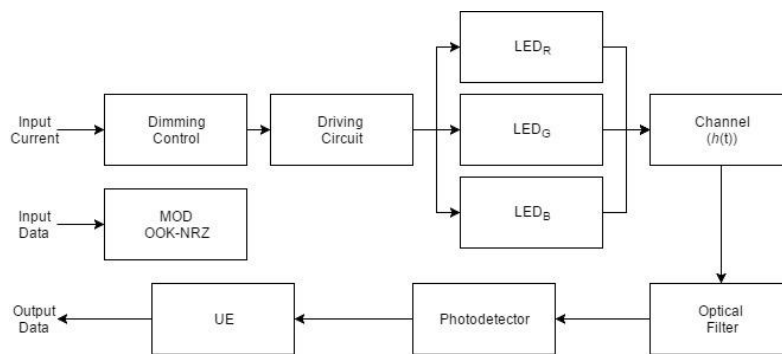
2.10 Bit Error Rate

Nilai BER dikatakan baik apabila nilai nya semaki kecil, sehingga kulaitas transmisi semakin baik. Nilai *bit error rate* juga di dapat dari penggunaan *Q-Factor* yang dapat di notasikan sebagai berikut:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \quad (7)$$

3. Model Sistem

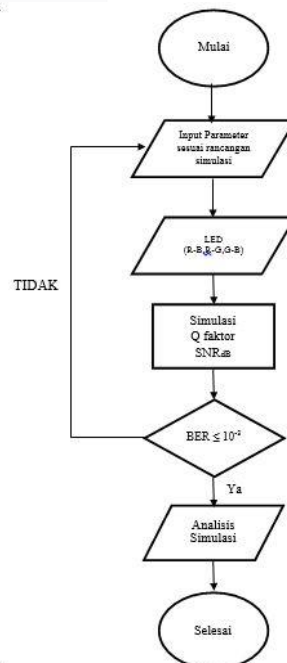
3.1 Desain Sistem



Gambar 2 Diagram blok sistem VLC

Pada gambar 2 ini membahas tentang perancangan simulasi yang melihat kinerja dari pendistribusian cahaya dengan menggunakan modulasi OOK-NRZ dengan membedakan dua kombinasi warna yaitu campuran 2 warna (merah-biru, merah-hijau, hijau-biru) yang dipancarkan oleh LED-RGB. Secara garis besar sistem ini terbagi menajadi 2 bagian utama yaitu, pada bagian *transmitter* dan bagian *receiver*.

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

3.3 Skenario Penghitungan Simulasi

1. Jarak *Receiver* terhadap *transmitter*

$$d = \sqrt{(0.9 - 0)^2 + (0 - (-0.9))^2 + (2.15)^2}$$

$$d = 2.49849955$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{2.15}{2.49849955}\right)$$

$$\theta = 30.62^\circ$$

2. Daya terima *receiver*

$$m = 1.56841593044$$

$$H = \frac{(1.56841593044 + 1) \cdot 10^{-4} \cdot \cos^{(1.56841593044+1)}(30.62^\circ)}{2 \cdot \pi \cdot (2.49849955)^2}$$

$$P_{rx}(W) = 1.0797360772 \times 10^{-4}$$

3. Menghitung koefisien daya spektral kombinasi warna

$$S_{LED} = \exp\left(-\left(\frac{519 - 520}{2}\right)^2\right) + \frac{2}{3} \cdot \exp\left(-\left(\frac{623,74 - 625}{2}\right)^2\right)^5$$

$$S_{LED} = 6,1 \text{ W/m}^3$$

4. Mencari Harga SNR

$$SNR = \frac{(3.69772 \times 10^{-4} \cdot 0.6)^2 \cdot \int_{623,74}^{780} 6,1 \, d\lambda}{2 \cdot 1,6 \times 10^{-19} \cdot (3,69772 \times 10^{-4} \cdot 0.6) \cdot 1 \times 10^{12} + \left(\frac{4 \cdot 1,38 \times 10^{-23} \cdot 298 \cdot 1,34 \times 10^{12}}{275}\right)}$$

$$SNR_{db} = 10 \log(8,4870)$$

$$SNR_{db} = 9,2875$$

5. Mencari Harga Q faktor

$$Q = \left(\frac{10^{\frac{9,2875}{10}}}{2}\right) = 4,2435$$

6. Pengukuran *Bit Error Rate*

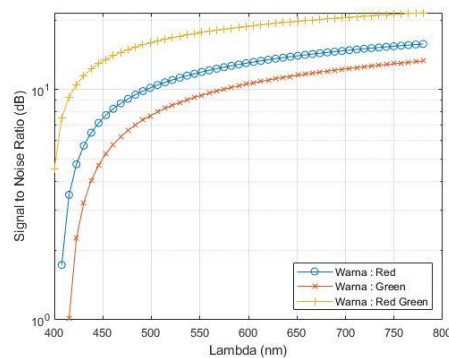
$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{4,2435}{\sqrt{2}}\right) = 1,1003 \times 10^{-5}$$

4.0 Hasil Analisis Simulasi Program

4.1 Analisis Parameter performansi dari kombinasi warna RG

Berdasarkan penempatan LED pada skenario I, dengan posisi LED pertama (Merah) pada (0, 1,25, 3) meter dengan panjang gelombang sebesar 623,74 nm dan posisi LED kedua (Hijau) pada (-0,9, -0,9, 3) meter dengan dengan panjang gelombang 519 nm. hasil dari simulasi ini berupa mendapatkan hasil performansi dari perbandingan antara kombinasi warna dengan warna pembentuknya dengan menganalisis parameter performansi yang telah ditentukan sebelumnya seperti *Q-factor*, SNR ,dan memenuhi minimum BER *threshold* bernilai $\leq 10^{-3}$.

4.1.1 Pengujian nilai SNR

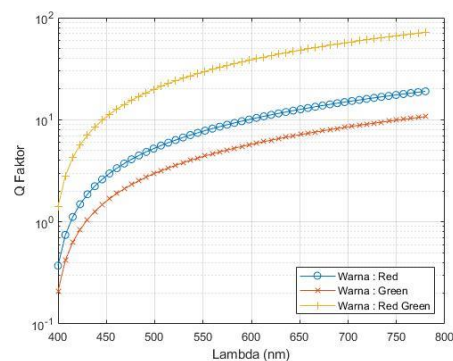


Gambar 4 Grafik kenaikan λ terhadap nilai SNR pada skenario I

Parameter *Signal to Noise Ratio* yang terjadi pada saat transmisi data di Gambar 4 menunjukkan perbandingan dari λ yang dicapai terhadap nilai SNR. Merah dan hijau sebagai kombinasi warna menghasilkan parameter performansi tertinggi karena memiliki nilai daya terima yang besar yaitu $8,9099 \times 10^{-6}$.

Pada spektrum warna merah dengan hijau dengan panjang gelombang 623,74 nm dan 519 nm masing- masing warna tersebut memiliki koefisien SPD sebesar 6,33 dan 3,578. Sedangkan dari kombinasi warna merah dan hijau dengan koefisien 6,1 memiliki *range* frekuensi yang lebih lebar yang menghasilkan nilai maksimal SNR sebesar memiliki SNR sebesar 18,83 dB yang mana lebih tinggi dibandingkan dengan komponen primer dari pembentuk spektrum warna ini, Yang membuktikan bahwa pada panjang gelombang yang lebih lebar akan dihasilkannya SNR_{dB} yang lebih tinggi karena dari besarnya daya terima yang digunakan untuk menunjang kualitas sinyal yang dihasilkan oleh spektrum warna campuran dapat memaksimalkan performansi kualitas yang lebih tinggi.

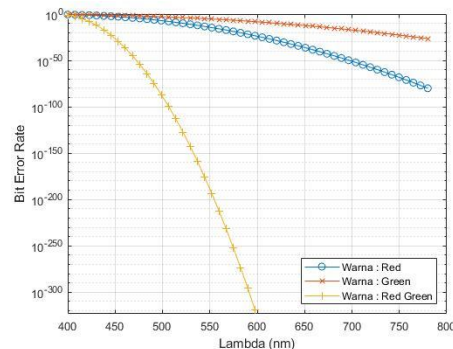
4.1.2 Pengujian koefisien Q faktor



Gambar 5 Grafik kenaikan λ terhadap nilai Q -factor pada skenario I.

Gambar 5 menunjukkan perbandingan dari kenaikan λ terhadap nilai Q -factor. Dengan nilai Q -factor tertinggi yaitu 38,19 pada spektrum warna kombinasi antara merah dengan hijau dengan panjang gelombang 623,74 nm dan 519 nm. Dan sesuai dengan acuan nilai BER $\leq 10^{-3}$ maka Q -factor yang dihasilkan jauh lebih besar dibanding dengan komponen pembentuk warna tersebut pada yaitu pada warna merah dan juga hijau.

4.1.3 Pengujian capaian nilai *Bit Error Rate*



Gambar 6 grafik capaian BER terhadap setiap pancaran warna LED pada skenario I

Selanjutnya adalah parameter *bit error rate* yang didapat pada saat transmisi data di Gambar 6 menunjukkan perbandingan dari kenaikan *lambda* yang dicapai terhadap nilai BER. Dengan nilai cakupan BER tertinggi kombinasi warna merah dan hijau hingga $1,06 \times 10^{-7}$. Dan sesuai dengan acuan nilai BER $\leq 10^{-3}$ maka sistem sudah memenuhi syarat dan membuktikan bahwa dengan kombinasi warna yang memiliki rentang frekuensi terbesar, daya yang diterima dengan penggunaan SPD dapat meminimalisir banyaknya kesalahan pengiriman data yang akan terjadi pada saat transmisi data.

5. Kesimpulan

1. Perbandingan antara kombinasi warna yang dipancarkan dengan pancaran satu warna yang dihasilkan oleh LED dipengaruhi oleh tingak distribusi spektral pada warnanya. Semakin besarnya nilai SPD dan melebarnya frekuensi yang dihasilkan akan membuat nilai pendistribusian daya spektral semakin efektif untuk memperkuat sinyal keluaran yang dihasilkan oleh *transmitter*.
2. Parameter performansi dengan nilai *Signal to Ratio*, Q-factor, dan *Bit Error Rate* tertinggi dicapai oleh kombinasi warna merah dengan hijau dengan koefisien SPD sebesar 6,1 dengan nilai 18,83 dB, 11.31, dan $1,06 \times 10^{-17}$.
3. Parameter performansi dengan nilai *Signal to Ratio*, Q-faktor, dan *Bit Error Rate* terendah dicapai oleh spektrum warna pancaran biru dengan koefisien SPD sebesar 2,13 dengan nilai 7,96 dB, 3.13, dan $8,65 \times 10^{-4}$.

Daftar Pustaka

- [1] R. Johri, "Li-Fi, complementary to Wi-Fi," *2016 Int. Conf. Comput. Power, Energy, Inf. Commun. ICCPEIC 2016*, pp. 15–19, 2016.
- [2] P. M. Butala, H. Elgala, T. D. C. Little, and P. Zarkesh-Ha, "Multi-wavelength visible light communication system design," *2014 IEEE Globecom Work. GC Wkshps 2014*, no. 1, pp. 530–535, 2014.
- [3] A. Trivikram Reddy and R. S. Vikesh, "Implementation of a simple point to point visible light communication system for audio and bi-directional data transmission," *Proc. 2017 Int. Conf. Smart Technol. Smart Nation, SmartTechCon 2017*, pp. 852–854, 2018.
- [4] D. Aguirre, R. Navarrete, I. Soto, and S. Gutierrez, "Implementation of an emitting LED circuit in a Visible Light Communications positioning system," no. 1, pp. 1–4.
- [5] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 50, no. 1, pp. 100–107, 2004.
- [6] J. Song, W. Zhang, L. Zhou, X. Zhou, J. Sun, and C. X. Wang, "A new light source of VLC combining white LEDs and RGB LEDs," *2017 IEEE/CIC Int. Conf. Commun. China, ICC 2017*, vol. 2018–Janua, no. Iccc, pp. 1–6, 2018.
- [7] D. Wu, Z. Ghassemlooy, H. Leminh, S. Rajbhandari, Y. S. Kavian, and A. S. Overview, "Power Distribution and Q-factor Analysis of Diffuse Cellular Indoor Visible Light Communication Systems," *16th Eur. Conf. Networks Opt. Commun.*, pp. 28–31, 2011.