



Comunicação sem Fio em Luz Visível

Marcelo de Oliveira e Alexandre de Almeida Prado Pohl
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

RESUMO: Ao se estudar a evolução das comunicações vislumbra-se uma extensa área de conhecimentos e tecnologias. O envio de informação entre um transmissor e um receptor requer a alteração de alguma característica de uma onda eletromagnética, seja ela sua amplitude, sua frequência, sua fase ou mesmo polarização. O espectro eletromagnético usado em comunicações compreende uma larga faixa de frequências que se estende desde as ondas de rádio com frequências da ordem de quilohertz (kHz) até a faixa do infravermelho, com frequências da ordem de centenas de Terahertz (THz). Tais faixas são largamente exploradas para transmissão de sinais de rádio e TV, de telefonia móvel e de dados. A transmissão pode ser realizada através do ar sendo, neste caso, denominada sem fio, ou então por meio de cabos metálicos e ópticos.

ABSTRACT: When studying the evolution of communications, we can see a large and extensive knowledge area and technologies can be seen. Sending information between a transmitter and a receiver requires changing some characteristic of an electromagnetic wave, be it its amplitude, frequency, phase or even polarization. The electromagnetic spectrum used in communications comprises a wide range of frequencies that extends from radio waves with frequencies on the order of kilohertz (kHz) to the infrared range, with frequencies on the order of hundreds of Terahertz (THz). Such bands are widely used for transmitting radio and TV signals, mobile telephony and data. Transmission can be carried out through the air, in which case it is called wireless, or through metallic and optical cables.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.14890119>



INTRODUÇÃO

Ao se estudar a evolução das comunicações vislumbra-se uma extensa área de conhecimentos e tecnologias. O envio de informação entre um transmissor e um receptor requer a alteração de alguma característica de uma onda eletromagnética, seja ela sua amplitude, sua frequência, sua fase ou mesmo polarização. O espectro eletromagnético usado em comunicações compreende uma larga faixa de frequências que se estende desde as ondas de rádio com frequências da ordem de quilohertz (kHz) até a faixa do infravermelho, com frequências da ordem de centenas de Terahertz (THz). Tais faixas são largamente exploradas para transmissão de sinais de rádio e TV, de telefonia móvel e de dados. A transmissão pode ser realizada através do ar sendo, neste caso, denominada sem fio, ou então por meio de cabos metálicos e ópticos. O emprego de faixas de frequência mais elevadas permite aumentar significativamente a capacidade de transmissão de informação. As comunicações ópticas fazem uso do espectro na faixa do visível, que se estende de 400 a 790 THz (comprimentos de onda de 750 a 380 nanômetros), na qual o olho humano possui sensibilidade. Seu emprego mais bem sucedido ocorre na transmissão em fibras ópticas, que utiliza atualmente a faixa do infravermelho, entre 1300 e 1650 nm, em razão de sua baixa atenuação pelo meio, mas que no início de seu desenvolvimento utilizava fontes com emissão em 850 nm, próxima ao visível.

Atualmente verifica-se um crescimento exponencial da conectividade com emprego da tecnologia sem fio. Em 2023, estima-se que 5,7 bilhões de pessoas estarão usando dispositivos móveis. As redes móveis estão evoluindo para redes 5G de maior capacidade. No ambiente de acesso, as redes Wi-Fi, que operam nas frequências de 2,4 e 5,0 GHz, devem atingir uma saturação em sua capacidade. Assim, novas faixas de frequências e novas tecnologias devem ser exploradas. Este é o caso da utilização das comunicações sem fio em luz visível nas redes de acesso, como forma de complementar ou substituir as redes Wi-Fi existentes. A transmissão de sinais usando a luz não é nova. Em 1880, Graham Bell demonstrou a comunicação por voz usando a luz solar em um dispositivo conhecido como fotofone [1]. Contudo, somente após o desenvolvimento de fontes de estado sólido, LEDs (*Light Emitting Diodes*) e lasers, a partir de 1960, que a área tomou maior impulso. Em 1979, Gfeller and Bapst descreveram um modelo de



propagação para ambientes internos, cujos fundamentos são empregados ainda hoje [2]. Desde então diversos trabalhos foram publicados, demonstrando a transmissão de sinais com taxas de dados que ultrapassam uma dezena de Gigabits por segundo, entretanto a distâncias curtas [3]. Nos dias atuais, LEDs são cada vez mais usados na infraestrutura de iluminação, em razão de seu baixo custo e eficiência luminosa e podem, simultaneamente, ser empregados na transmissão de sinais [4]. Neste breve artigo descrevemos os principais aspectos desta relevante tecnologia.

FUNDAMENTOS

A. Canal de Comunicação

A comunicação sem fio em luz visível ocorre através do ar, um meio cujas propriedades estão sujeitas a alterações em razão de condições climáticas. Entretanto, em ambientes internos torna-se um meio estável e bem controlado. O sinal emitido por uma fonte deve ser preferencialmente recebido por um receptor em linha de visada, onde não haja obstáculos entre ambos, situação mostrada na Figura 1a. Entretanto, a transmissão através de forma indireta também pode ocorrer, como mostra a Figura 1b, embora com menor eficiência e sujeita a atrasos que são compensados no processo de recepção.

B. Fontes Ópticas

A emissão da radiação eletromagnética na faixa do visível por meio de diodos semicondutores ocorre através de dois mecanismos. Em um deles, emprega-se um diodo com emissão em 450 nm, correspondente à cor azul, cuja radiação incide sobre uma camada de fósforo. Baseado no efeito de luminescência, comprimentos de onda maiores são gerados por essa camada, cuja combinação com a radiação emitida pelo diodo em 450 nm resulta em um padrão de luz branca à saída do dispositivo. No outro mecanismo, são utilizados três diodos emissores, cada qual emitindo em comprimento de onda distinto, a saber: no azul (450 nm), verde (530 nm) e vermelho (630 nm), cuja combinação resulta na luz branca, formando um padrão conhecido como RGB (Red/Green/Blue).

Diodos emissores de luz são fontes lambertianas, onde a distribuição de intensidade segue uma função cosseno, com grande divergência dos raios luminosos. Sob o aspecto

de iluminação, tal característica é bastante útil, pois permite que a radiação seja distribuída sobre uma superfície maior, iluminando adequadamente um ambiente. Entretanto, sob o ponto de vista de comunicação, tal divergência reduz enormemente a intensidade do sinal que chega ao receptor, impactando a razão sinal-ruído (SNR, *Signal-to-Noise Ratio*) e a performance do enlace de comunicação. Para minimizar tal efeito concentradores e lentes podem ser empregados do lado da transmissão e recepção, de forma a direcionar e convergir o feixe luminoso entre os elementos que compõe o enlace.

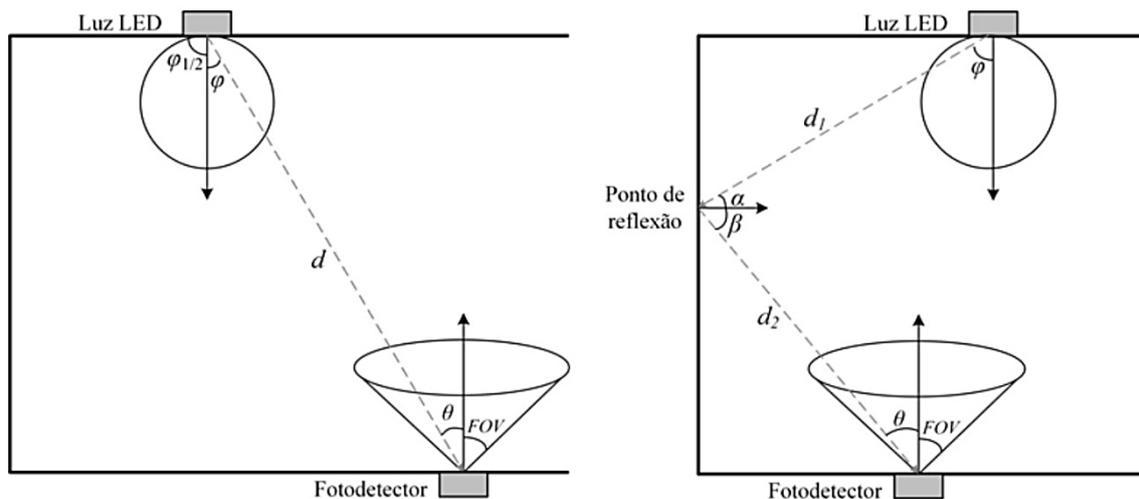


Figura 1 - Comunicação por LED: (a) linha de visada e (b) caminho indireto

C. Recepção

Na recepção são utilizados fotodiodos do tipo PIN ou APD, sendo esta última a que possibilita maior responsividade em função do ganho de avalanche obtido na estrutura semicondutora ao se aplicar uma tensão reversa maior entre os polos do dispositivo. A resposta de um fotodiodo empregado em comunicação sem fio em luz visível depende muito de suas características, que podem limitar a transmissão de dados. Por um lado, pode-se empregar fotodiodos com área efetiva maior, que permite coletar maior quantidade de energia luminosa, o que propicia um aumento da SNR. Por outro lado, uma área efetiva maior torna a resposta do dispositivo mais lenta, limitando a taxa de dados. Assim, um balanço entre resposta rápida e área efetiva deve ser encontrado.



Recentemente, esforços são dedicados a projetos de sistemas de recepção que possam atender às exigências de enlaces sem fio de maior alcance e maiores taxas.

D. Modulação e Desempenho

Os enlaces de comunicação sem fio em luz visível empregam técnicas diversas de modulação. A norma IEEE 802.15.7, em sua versão inicial, estabelece o uso das técnicas OOK (*On-Off Keying*), VPPM (*Variable Pulse Position Modulation*) e CSK (*Color Shift Keying*). Em particular, a técnica VPPM permite ajustar a posição e o tempo de duração do pulso dentro do intervalo de bit, o que permite a transmissão da informação sob o efeito de dimerização, isto é, em uma situação em que a intensidade da energia luminosa irradiada é diminuída. Atualmente empregam-se técnicas mais avançadas, como a modulação OFDM (*Orthogonal Frequency Division Modulation*), que permite maior robustez no enlace e maior capacidade de transmissão de dados. Entretanto, seu uso em LEDs comerciais, com largura de banda de 1,5 a 2 MHz, utilizados em iluminação, impõe um limite à capacidade de transmissão. Uma melhor solução seria o emprego de μ -LEDs, possibilitando taxas de Gigabit/s, mas que, entretanto, ainda não são empregados em iluminação [3].

E. Canal de Retorno

O canal de retorno diz respeito ao sinal transmitido do lado oposto em comunicação bidirecional. Isto implica em reproduzir o esquema de transmissão e recepção no sentido contrário. Entretanto, deve-se considerar que outros tipos de emissores podem ser usados, uma vez que em sentido contrário não há necessidade de se atender a demanda de iluminação. Portanto, LEDs não são a única opção. Ao mesmo tempo, dado que a taxa de transmissão usualmente é menor no sentido usuário-central, pode-se utilizar faixas de frequência de RF como as empregadas em redes WiFi. Ao mesmo tempo, há necessidade de se projetar dispositivos compactos, uma vez que do lado do usuário lida-se com dispositivos como tablets e smartphones.

DEMONSTRAÇÃO FUNCIONAL DE UM ENLACE

Na prática, ao se utilizar fontes LEDs, lida-se com um arranjo de elementos emissores dispostos em uma luminária, como mostra a Figura 2a, que apresenta 7 dispositivos montados em uma placa PCB (*Printed Circuit Board*). A este arranjo pode-se acoplar um concentrador, que permite conformar o feixe luminoso dentro de um menor ângulo de emissão. A Figura 2b mostra a simulação do padrão de distribuição de potência de um único LED. A Figura 3a mostra o arranjo experimental montado sobre uma bancada para transmissão em linha de visada. De um lado encontra-se a luminária e um bias-T, que é usado para acoplar o sinal DC que polariza o LED e o sinal modulante (AC) oriundo de um gerador de formas de onda arbitrária. No lado da recepção utilizou-se um módulo com um fotodiodo APD. Para transmissão um código de modulação específico é embarcado no gerador de formas de onda. A performance do enlace é verificada afastando-se o módulo de recepção em distâncias pré-fixadas até o limite em que se observa a degradação do sinal. A Figura 3b mostra a constelação obtida após a transmissão em modulação 16-QAM OFDM a uma distância de aproximadamente 2 m [5].

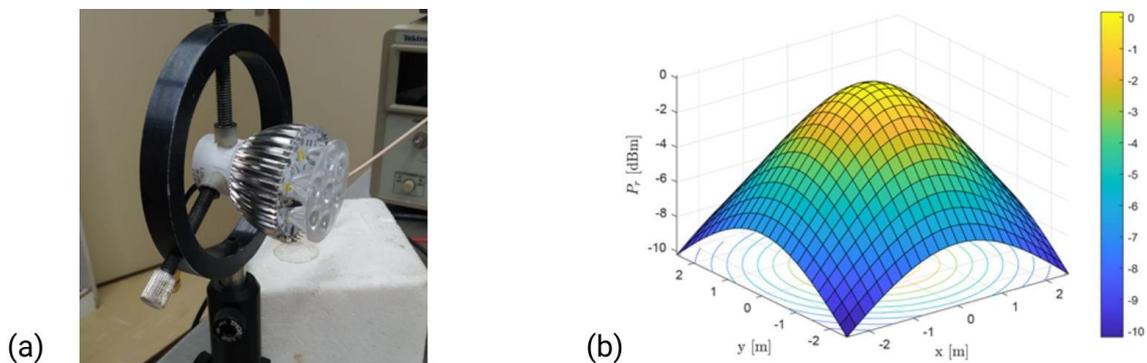


Figura 2 - (a) Luminária LED; (b) distribuição de potência em uma superfície.

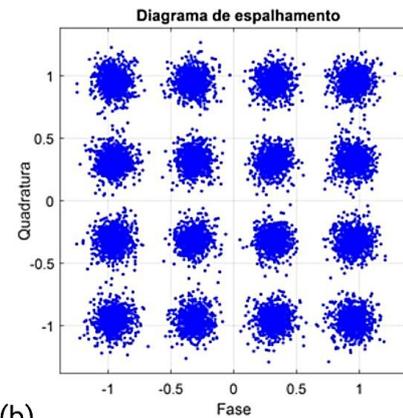
APLICAÇÕES

A comunicação sem fio em luz visível é usada em diversas aplicações, aproveitando-se da infraestrutura de iluminação com LEDs. A existência de um LED em um *smartphone* permite seu emprego, por exemplo, em um sistema de controle de acesso, onde se pode transmitir um código ou chave para uma unidade de processamento, liberando uma porta ou mesmo acesso a outro dispositivo. Em outra, aplicação, pode-se utilizar tal

comunicação em sistemas de posicionamento e localização em ambientes internos, onde luminárias LEDs fixas no teto atuam como pontos de referência para o cálculo da posição de um objeto no ambiente em aplicações de IoT. Em outro emprego, faróis de LEDs são usados para comunicação entre veículos e também com a infraestrutura de ruas e rodovias, podendo-se vislumbrar uma situação em que veículos estejam conectados e serem controlados pela gerência da rede. Em outra aplicação, a iluminação pública pode servir de ponto de acesso, permitindo que usuários tenham acesso à internet através de seus dispositivos. Em conclusão, esta tecnologia permitirá atender a crescente demanda por maiores taxas e conectividade, auxiliando na implantação da rede de Internet das Coisas (IoT).



(a)



(b)

Figura 3 - (a) Comunicação por luz visível; (b) constelação 16-QAM recebida.



REFERÊNCIAS

- [1] A. G. Bell, W. G. Adams, Tyndall, and W. H. Preece, “Discussion on the photophone and the conversion of radiant energy into sound,” *J. Soc. Telegraph Eng.*, vol. 9, no. 34, pp. 375– 383, 1880.
- [2] F. Gfeller and U. Bapst, “Wireless In-House Data Communication via Diffuse Infrared Radiation,” *Proc. IEEE*, vol. 67, no. 11, Nov. 1979, pp. 1474–86.
- [3] M. S. Islim et al, “Towards 10 Gb/s orthogonal frequency division multiplexingbased visible light communication using a GaN violet micro-LED”, *Photon. Res.*, v. 5, issue 2, A35-A43, 2017.
- [4] S. Vappangi and V. V. Mani, “Concurrent illumination and communication: A survey on Visible Light Communication,” *Physical Communication*, vol. 33, pp. 90–114, 2019.
- [5] M. de Oliveira, “Comunicações por Luz Visível: análise de comunicação cooperativa e amplificação”, Tese de Doutorado, CPGEI/UTFPR, 2022.