

## Modulação com Controle de Luminosidade para Comunicação através de Luz Visível

Luis Alberto de F. Soares\* e Jaime Portugheis

### Resumo

O projeto consiste no estudo de sistemas de comunicação através da luz visível, VLC (do inglês, Visible Light Communication), utilizando modulações com controle de luminosidade. A fonte de dados será o diodo emissor de luz, LED (do inglês, Light Emitting Diode), e o receptor um fotodetector. O projeto possui dois objetivos principais: 1) o estudo de conceitos de transmissão digital, dispositivos ópticos e espaço de sinais e 2) a comparação entre os métodos de modulação utilizados em sistemas VLC com controle de luminosidade.

### Palavras-chave:

Sistemas VLC, Modulação Digital, Controle de Luminosidade.

### Introdução

Sistemas de comunicação através de luz visível (VLC) se utilizam de luz com comprimentos de onda visíveis ao olho humano. O componente óptico responsável por transmitir dados em um sistema VLC é um LED que tem a característica de comutar sua intensidade luminosa em vários níveis. O primeiro método de modulação utilizado com apenas dois níveis de intensidade foi OOK (do inglês, On-Off Keying). Porém para que fosse possível a regulagem da luminosidade e por sua vez, o nível de comutação de informação, foram necessárias modificações que fizeram com que novas técnicas surgissem. O objetivo do projeto é duplo. Primeiro, o estudo dos conceitos de transmissão digital, dos dispositivos ópticos utilizados e a teoria de transmissão de sinais por meio do espaço livre [1]. Segundo, simular e verificar os resultados das modulações derivadas da OOK [2] para poder averiguar qual delas é a mais indicada para o sistema VLC.

### Resultados e Discussão

As modulações utilizadas são todas derivadas da modulação OOK. No entanto, dada a restrição de controle de luminosidade, faz-se necessário inserir algum controle desta luminosidade. Isto deu origem ao desenvolvimento de outras modulações como a VOOK (do inglês, Variable On-Off Keying), a VPPM (do inglês, Variable Pulse Position Modulation) e a MPPM (do inglês, Multiple Pulse Position Modulation) [2].

Todas essas modulações foram normalizadas em relação a potência requerida da OOK. A potência requerida é uma medida de quanta potência é necessária ceder para o sistema para estabelecer uma determinada probabilidade de erro de bit, BER (do inglês, Bit Error Rate). De acordo com a teoria de espaço de sinais a BER pode ser aproximada por  $Q(d_{min}/2\sigma)$ , onde  $d_{min}$  é a distância euclidiana mínima entre um par de sinais da modulação e  $\sigma^2$  é a variância do ruído. Pode-se mostrar que a potência normalizada para qualquer sistema é dada por  $P_n \approx (d_{ook}/d_{min})P_{ook}$ , onde  $d_{ook}$  e  $P_{ook}$  são a distância euclidiana e a potência da modulação OOK, respectivamente. Sendo assim, a potência normalizada,  $P_n = P/P_{ook}$ , tanto para VOOK e VPPM, é dada por

$$P_n = \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{\beta}}, & 0 < \beta < 0.5 \\ \sqrt{\frac{2}{1-\beta}}, & 0.5 < \beta < 1 \end{cases}$$

onde,  $\beta$  é o fator de "dimming".

A figura 1 mostra  $P_n$  como função do fator de dimming. A figura 1 também mostra  $P_n$  para a modulação MPPM [2].

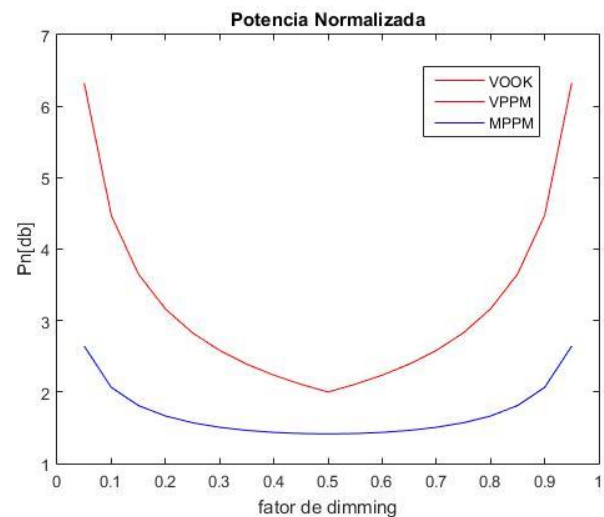


Figura 1. Potencia Normalizada para Modulações VOOK, VPPM e MPPM.

### Conclusões

Com os resultados obtidos na figura 1, é possível notar que a modulação MPPM apresenta desempenho mais satisfatório que a VOOK ou a VPPM para sistemas com controle de luminosidade.

Com os dados obtidos das relações das distancias euclidianas também foi possível averiguar a eficiência espectral dos sistemas e pode-se concluir que comparado a outras modulações, a MPPM apresenta eficiência espectral superior com mais níveis de controle de luminosidade, com menos requisito de potência que seus concorrentes e isso a torna a escolha mais sensata.

### Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Unicamp e ao CNPq por me darem a oportunidade de aprimorar ainda mais o meu conhecimento. Gostaria também de agradecer ao meu orientador, Jaime Portugheis, pelo auxílio na compreensão da teoria e no desenvolvimento das simulações.

[1] Haykin, S. e Moher, M., *Communication Systems*, 2009, Wiley.

[2] Lee, K. e Park, H., *Modulations for Visible Light Communications With Dimming Control*, *IEEE Photonics Technology Letters*, 2011, vol. 23, no. 16.