

BLIND REVIEW VERSION

1. *Redes de computadores, disciplina Redes de Computadores II, Instituto Federal de Santa Catarina
Campus São José
Rua José Lino Kretzer, 608 - Praia Comprida - CEP 88103-310*

Resumo – Apresentado em março de 2011, por Harald Haas, o conceito de *Li-Fi* vem ganhando cada vez mais popularidade conforme a tecnologia avança. Tal tecnologia objetiva resolver, em casos específicos, problemas de congestionamento da faixa atual de 2,4 GHz, além de permitir uma velocidade de transmissão maior. Em decorrência de a transmissão ser no espectro de luz visível, faixa que vai de 400 THz à 789 THz, maior é capacidade de transmissão de dados. Por outro lado, em virtude da altíssima frequência, a distância de alcance é muito curta, ou seja, é necessário mais potência para a transmissão do sinal para longas distâncias, o que diretamente implica em um maior gasto energético.

Palavras-chave – *Li-Fi*, luz visível, congestionamento, VLC, rede híbrida

1 Introdução

O crescente número de dispositivos móveis, e os vários tipos de serviços para os mesmos, estão saturando o espectro de radiofrequência (RF) atual (HAAS et al., 2014). A tecnologia *Li-Fi*, que usa o espectro ótico não usado e não regulamentado de 300 THz para a comunicação sem fio, recentemente foi considerada como uma solução para este problema. Uma vantagem da *Li-Fi* é que esta não causa interferência nos sistemas de comunicação por radiofrequência existentes, em decorrência de ela utilizar uma parte completamente diferente do espectro eletromagnético. Isso possibilita a criação de redes híbridas que combinam *Li-Fi* com sistemas RF (HAAS et al., 2015).

Em uma situação de ambientes internos, estima-se que uma integração híbrida de *Wi-Fi* e *Li-Fi* melhore tanto a vazão de dados quanto a qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*) do sistema. Como a tecnologia por luz não afeta a cobertura da rede *Wi-Fi*, a vazão de dados total do sistema é sempre maior do que *Li-Fi* e *Wi-Fi* separados (HAAS et al., 2015).

O *Li-Fi* é o termo que alguns tem usado para nomear a versão barata e rápida dos sistemas de comunicação sem fio, que é a versão ótica do *Wi-Fi* (SHARMA, 2014).



Figura 1 – Bulbo *Li-Fi* (SHARMA, 2014).

Li-Fi significa “Light Fidelity”, sendo um ramo da comunicação ótica sem fio que é uma tecnologia emergente. A luz pode alcançar praticamente qualquer lugar, então a comunicação pode ir junto facilmente (KARTHIKA e BALAKRISHNAN, 2015).

A ideia de *Li-Fi* foi introduzida pelo físico alemão, Harald Haas, a qual ele também se referiu como “dados através da luz”. O termo *Li-Fi* foi primeiramente usado por Haas no evento “TED Global” a respeito da Comunicação por Luz Visível (VLC – Visible Light Communication) (SHARMA, 2014).

Visible Light Communication (VLC) é uma nova forma de comunicação sem fio que usa a luz visível. Os transmissores típicos de luz visível são os LEDs que emitem luz visível e os receptores são os fotodiodos e os sensores de imagem (KARTHIKA e BALAKRISHNAN, 2015).

Os principais componentes do sistema *Li-Fi* são: Um LED branco de alto brilho que atua como transmissor, um fotodiodo de silício que reage à luz visível que atua como receptor.

LEDs podem ser ligados e desligados para gerar diferentes combinações de zeros e uns. Para gerar um novo fluxo de dados, estes podem ser codificados na variação da taxa de piscadas do LED. Para o olho humano, a luminosidade do LED é constante em decorrência da alta taxa de oscilação. A taxa de transferência do VLC pode ser aumentada através da transmissão paralela de dados usando um arranjo de LEDs o qual cada LED transmite um fluxo diferente. O sistema de emissão do *Li-Fi* consiste em um bulbo, o circuito amplificador de potência do sinal RF, a placa de circuito impresso e o encapsulamento (SHARMA, 2014).

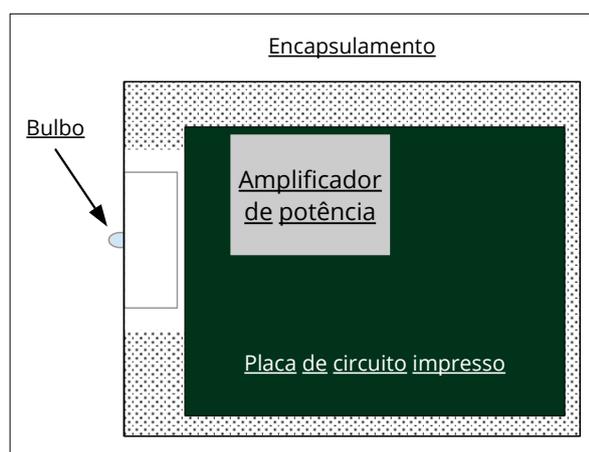


Figura 2 - Diagrama de blocos do sistema interno do *Li-Fi*. Fonte: SHARMA, 2014 (modificado)

A Fig. 2, mostra o diagrama de blocos da parte interna do transmissor do sinal. Segundo SHARMA (2014), um sinal de radiofrequência é gerado pelo amplificador de potência, sendo guiado para dentro de um campo elétrico próximo ao bulbo. A alta concentração de energia no campo elétrico vaporiza o conteúdo do bulbo para um estado de plasma no centro do bulbo, sendo este plasma o gerador da intensa fonte luz. Todos estes componentes internos estão contidos em um encapsulamento de alumínio.

O bulbo é o coração do emissor *Li-Fi*. Ele consiste em um bulbo selado que está incorporado em um material dielétrico. Este arranjo é mais viável do que as fontes de luz convencionais que inserem eletrodos degradáveis dentro do bulbo. O material dielétrico

possui dois propósitos. Ele atua como um guia de onda para o sinal RF gerado pelo amplificador de potência e também atua como um concentrador de campo elétrico que foca a energia dentro do bulbo. A energia do campo elétrico aquece rapidamente o material no bulbo para um estado de plasma que emite a luz de alta intensidade (SHARMA, 2014).

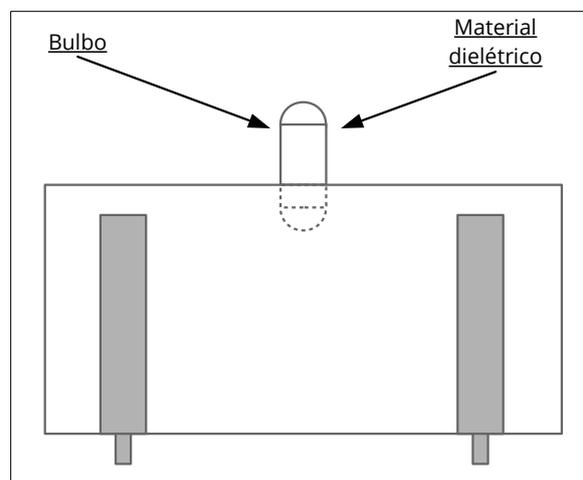


Figura 3 - Diagrama de blocos do acoplamento do bulbo. Fonte: SHARMA, 2014 (modificado)

A estrutura é mecanicamente robusta sem degradações típicas e mecanismos de falha associadas aos eletrodos de tungstênio e vidro em relação às selagens metálicas, resultando em uma vida útil de mais de 30 mil horas. Adicionalmente, a combinação única do plasma de alta temperatura e os eletrônicos de estado sólido digitalmente controlados resultam em uma produção econômica de família de lâmpadas, que podem variar de 3000 a mais de 100000 lumens (SHARMA, 2014).

2 O funcionamento do sistema

É estabelecido um sistema de recepção de dados híbrido *Li-Fi/Wi-Fi*, ou seja, o foco do uso da tecnologia de transmissão de dados por luz é ter o melhoramento no recebimento dos dados por parte dos clientes conectados.

Esta rede híbrida cobre uma área interna através de vários pontos de acesso *Li-Fi* e um único ponto de acesso *Wi-Fi*. Neste cenário, os usuários estão uniformemente distribuídos e movem-se randomicamente. Todos os pontos de acesso (AP - *Access Point*) estão conectados a uma unidade central. Cada AP *Li-Fi* é uma grande lâmpada de diodo emissor de luz (LED - *Light Emitter Diode*) que contém vários LEDs de baixa potência, e cada usuário

tem um fotodetector. Assume-se que todos os fotodetectores estão orientados perpendicularmente ao chão. Isso significa que o ângulo de irradiação é igual ao ângulo de incidência. O campo de visão (FoV – *Field of View*) dos LEDs e fotosensores pode ser definido para que a transmissão possa ser confinada a um determinado espaço. Além disso, as paredes da sala bloqueiam completamente a luz, o que significa que não há interferência de co-canais entre as salas. Dessa forma, cada módulo *Li-Fi* neste modelo cobre uma área confinada, conhecida como *attocell*. Em cada célula, os pontos de acesso *Li-Fi* usam a mesma largura de banda de modulação. Os usuários que estiverem na área de fronteira e forem servidos por um AP *Li-Fi*, experimentarão interferência de co-canal (CCI – *Co-Channel Interference*). Assume-se que o ponto de acesso *Wi-Fi* cobre toda a área interna (HAAS et al., 2015).

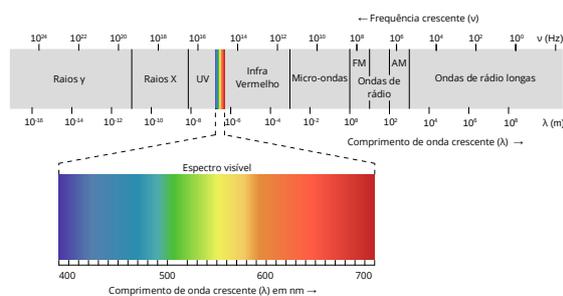


Figura 4 – Espectro de luz visível. Fonte: Wikimedia Commons (Modificado)

A Fig. 4 mostra o comprimento de onda λ em relação à frequência, destacando a faixa de frequência correspondente à luz visível, que vai de 400 THz à 789 THz, com comprimentos de onda de 750 nm à 450 nm, respectivamente.

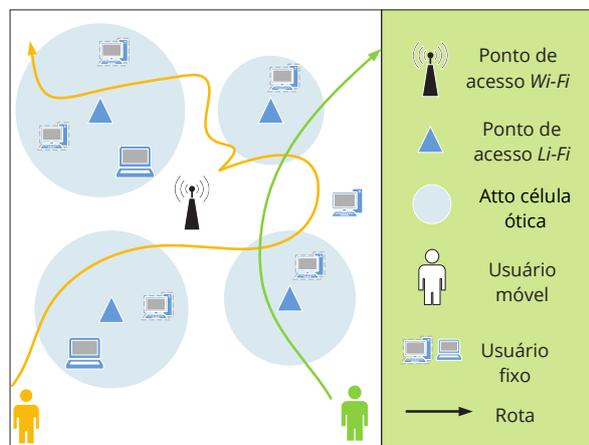


Figura 5 – Esquemático do modelo de sistema de rede híbrida (HAAS et al., 2015).

A Fig. 3 esquematiza o cenário do modelo apresentado. Nela, há a representação

das pequenas ilhas contendo os equipamentos receptores de *Li-Fi*, bem como o ponto de acesso do mesmo em cada uma dessas ilhas. É representado, também, o ponto de acesso *Wi-Fi* que tem cobertura em toda sala, e manterá o usuário conectado à rede durante as trocas de células *attocell*. Essas trocas de células são chamadas de *handover*.

HAAS et al. (2015) explicam sobre o balanceamento de carga necessário entre as redes *Wi-Fi* e *Li-Fi* necessitar ocorrer em intervalos regulares devido à flutuação das informações de estado do canal (CSI – *Channel State Information*) dos usuários móveis. É ideal que o CSI em ambos os meios estejam constantes por um curto período, definindo um estado, e mude para um novo valor no próximo estado. Em cada estado, assume-se que a configuração de balanceamento de carga seja fixa e os usuários recebam taxas de transmissão de dados constantes.

O algoritmo dinâmico de balanceamento de carga é executado pela unidade central com o *handover overhead* sendo levado em consideração. Este algoritmo é executado em cada estado, incluindo a associação no ponto de acesso e alocação de tempo. Devido à pequena cobertura do *Li-Fi*, quando o usuário movem-se, causam *handover*. Geralmente o *handover overhead* em cenário internos é na ordem de milissegundos (HAAS et al., 2015).

Dessa forma, a taxa de recebimento de dados por parte dos usuários é pouco afetada, tornando, assim, viável essa aplicação. Salienta-se, ainda, que, por ser uma rede híbrida, o usuário ainda possui conexão com a rede *Wi-Fi*, o que mantém a conexão do mesmo à rede até que ele se conecte ao próximo AP *Li-Fi*.

A Fig. 6 ilustra um cenário com menor ocorrência de *handover* (Caso 1) e um com maiores chances de ocorrência de *handover* (Caso 2). Haas e sua equipe simularam o comportamento de conexão dos usuários em cada cenário com diferentes taxas de transmissão.

A Fig. 7 ilustra o comportamento do sistema nos momentos de *handover*. Dentro da célula *Li-Fi* há o círculo de *handover*, que é a fronteira para o qual o algoritmo de *handover*, na unidade central, começará a calcular a nova conexão. Dentro do círculo de *handover*, os usuários ficam conectados ao ponto de acesso *Li-Fi* e podem usufruir da alta taxa de recebimento de dados. Quanto maior for a necessi-

dade de alta velocidade, mais para dentro do círculo de *handover* o usuário deve estar, do contrário, o desempenho começa a diminuir e para tentar mantê-lo, recorre-se ao *Wi-Fi*, que ainda assim possui menor velocidade de transmissão.

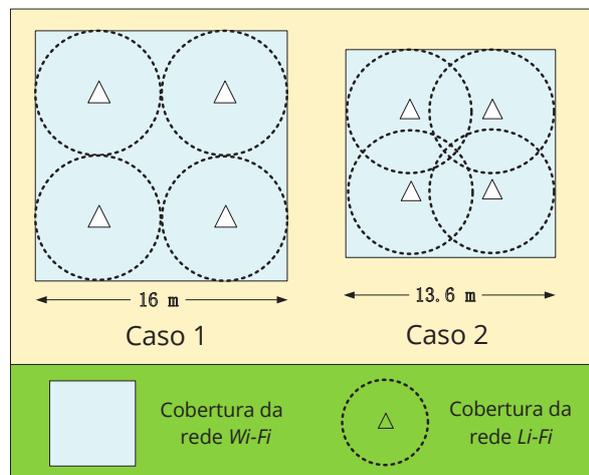


Figura 6 - Simulação de cenário com salas de tamanhos diferentes mas com o mesmo raio de cobertura dos pontos de acesso *Li-Fi* (HAAS et al., 2015).

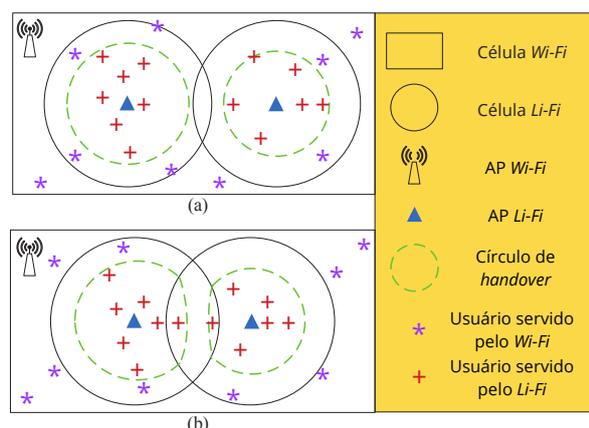


Figura 7 - Ilustração que representa o círculo de *handover* (HAAS et al., 2015).

Nesse sistema, Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência (OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) é empregada. Devido à intensidade da modulação e da detecção direta utilizada no *Li-Fi*, apenas sinais de valores reais podem ser transmitidos aos receptores. Portanto, pelo menos a metade das subportadoras devem ser usadas para verificar o conjugado de Hermitian do símbolo de valor complexo após a modulação.

3 Conclusão

Os estudos feitos por Haas e sua equi-

pe apresentam um modelo que pode acelerar drasticamente o desempenho em redes sem fio. No estágio atual da tecnologia, faz-se o uso juntamente com a rede *Wi-Fi*, já que o envio de dados do usuário para o AP é mais dificultado, recorrendo-se, assim, à tecnologia mais tradicional. No entanto, para o recebimento de dados, o sistema é plenamente funcional. Através do uso de fotosensores, o usuário capta o sinal que vem de LEDs ligam e desligam rapidamente.

Outro ponto interessante é justamente o fato de se usar o recurso de iluminação já existente no ambiente para a transmissão dos dados, além deste não sofrer interferências de co-canais em virtude de o espectro magnético utilizado não ser capaz de atravessar as barreiras do ambiente a qual está confinado.

Além disso, o uso de outro espectro de frequência para a transmissão de dados, diminui a saturação do espectro de 2,4 GHz, que é utilizado por uma infinidade de dispositivos sem fio.

4 Referências

- HAAS, Harald et al. *Dynamic Load Balancing with Handover in Hybrid Li-Fi and Wi-Fi Networks*. 2014.
- HAAS, Harald et al. *Dynamic Load Balancing with Handover in Hybrid Li-Fi and Wi-Fi Networks*. 2015.
- KARTHICA, R et al. *Wireless Communication using Li-Fi Technology*. International Journal of Electronics and Communication Engineering, - Volume 2 - Março de 2015.
- SHARMA, Rahul R et al. *Li-Fi Technology - Transmission of data through light*. Int.J.Computer Technology & Applications - Volume 5 - Fevereiro de 2014.