

COMUNICAÇÃO WIRELESS POR LUZ

Antonio Nixon Moura de Medeiros¹, Taciano Amaral Sorrentino²

Resumo: Dispositivos eletrônicos móveis se tornaram muito populares nos últimos anos. A capacidade de armazenamento e processamento desses dispositivos cresce surpreendentemente, gerando uma grande demanda do espectro eletromagnético por recursos como o wireless na Internet. Assim, há uma alternativa para complementar a atual infraestrutura wireless da Internet, a Comunicação por Luz Visível. Light-Fidelity ou Li-Fi é uma tecnologia que utiliza Diodos Emissores de Luz para transmissão de dados sem fio. O princípio desta tecnologia consiste em combinar as técnicas de modulação com a alta frequência de variação da intensidade luminosa, invisíveis ao olho humano, para serem aplicadas nos transmissores/receptores desses sinais. Com o uso dessa tecnologia todo equipamento de iluminação pode ser utilizado como um possível ponto de acesso de dados através do espectro de luz visível. Com essa tecnologia há um aumento na taxa de dados, facilidade de implementação e baixo custo de dispositivos. Sendo assim, a proposta deste artigo é apresentar aos leitores a ideia básica do seu funcionamento e desafios relacionados com o seu desenvolvimento.

Palavras-chave: Wireless; Li-Fi; Wi-Fi.

1. INTRODUÇÃO

Boa parte da população está familiarizada com o Wireless Fidelity (Wi-Fi), que utiliza a banda IMS (*Industrial Scientific and Medical*) que são bandas reservadas internacionalmente para o desenvolvimento Industrial, científico e médico radiofrequência (RF) operando de 900 MHz, a 2,4 GHz ou 5,8 GHz, para equipar acesso à Internet em torno de casas, escolas, escritórios e em locais públicos. Hoje parte da sociedade tornou-se bastante dependente deste serviço quase onipresente. Mas, como a maioria das tecnologias, há limitações em seu uso. Enquanto o Wi-Fi pode cobrir uma casa inteira, a largura de banda é tipicamente limitada a 50-100 megabits por segundo (Mbps) hoje usando o padrão IEEE802.11n. Este é um padrão cuja velocidade costuma ser suficiente para atividades de entretenimento, como também para maioria dos serviços atuais da internet, mas insuficientes para grandes arquivos de dados como filmes em HDTV, bibliotecas de músicas e videogames [1].

Quanto mais a população se torna dependente da "nuvem" ou dos próprios "servidores de mídia" para armazenar todos os seus arquivos, incluindo filmes, música, imagens e jogos, mais se requer largura de banda e velocidade. Assim sendo, tecnologias baseadas em radiofrequência, como o Wi-Fi de hoje, não são o caminho ideal. Em consequência da situação, o limitado espectro de radiofrequência disponível está sujeito a uma reutilização espacial agressiva e à interferência co-canal tornou-se um importante fator limitador de capacidade. Portanto, tem havido muitos avisos independentes de uma iminente "crise do espectro de RF", à medida que as demandas de dados móveis continuam a aumentar, enquanto a eficiência satura, apesar dos padrões recém-introduzidos e dos grandes avanços tecnológicos no campo.

Na última década, esforços significativos de pesquisa foram concentrados para explorar faixas alternativas do espectro eletromagnético que poderiam potencialmente descarregar uma grande parte do tráfego de rede do domínio RF lotado. Resultados muito interessantes foram recentemente relatados a partir do uso do milímetro onda (mmWave) de comunicação na região de 28 GHz, bem como a partir do uso do infravermelho e de luz visível. A comunicação por luz visível é particularmente atraente porque a iluminação é uma mercadoria que foi integrada em praticamente todos os ambientes habitados. Ambiente e infraestruturas sofisticadas já dispõem de diversas aplicações da comunicação por luz [2].

A implementação de pontos de acesso de comunicação por luz pulsada (VLC) se torna simples, já que a infraestrutura de iluminação existente no ambiente pode ser reutilizada para o uso da transferência de dados e existem tecnologias prontas para isto, como comunicação por linha de força (PLC) e powerover-Ethernet (o padrão IEEE 802.3af descreve a tecnologia Power over Ethernet - PoE que permite transmissão de energia

elétrica juntamente com os dados para um dispositivo remoto, através do cabo de par trançado padrão em uma rede Ethernet [3].

A iluminação artificial é muito usada vezes em ambientes internos, mesmo durante o dia, e a energia usada para comunicação seria praticamente zero. Contudo, mesmo que a iluminação não seja necessária, existem técnicas de modulação da intensidade (IM) de energia eficiente que permitiriam comunicação de dados, mesmo que as luzes estejam visualmente desligadas. Esses já são benefícios convincentes, mas não são os únicos. O espectro de luz visível inclui centenas de terahertz de largura de banda livre de licença, 10.000 vezes mais do que todo o espectro de RF até 30 GHz, incluindo o espectro mmWave. Radiação óptica, em geral, não interfere com ondas de rádio ou com a operação de equipamentos eletrônicos sensíveis. Portanto, é ideal para fornecer cobertura sem fio em áreas sensíveis à radiação eletromagnética - alguns exemplos incluem: hospitais, aviões, usinas petroquímicas e nucleares, etc. Além disso, a incapacidade da luz para propagar através de paredes oferece uma leve e inerente segurança [2].

Demorou certo tempo para se conseguir desenvolver componentes tecnológicos para o favorecimento de conexão de altas taxas de dados em VLC. O desenvolvimento do diodo emissor de luz, também conhecido pela sigla em inglês LED (*Light Emitting Diode*) aumentou as intensidades de luz e velocidades de modulação para o VLC. Um dos estudos anteriores sobre LEDs no espectro de luz visível para transmitir dados foi realizado em 2001, quando o projeto de código aberto da Twibright Lab alcançou uma taxa de dados de 10 Mbps usando um LED vermelho. Mais tarde 2003, o consórcio de comunicação de luz visível foi estabelecido no Japão, que foi um passo significativo em direção da evolução do VLC baseado em LED. Desde então, muitas atividades de pesquisa foram conduzidas por universidades, empresas e organizações em todo o mundo que se concentraram em VLC. Da Universidade de Edimburgo, no Reino Unido, o professor Harald Haas tem trabalhado na ideia de que os dados podem ser transmitidos através de lâmpadas LED [4].

Como resultado de esforços de pesquisa na área foi possível oferecer uma alternativa a radiofrequência e a utilização da comunicação VLC, uma nova tecnologia foi apresentada por Harald Haas, chamado de Light-Fidelity (Li-Fi), que é uma tecnologia sem fio que utiliza a luz visível como meio de comunicação em vez de usar a onda básica de rádio [1]. Recentemente, a tecnologia Li-Fi atraiu a comunidade de pesquisa. Estudos foram realizados para melhorar a tecnologia. No entanto, ainda há uma necessidade notável de apoiar o campo de pesquisa devido à modernidade da tecnologia. A tecnologia Li-Fi usa uma lâmpada real de LED para estabelecer uma comunicação de dados. Essa comunicação se dá com a rápida variação da intensidade da luz emitida pelas lâmpadas (modulação), onde essas são ligadas e desligadas em períodos de nanosegundos, o que torna imperceptível a variação da luz aos olhos humanos. Os LEDs diferem de qualquer outro tipo de lâmpadas, pois são semicondutoras. Essa característica dos LEDs dá a eles uma capacidade de ligar e desligar em nanosegundos.

A tecnologia Li-Fi supera várias ineficiências das atuais tecnologias de comunicação sem fio usando a banda RF (por exemplo, Wi-Fi, IrDA (*Infrared Data Association*) associação de fabricantes responsável pelo desenvolvimento do padrão utilizado nos transmissores infravermelho e Bluetooth). Essa nova tecnologia, pode transmitir dados a uma velocidade de mais de 1 Gbps, que é estimado em 10 Gbps, devido à baixa interferência, excedendo todas as tecnologias atuais de RF (Wi-Fi de 150 Mbps, Bluetooth de 3 Mbps e IrDA de 4 Mbps), e como também é mais eficiente em termos de consumo de energia e custo de construção.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. A Tecnologia Li-Fi

A comunicação de dados por luz no espectro visível faz uso desta para transmitir informações. Além disso, a proposta de sistemas VLC é fornecer iluminação e comunicação simultaneamente. Dessa forma, sistemas VLC sempre terão componentes para que possa transmitir e receber luz. A arquitetura do sistema Li-Fi conta com dois componentes optoeletrônicos essenciais: lâmpadas LED e fotodetectores (PDs). Os PDs e outros componentes necessários para a recepção de dados são integrados aos *dongles*, chamados *dongle Li-Fi*.

Na maioria das pesquisas desenvolvidas e registradas na literatura, empregam-se luminárias de LEDs como sistemas transmissores. Nessas luminárias são realizadas a modulação da intensidade (IM) para o envio de dados. Do outro lado, fotosensores são responsáveis por captar a intensidade da luz de maneira direta (Direct Detection), convertendo-a em corrente [6]. A seleção dos LEDs desempenha um papel essencial. Parâmetros como velocidade ON-OFF (Ligar/Desliga) e número de LEDs podem afetar os dados da comunicação. Se a velocidade ON-OFF do LED for rápida, os dados podem ser transmitidos em taxas altas na forma de 1s e 0s. Maior número de LEDs em um sistema resulta em mais transmissão da amplitude do sinal).

2.2. Arquitetura e o princípio de funcionamento do Li-Fi

O esquema geral da construção de um sistema VLC está exemplificado na figura 1. As luminárias LEDs transmitem os dados através da modulação da intensidade (Intensity Modulation). O receptor deve estar na linha de visão do LED, para que receba os raios de luz contendo a informação. De fato, durante a transmissão da luz, haverá perda de intensidade do sinal devido ao espalhamento e absorção da luz pelas partículas. Luz proveniente de outras fontes pode ser detectada e interferir na recepção do sinal. Para diminuir essa interferência, podem ser utilizados filtros. O receptor é atingido pelos raios de luz, alterando diretamente a corrente. Amplificadores são utilizados para que os sinais sejam menos propensos a interferências e ruídos [7]. Entretanto, para se obter a informação original, ocorre a demodulação do sinal. Uma lâmpada LED pode conter vários LEDs, como é o caso de diversas lâmpadas comercializadas atualmente. Estas lâmpadas contêm um driver responsável por controlar a corrente que passa pelos LEDs, influenciando diretamente na intensidade da iluminação. Em outras palavras, a corrente que chega ao LED é controlada através de transistores, que manipulam os sinais elétricos que o LED emite em alta frequência [8].

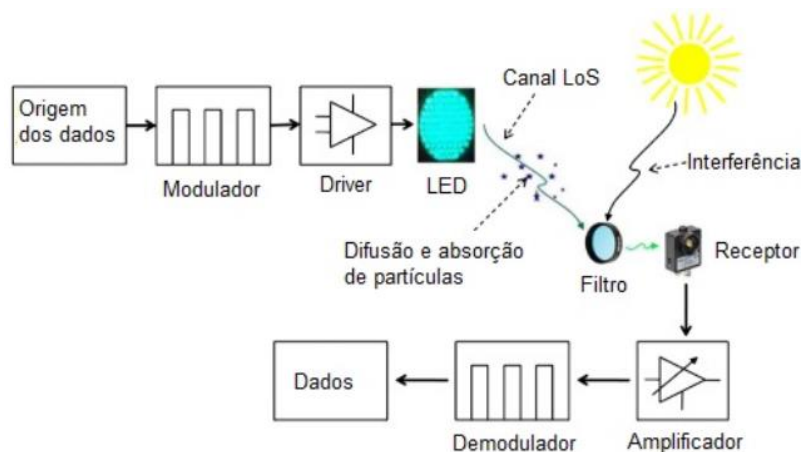


Figura 1: Arquitetura de um sistema VLC [9].

A codificação de dados em luz para transmissão é obtida variando a intensidade de luz do LED, o que faz com que o LED pisque em ON e OFF a uma velocidade muito alta. As piscadas representam os dados que estão sendo transmitidos. Quando o LED é ligado, ele representa logicamente a transmissão de um “1” e, quando é desligado, transmite um “0”. Uma combinação de 1s e 0s gera diferentes sequências de dados. No entanto, a velocidade de cintilação é tão alta que o LED parece ser constante para o olho humano, sem prejuízos à iluminação ambiente [10].

A recepção de dados é a função do dongle, ou mais especificamente, do PD (PD ou fotosensores são sensores de luz ou outra energia eletromagnética que convertem fótons de luz em corrente). Um dongle Li-Fi recebe os dados transmitidos. Ele compreende um PD, um amplificador e um circuito de processamento de dados. No caso do Li-Fi, os PDs são equipados com “dongles” e, portanto, podem ser conectados a dispositivos digitais, como PCs, laptops e telefones celulares, permitindo que eles funcionem como receptores de dados (figura 2).

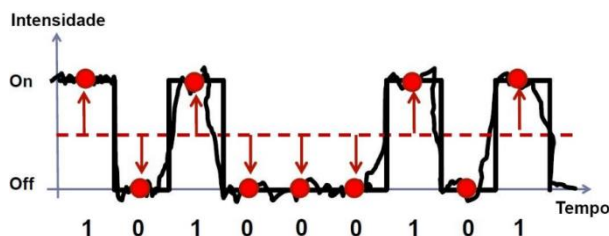


Figura 2: Variação da intensidade de luz no LED on/off. [10].

Os amplificadores e processadores de dados são usados para aumentar a potência do sinal recebido do PD e processá-lo para diminuir qualquer ruído que possa afetar o sinal. Um PD detecta a fonte de luz e converte as mudanças em sua intensidade em um sinal elétrico. Quando o LED acende, o PD registra um binário 1; caso contrário, registra um binário 0. Em seguida, os dados recebidos são amplificados, processados e encaminhados para o usuário [10].

2.3. Variação da intensidade de luz no LED on/off

Os receptores são encarregados por captar a luz e convertê-la em corrente elétrica. Geralmente, são utilizados fotodiodos como receptores em sistemas de comunicação por luz visível [11]. Entretanto, fotodiodos são extremamente sensíveis e captam ondas além do espectro da luz visível, como ultravioleta e infravermelha [12]. No entanto, em um ambiente externo que está exposto à uma certa quantidade luz solar, por exemplo, o fotodiodo falharia em receber os dados por causa da alta interferência do ambiente externo. Portanto, outros componentes podem ser utilizados para captar a luz. Uma alternativa interessante de componentes é a própria câmera dos smartphones, que permite que qualquer celular passe a receber dados em sistemas VLC. Além desses dispositivos, os próprios LEDs podem ser utilizados como receptores pois apresentam características de fotosensores [13]. A figura 3 mostra o diagrama com os componentes do OpenVLC, onde o mesmo LED pode ser utilizado como transmissor (TX) e receptor (RX).

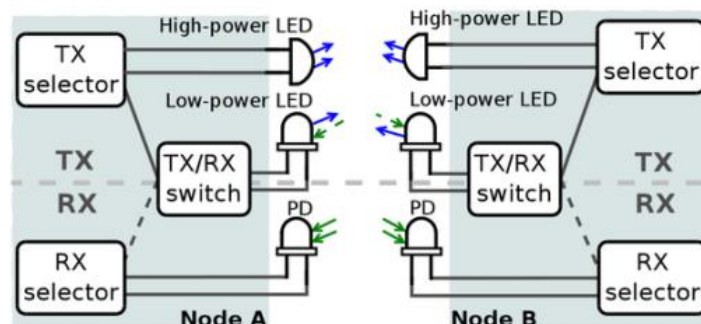


Figura 3: Diagrama do OpenVLC. [12]

O coração da tecnologia Li-Fi é uma lâmpada LED de alto brilho que ao contrário dos fotodiodos, os LEDs têm propriedades que os tornam eficientes em certas situações. Um LED detecta uma faixa de frequência reduzida, quando comparado a fotodiodos, reduzindo a presença de ruídos e interferências. Além disso, a sensibilidade de LEDs é estável, com o passar do tempo. A principal vantagem é o fato de LEDs se comportarem tanto como transmissores quanto como receptores, o que possibilita a criação de um sistema com apenas um LED em cada ponto, além de serem componentes muito acessíveis e populares, facilitando ainda mais seu uso em aplicações VLC [12].

2.4. Pesquisas em Li-Fi

A comunicação através da luz visível tem uma longa história, embora as atuais tecnologias VLC baseadas em LED tenham sido desenvolvidas recentemente em pesquisa. Os primeiros anos da VLC foram meramente baseados no uso de luz solar, fogo ou qualquer tipo de lâmpada para transmitir informação [14]. A primeira transmissão de dados através da comunicação sem fio ótica remonta a 1880 em Washington, DC, quando Alexander Graham Bell inventou o fofone. No experimento de fofone, ele modulou a luz solar para atuar como um meio de transportar sinais de voz e transmiti-lo a uma distância de cerca de 200 m, no entanto, o experimento de fofone não funcionou muito bem devido à interferência severa e ao uso de um receptor comum [15].

Em 2006, o professor Haas e seu grupo de pesquisa publicaram os primeiros resultados de prova de conceito que demonstram que as lâmpadas LED comercialmente disponíveis podem ser transformadas em sistemas de transmissão sem fio. Eles exploraram a alta razão entre pico e média na multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM), que é considerada uma desvantagem nos sistemas de transmissão de RF [16]. As análises e resultados do artigo mencionado provaram a veracidade que as técnicas de OFDM podem sim ser empregadas para modular a intensidade dos LEDs.

Persistindo em seus experimentos, no ano de 2010, Haas e seus colaboradores começaram a trabalhar no Projeto D-Light (dados através da iluminação). De acordo com um membro da equipe, o objetivo do projeto era alcançar um mínimo de 100 Mbps de taxa de dados a partir de uma lâmpada LED comum de prateleira, sob condições normais de iluminação [17]. O sistema D-Light manipulou técnicas OFDM, que possibilitaram variar a intensidade dos LEDs a uma velocidade muito rápida, que não pode ser detectada a olho nu humano [18]. O objetivo do projeto D-Light foi realizado com sucesso com dados de 102,5 Mbps medidos sob condições normais de iluminação [18].

Após um longo tempo de pesquisa na área da comunicação por luz visível, o professor Hass apresentou o termo Li-Fi ao mundo em uma palestra global da TED (Technology, Entertainment, Design) em 2011. Ele detalhou os motivos que o estimulou a encontrar uma alternativa ao sistema atual de transmissão de dados sem

fio e mostrou como o sistema de transmissão de dados sem fio Li-Fi através de iluminação LED consegue resolver problemas no atual cenário do sistema de RF. Ele utilizou um candeeiro de mesa com uma lâmpada LED para transmitir um vídeo de flores desabrochando, que foi projetado em uma tela atrás dele. Durante o evento, ele periodicamente bloqueou a luz da lâmpada para provar que a lâmpada era realmente a fonte de dados recebidos. Ele comprovou uma taxa de transmissão de dados de cerca de 10 Mbps [5].

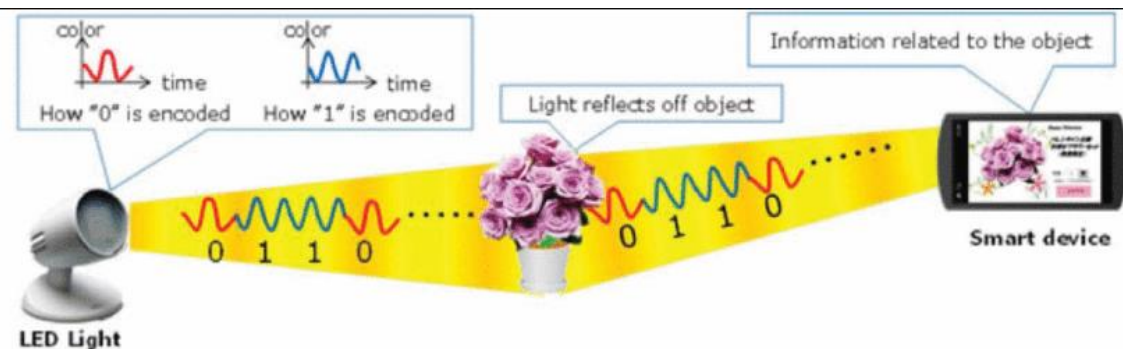


Figura 4: Modulação de cor usada para transmitir e receber dados [5].

Em uma outra linha de pesquisa, grupos das universidades de Edimburgo, St. Andrews, Strathclyde, Oxfore Cambridge cooperou em um projeto de pesquisa chamado Ultra-parallel Visible Light Communication (UP-VLC), que decorreu de outubro de 2012 a fevereiro de 2017. Eles atingiram velocidades recordes de transmissão de dados de até 10 Gbps. Os pesquisadores usaram uma lâmpada de micro-LED para transmitir dados separados de 3,5 Gbps através de cada uma das três cores primárias: vermelho, verde e azul, adicionando uma taxa de transferência combinada de 10 Gbps. Utilizando técnicas de modulação OFDM, o micro-LED atuou como um rápido interruptor ON / OFF, manipulando sua intensidade de luz, permitindo que ele transmitisse pedaços de dados em forma binária (séries de zeros e uns) em alta velocidade [19].

Em 2014, a Fujitsu Laboratories desenvolveu uma tecnologia que conseguia modular a cor da luz emitida pelas lâmpadas LED de uma forma que não é detectável para o olho humano, mas pode incorporar dados de ID (Tecnologia de Identificação) na luz que é lançada no objeto usando modulação de cor, que é uma característica fundamental desta tecnologia. Esse esquema é mostrado na figura 5. Como as cores dos LEDs combinam as três luzes de vermelho, verde e azul para produzir uma gama de cores, modular a intensidade da luz emitida por cada uma das três cores ao longo do eixo do tempo torna possível incorporar dados de ID na luz para o objeto. Dados para um ID são anexados a cada luz LED. Os dados são simplesmente capturados apontando para o objeto com um smartphone, que então captura os dados correspondentes ao ID. Essa tecnologia pode ser usada nas lojas para fornecer informações sobre produtos ou em outras coisas que necessitem de informações para orientar os usuários que utilizem [5].



Figura 5: Sistema Li-Fi E.Leclerc - rede francesa de hipermercados [15].

Em 2016, um grupo de pesquisa desenvolveu um método inovador de faturamento automático usando o módulo Li-Fi, conforme mostrado na figura 6. O sistema visa ajudar a economizar o tempo dos clientes em vez de ficar em uma longa fila para o processo de pagamento. O sistema compreende quatro seções: seção do produto, seção do trole, seção móvel do cliente e seção do portão. Na seção do produto, cada produto é anexado a um módulo Li-Fi que contém o ID do produto e outras informações relacionadas ao produto. Na seção de carrinho, o carrinho é embutido com um transceptor Li-Fi para a transmissão da informação do produto. Na

seção móvel do cliente, o celular é conectado a um transceptor LiFi via USB On-The-Go para recuperar o ID do produto e seu preço.



Figura 6: IU da aplicação móvel E.Leclerc.[5]

O sistema funciona da seguinte maneira: o celular do cliente digitaliza um produto e exibe o ID, o nome e o preço do produto. Quando o produto é colocado no carrinho, que também tem um módulo Li-Fi, suas informações são registradas no carrinho de compras do cliente. Depois que o processo de pagamento é concluído no aplicativo móvel através do sistema bancário, os detalhes da conta são enviados para o módulo de porta, que tem um transceptor Li-Fi. No portão, o carrinho é escaneado para verificação final. Se o processo de pagamento estiver totalmente concluído, o portão será aberto, caso contrário, um alarme será acionado.

Tabela 1: Resumo de estudos anteriores. [5]

Ano	Autor	Principais contribuições
2006	Prof. Harald Hass, Dr. Mostafa Afgani, Hany Elgala, e Dietmar Knipp	Trabalha a ideia de que informação pode ser transmitida através de lâmpadas led. Demonstra que é possível transformar lâmpadas comerciais (led) disponíveis em sistemas de transmissão sem fio.
2010	Prof. Harald Hass, Dr. Mostafa Afgani e Dr. Wasiu Popoola	O objetivo do projeto D-light foi alcançado com sucesso com medidas de transmissão de dados de 102,5 Mbps sob condições de iluminação.
2011	Prof. Harald Hass	Introduziu o termo Li-Fi ao mundo em uma palestra global do TED. Empresas e grupos da indústria formaram a aliança Li-Fi.
2012	Grupo de pesquisadores das universidades de Endinburgh, St. Andrews, Strathclyde, Oxford e Cambridge.	Projeto de pesquisa chamado UP-VLC. Alcançou velocidades de transmissão de dados recorde de 10 Gbps.

2014	Laboratórios Fujitsu	Desenvolveu uma tecnologia que pode modular a cor da luz emitida pelos LEDs, de forma que ela possa incorporar dados de identificação na luz que, no objeto.
2016	Zubin Thomas, Nikil Kumar and D. Jyothi Preshiya	Desenvolveu um sistema de faturamento automático usando o módulo Li-Fi.

2.5. Tendências e status da indústria Li-Fi

A evolução crescente nos avanços da tecnologia Li-Fi ganhou atenção notável não apenas de pesquisadores, mas também de empreendedores, corporações e startups que estão dispostas a fazer parte de algo que venha ser um mercado grande e inovador. A substituição de tendência ao uso de LEDs ecologicamente corretos é outro verdadeiro fator de mudança no futuro do mercado de Li-Fi. Além disso, sua infraestrutura existente torna o investimento na tecnologia mais viável. A implantação da tecnologia Li-Fi em cada lâmpada fornece iluminação, conteúdo baseado em localização e conectividade sob demanda para a internet. Esses recursos levaram um grupo ativo de novas start-ups e grandes empresas em todo o mundo a dedicar seus esforços ao desenvolvimento da tecnologia Li-Fi, com alguns provedores de soluções de iluminação mudando o interesse da iluminação tradicionalmente simples para soluções de iluminação inteligentes. O Li-Fi é um investimento ideal para muitas empresas globais, com grandes possibilidades no desenvolvimento produtos, projetos e tecnologias voltadas para mesma.

2.6. Produtos Li-Fi

No momento, muitas empresas globais têm trabalhado para a fabricação de produtos comerciais prontos para uso Li-Fi. Os produtos Li-Fi se dividem em duas categorias, dependendo de como os dados trafegam na rede: produtos unidirecionais e bidirecionais. Em produtos unidirecionais, os dados viajam de uma maneira da origem para o destino (ou seja, LED para dispositivo receptor). Normalmente, essa gama de produtos é conhecida como sistemas de posicionamento que fornecem serviços baseados em localização. Os produtos bidirecionais são auxiliados por outros meios de comunicação sem fio, como Wi-Fi, Bluetooth ou 3G / 4G.

Uma empresa chamada de PureLiFi, especializada em tecnologia VLC chamada “Li-1st”, lançou o seu primeiro produto Li-Fi comercializado e disponível no mercado. O produto consiste em duas unidades: unidade de teto (ou seja, o LED) e unidade de mesa (ou seja, o dongle). O produto é considerado um produto legado e está sendo vendido mais. Um ano após o lançamento do seu produto, lançou-se versões aprimoradas que permitiram a transferência entre pontos de acesso LED [5].

Uma segunda empresa pioneira na fabricação de produtos Li-Fi, é a Oledcomm, uma empresa francesa especializada em projetar soluções de Li-Fi para sistemas de iluminação baseados em LED. A Oledcomm tem fornecido sua solução em parceria com muitas empresas, equipando seus módulos Li-Fi de duas faixas nos produtos de outras empresas. Dentre dessas citadas, há outras que também desenvolve equipamento para o uso da tecnologia, como a VLNComm, Philips Thorn e OSRAM [5].

2.7. Vantagens do Li-Fi

Uma das características dessa tecnologia é a capacidade com que o Li-Fi trabalha com o espectro de luz visível, ele fornece 10.000 vezes mais largura de banda sem ter que necessite da licença de todo o espectro de RF [20]. A velocidade com que o Li-Fi pode transmitir dados é outro ponto forte desta tecnologia que atinge mais de 1 Gbps, que é estimada em 10 Gbps, devido à baixa interferência, excedendo todas as tecnologias atuais de RF (Wi-Fi de 150 Mbps, Bluetooth de 3 Mbps e IrDA de 4 Mbps [21]).

Eficácia do Li-Fi depende ponto principal, o LED. O LED é, portanto, mais eficiente em termos de consumo de energia e custo de construção [18]. Este tipo de comunicação pode se dizer que existe segurança e sustentabilidade, “atendendo às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras”. Li-Fi é uma tecnologia ecologicamente correta e não possui nenhum problema de saúde, pois usa a luz visível como meio de comunicação, ao contrário das tecnologias de RF, que têm a segurança como uma grande preocupação. Por exemplo, hospitais proíbem o uso de Wi-Fi em algumas áreas, como salas de operação, pois interfere com outros dispositivos, bloqueando os sinais do equipamento de monitoramento. Como a luz não consegue atravessar materiais opacos, não é possível receber dados através desta. As ondas de luz são incapazes de penetrar nas paredes, o que as torna invulneráveis à interceptação e uso indevido. Contudo, como toda

tecnologia, há limitações. Essas limitações no futuro diante, pode ser conquistada com estudos mais avançados na área de modulações dos dados.

2.8. Limitações do Li-Fi

O Li-Fi é uma tecnologia promissora, mas, como qualquer outra tecnologia emergente, tem suas desvantagens. Requer uma linha de visão perfeita para receber dados. A luz não pode passar por objetos; assim, se o receptor estiver bloqueado por qualquer objeto opaco, o sinal é imediatamente cortado. Há interferência de outras fontes de luz, como luz solar e lâmpadas normais. No entanto, a maioria dos novos produtos Li-Fi superou essa limitação, já que o Li-Fi depende da detecção das rápidas mudanças na intensidade da luz e não nos níveis de variação lenta causados por perturbações naturais à luz do dia ou da luz solar. Uma equipe da empresa PureLiFi testou os receptores Li-Fi da empresa ao ar livre com menos de 77.000 lux de luz solar [22].

É um sistema de comunicação sem fio de curto alcance. No entanto, o professor Harald Hass mencionou que grandes melhorias nas taxas de dados, intervalos e cobertura foram relatadas. Para poder transmitir dados, a luz precisa permanecer ligada o tempo todo. No entanto, de acordo com Harald Hass, a luz pode fornecer alta taxa de dados, mesmo se for operada em um nível muito baixo. Como mencionadas, as limitações citadas podem ser consideradas como problemas ou desafios que a tecnologia Li-Fi pode introduzir em comparação com outras tecnologias, como comunicação celular e Wi-Fi.

Vários estímulos industriais de empresas em torno do mundo foram destacados para adotar soluções e produtos compatíveis com Li-Fi. Além disso, este documento fornece uma arquitetura de IoT baseada em Li-Fi, que é fornecida para criar um sistema de IoT em camadas ativado pela tecnologia Li-Fi para ajudar a moldar muitos aplicativos Li-Fi em diferentes setores. Esta arquitetura é considerada como um ponto de partida para o desenvolvimento de um sistema baseado em GeoLiFi (ferramentas de mapeamento robustas e abrangentes para ajudar a identificar, medir e visualizar o tráfego de pedestres) escalável e genérico para ambientes internos e externos [23]. O sistema visa desenvolver um Sistema de Gerenciamento de Conteúdo para conteúdo gerado por Li-Fi e um aplicativo baseado em dispositivos móveis para usuários regulares. Os três primeiros níveis do sistema estão atualmente em desenvolvimento. Quando o sistema é implantado e totalmente funcional, os dados serão coletados e analisados de acordo com diferentes cenários. À medida que a importância do Li-Fi cresce, a necessidade de tais sistemas crescerá conseqüentemente.

3. CONCLUSÕES

O Li-Fi tem recebido considerável atenção de pesquisadores, empresas e universidades em quase todo o mundo. Atualmente, é considerado como uma tecnologia complementar aos meios atuais de comunicação sem fio, significando em sua primeira instância que não substituirá a RF de imediato. No entanto, sua importância tenderá a crescer drasticamente nos próximos anos. Isso destaca a necessidade de chamar a atenção para apoiar o crescimento industrial do seguimento de Li-Fi e desenvolver soluções que sejam compatíveis com Li-Fi, e que o seu uso não fique restrito somente a comunidade de pesquisas, e sim, por pessoas fora das portas dos laboratórios das universidades. Além disso, há uma falta de documentos de pesquisa que cobrem completamente as informações de Li-Fi, mostram como ele evoluiu nos últimos anos e fornecem uma revisão das pesquisas e projetos realizados sobre a tecnologia. Este artigo tem como proposta tentar preencher esse espaço fornecendo uma pesquisa compreensão sobre a tecnologia Li-Fi, que contempla informações básicas necessárias para compreendê-la, além de um passo a passo da pesquisa realizada sobre a tecnologia para fundamentar a importância do seu desenvolvimento.

Para trabalhos futuros e para medir a desempenho e a eficiência do sistema proposto, ele deverá ser testado e avaliado em ambientes internos e externos sob várias condições climáticas e cenários diferentes (por exemplo, chuvoso). Além disso, existem diferentes direções potenciais de pesquisa que podem ser consideradas. A segurança e privacidade da tecnologia Li-Fi ainda é uma questão em aberto. Além disso, recomenda-se estudar como melhorar a cobertura da tecnologia Lifi, estendendo a faixa de transmissão. Além disso, a deve ser estimulada a atenção às técnicas de modulação, que têm sido analisadas como a essência do desenvolvimento da tecnologia, ela e umas das portas da comunicação Li-Fi.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Mutthamma, "A survey on Transmission of data through illumination - Li-Fi", International Journal of Research in Computer and Communication Technology, p. Page 1427, 2013.
- [2] TSONEV, Dobroslav; VIDEV, Stefan; HASS, Harald. Light fidelity (Li-Fi): towards all-optical networking. PROCEEDINGS OF SPIE, San Francisco, California, Unidet States, p. 11, fev. 2018.
- [3] S. F. Tedde, J. Kern, T. Sterzl, J. Furst, P. LUGLI, and O. Hayden. Fully Spray coated organic photodiodes.

Nano Lett., 9(3):980-983,2009.

- [4] KARTHIKA, R. et al. Wireless Communication using Li-Fi Technology. **International Journal Of Electronics And Communication Engineering (ssrg-ijece)**. Thanjavur, India, p. 0-8. 3 mar. 2015. Disponível em: <<http://www.internationaljournalssrg.org/IJECE/2015/Volume2-Issue3/IJECE-V2I3P107.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018.
- [5] (ALBRAHEEM, LAMYA I. et al. **Toward Designing a Li-Fi-Based Hierarchical IoT Architecture**. 2018. 15 f. Academico (Deanship of Scientific Research)- Information Technology Department, King Saud University, Saudi Arabia, 2018. Unico. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8413064/authors>>. Acesso em: 05 set. 2018.)
- [6] Medina, C., Zambrano, M., e Navarro, K. (2015). Led based visible light communication: Technology, applications and challenges-a survey. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 8(4):482.(PDF) *Comunicação por Luz Visível: Conceitos, Aplicações e Desafios*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/320730282_Comunicacao_por_Luz_Visivel_Conceitos_Aplicacoes_e_Desafios [accessed Sep 13 2018].
- [7] Schmid, S., Ziegler, J., Corbellini, G., Gross, T. R., e Mangold, S. (2014). Using consumer led light bulbs for low-cost visible light communication systems. In *Proceedings of the 1st ACM MobiCom workshop on Visible light communication systems*, pages 9–14. ACM.
- [8] Pathak, P. H., Feng, X., Hu, P., e Mohapatra, P. (2015). Visible light communication, networking, and sensing: A survey, potential and challenges. *Ieee communications surveys & tutorials*, 17(4):2047–2077
- [9] Cui, K., Chen, G., Xu, Z., e Roberts, R. D. (2012). Traffic light to vehicle visible light communication channel characterization. *Applied optics*, 51(27)
- [10] Haas, H. (2013). High-speed wireless networking using visible light. *SPIE Newsroom*.
- [11] Schmid, S., Ziegler, J., Corbellini, G., Gross, T. R., e Mangold, S. (2014). Using consumer led light bulbs for low-cost visible light communication systems. In *Proceedings of the 1st ACM MobiCom workshop on Visible light communication systems*, pages 9–14. ACM.
- [12] Wang, Q., Giustiniano, D., e Gnawali, O. (2015b). Low-cost, flexible and open platform for visible light communication networks. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Hot Topics in Wireless*, pages 31–35. ACM
- [13] Wang, Q., Giustiniano, D., e Puccinelli, D. (2014). Openvllc: software-defined visible light embedded networks. In *Proceedings of the 1st ACM MobiCom workshop on Visible light communication systems*, pages 15–20. ACM.
- [14] [L. U. Khan, "Visible light communication: Applications architecture standardization and research challenges", *Digit. Commun. Netw.*, vol. 3, no. 2, pp. 78-88, May 2017.]
- [15] ATA DOWNLOAD ON THE MOVE IN VISIBLE LIGHT COMMUNICATIONS: DESIGN AND ANALYSIS. Linnanmaa: Acta Universitatis Ouluensis C Technica, n. 12, 12 dez. 16. Regular. Disponível em: <<http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526213620.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018..
- [16] [M. Z. Afgani, H. Haas, H. Elgala, D. Knipp, "Visible light Communication Using OFDM," *Proc. IEEE Symp. on Wireless Pervasive Computing*, TRIDENTCOM 2006.]
- [17] G. Povey, D-Light Project Hits Target, Nov. 2011, [online] Available: <http://visiblelightcomm.com/d-light-project-hits-target/>.
- [18] R. A. Ali, "Light fidelity (Li-Fi) technology", *Higher Inst. Appl. Sci. Technol. Commun. Dept.*, vol. 3, no. 3, pp. 493-498, 2015.
- [19] M. Wall, Li-Fi via LED Light Bulb Data Speed Breakthrough, Nov. 2013, [online] Available: <http://www.bbc.com/news/technology-24711935>.
- [20] Manju.P., Minu.M.G., Jerusha.D.G., and Banumathi. J. (2015). Li-Fi Technology Light Source as a Hub of Data Transmission and Projection Display. *i-manager's Journal on Embedded Systems*, 3(4), 35-40
- [21] H. Yaqub, M. Misbah, R. Mahjabeen, R. Shaheen, S. Pervez, "LiFi: The future for indoor wireless data communication", *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 7, no. 10, pp. 823-829, 2016.
- [22] LIGHT becomes data. 1. 2018. Disponível em: <<https://purelifi.com/>>. Acesso em: 05 set. 2018.
- [23] SMART LED's = Geo-Location Infrastructure. 2018. Disponível em: <<http://www.basic6.com/geolifi/>>. Acesso em: 05 set. 2018.