

硕 士 研 究 生 读 书 报 告



题目 可见光通信LiFi技术

作者姓名 徐欢欢

作者学号 21651172

指导教师 李启雷

学科专业 软件工程

所在学院 软件学院

提交日期 二○一七 年 一 月

LiFi,the Visible Light Communication Technology

A Dissertation Submitted to

Zhejiang University

in partial fulfillment of the requirements for

the degree of

Master of Engineering

Major Subject: Software Engineering

Advisor: liqilei

By

xuhuanhuan

Zhejiang University, P.R. China

2017

**摘要**

作为现今中国移动互联网创新技术之一，LiFi也就是可见光通信技术，也逐渐在世界范围内被广泛关注。LiFi技术主要通过LED白灯实现。相比与无线通信WiFi技术，LiFi很好的解决了信号不稳定、网速慢、热点少及耗能大等其他问题。LiFi技术弥补了WiFi技术的补足，但不能取而代之，两种技术相辅相成。此文介绍了LiFi的含义、研究背景与现状，详细说明LiFi的特点及技术优势，并将简单介绍了可见光通信的实现原理，以及将来的发展展望。

**关键词**：可见光通信，LiFi技术，WiFi技术，LED灯，频谱

**Abstract**

As one of the innovative technologies of mobile Internet in China today, LiFi , the visible light communication technology, has been paid more and more attention all over the world. It is mainly achieved through the LED light. Compared with WiFi technology, LiFi solves some problems such as unstable signal, slow speed, less hot spot and high energy consumption . LiFi technology make up for the WiFi technology , but not replace it, they complements each other. This paper introduces the meaning of LiFi, the research background and current situation, the characteristics and technical advantages of LiFi, and the realization principle of visible light communication and the future development prospect.

**Keywords:** VLC, LiFi Technology, WiFi Technology, LED lights, Spectrum

# **引言**

## 概念及定义

VLC：即visible light commiunication,可见光通信技术，又称光保真技术。即以LED照明灯发出的光充当网络信号的传输技术。LED光学网络通过可见光来传输网络信号，可以直接利用路灯、室内照明及公共照明等已有的能耗输出工具来完成双重任务。这种灯光上网的特点是低辐射、低能耗、低碳环保。

光通信技术：光通信技术是一种以光波为传输媒质的通信方式。

LIFI技术：即Light Fidelity，是VLC的同义词，是技术人员参照大众熟知的Wi F“造”出了这样一个新名词。

LED:即Light Emitting Diode的缩写,翻译为发光[二极管](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=55369" \t "http://baike.sogou.com/_blank)，它是[半导体二极管](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=55427" \t "http://baike.sogou.com/_blank)的一种，可以把电能转化成[光能](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=4391602" \t "http://baike.sogou.com/_blank)，与普通二极管一样是由一个[PN结](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=6732543" \t "http://baike.sogou.com/_blank)组成，也具有[单向导电性](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=7671091" \t "http://baike.sogou.com/_blank)。由于工作电压低、工作电流小、抗冲击和抗震性能好、可靠性高、寿命长，尤其是可以通过调制通电电流的强弱方便地控制发光的强弱，LED 最初被用来通信，在许多电子设备中用作信号显示器，在一些光电控制设备中用作光源。

LD：激光二极管本质上是一个[半导体二极管](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=55427" \t "http://baike.sogou.com/_blank)，按照[PN结](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=6732543" \t "http://baike.sogou.com/_blank)材料是否相同，可以把激光二极管分为同质结、单[异质结](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=7900132" \t "http://baike.sogou.com/_blank)（SH）、双异质结（DH）和[量子阱](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=5238558" \t "http://baike.sogou.com/_blank)（QW）激光二极管。量子阱激光二极管具有阈值[电流](http://baike.sogou.com/lemma/ShowInnerLink.htm?lemmaId=428548" \t "http://baike.sogou.com/_blank)低，输出功率高的优点，是目前市场应用的主流产品。

## 主要内容

本此报告目的是分析和总结一种基于可见光的通信技术，介绍了LiFi的含义、研究背景与现状，详细说明LiFi的特点及技术优势，并将简单介绍了可见光通信的实现原理，以及将来的发展展望。

# **LiFi研究综述**

## 研究背景

可见光通信技术最早由日本科研人员提出并展开研究，由于一些暂时无法解决的技术弊端，如无法投射和绕射，VLC研究进程曾一度陷入停滞。到上世纪90年代末，可见光通信又被重新提出，国内通信界也从2006年开始对它进行研究，而它真正被大众所熟知则是在2011年。

2008年10月在国际著名的三大电子展之一的东京国际电子展，日本太阳诱电公司向全世界首次现场展出了一个白光LED的通信系统，不过，它的最大传输距离仅20cm[1]。

而我国也早在2008年由暨南大学教授陈长缨研制出国内首台白光LED可见光通信样机。通信样机也通过了广州市科技局的项巨验收，他的样机的传输距离已大于2.5米。次年11月该套样机亮相深圳高交会并现场表演。2010年5月受上海世博会主办方的特别邀请，这套样机作为中国唯一的白光LED照明通信兼用系统亮相世界博览会并现场长期演示直至展会结束[2]。

继日本、中国之后，美德等国家陆续开展相关研究。2008年10月，美国投入了1.85亿美元的国家基金，资助一项名为“智能照明”的美国国家科学基金计划，为期10年，主题就是探索把无线通信能力嵌入未来的LED 照明安装之中。

2011年，德国物理学家哈拉尔德·哈斯教授在英国爱丁堡大学TED全球公开课上，向科技迷们展现了一个神奇的发明，该项技术也被当年的《时代周刊》评为2011年全球50大发明之一。

复旦大学计算机科学技术学院成功做出实验，利用屋内可见光传输网络信号。研究人员将网络信号接入一盏1w的LED灯珠，灯光下的四台电脑即可上网，最高速率可达3.25G平均上网速率达到150M，堪称当时世界上最快的灯光上网【3】。

目前的无线电信号传输设备存在很多局限性，它们稀有、昂贵、但效率不高，比如手机，全球数百万个基站帮助其增强信号，但大部分能量却消耗在冷却卜，效率只有5%[3]。相比之下，全世界使用的灯泡却取之不尽，尤其在国内LED光源正在大规模取代传统白炽灯。只要在任何不起眼的LED灯泡中增加一个微芯片，便可让灯泡变成无线网络发射器。

## 研究现状

目前在可见光通信研究领域里实际上存在有两个不同的研究流派，一派主张将通信作为LED灯光的附加功能，为LED 装置创造出各种创新的应用领域；另一派主张用可见光通信技术替代已经相当普及的无线网络通信，这决定了必须花大力气解决白光 LED 开关速率不够高的难题。

Li Fi(Light Fidelity)，全称为“可见光无线通信”。又称“光保真技术”，是一种利用可见光波谱(如灯泡发出的光)进行数据传输的全新无线传输技术，由英国爱丁堡大学电子通信学院移动通信系主席、德国物理学家Harald Hass(哈拉尔德·哈斯)教授发明。

Li Fi 是运用已铺设好的设备(无处不在的LED 灯)，通过在灯泡上植入一个微小的芯片形成类似于AP(Wi Fi热点)的设备，使终端随时能接入网络。“该技术通过改变房间照明光线的闪烁频率进行数据传输，只要在室内开启电灯，无需Wi Fi 也便可接入互联网。”Li Fi发明人Harald Hass 教授在第十一届中国国际半导体照明论坛上首次介绍Li Fi 技术时表示

与现有Wi Fi 相比，Li Fi的优势有哪些?“由于光线无法穿过墙壁，Li Fi 技术可能比传统的Wi Fi连接方式更为安全，而且LED灯泡普及率非常高，因此Li Fi技术有望比现有的无线电通讯系统更便宜、更节能。”Harald Haas 表示

“未来的可见光通信既安全又经济。”一位业内专家也同样认为。究其原因，这位专家从五个方面进行了分析：一是光源易得；二是应用范围更广；三是传输速度快；四是Li Fi不需要再新建任何基础设施，而传统射频信号的发射需要能量密集的设备；五是技术安全性极高。

实际上，可见光通信的研究在国外已经有十多年的历史。目前可见光通信已成为美国、日本和欧洲等国家在国际通信研究领域的必争之地，我国 863 计划于2011年部署可见光通信技术研究后，经过多年科技攻关，已在调制带宽拓展、实时传输速率、融合网络架构等方面取得了一批重要研究成果。

正如 Harald Haas 所言，“这不仅仅是一个行业，未来还有各种各样的机会，能够创造一些新生产业。我们看到了现在Li Fi 的通讯需求，我们能够重新定义LED 照明，赋予LED照明更多的内涵和功能，这是我们正在经历的变革，让我们共同期待 LED的下一个‘爆炸式’应用——Li Fi的到来[4]。

## 发展方向

相比上网，可见光通信更恰当的用途是下载。

通过改进智能手机上的LED(如摄像头、闪光灯等)，可以解决数据上的问题—这种思路是能够将LiFi迅速推向大众消费市场的最快方式。目前，PureVLC公司己经开发出了一款智能手机应用，该应用成功地让iPhone实现了低速率的数据传输。

在海底，无线电通信会受到阻隔，但光线会畅通无阻，在海底放入光源，就可以实现海底设备之间进行通信。

在石化工厂，如果使用无线电频率，可能会使天线产生火花，这是极不安全的，而使用可见光进行通信则没有这些安全隐患。

在医院，可以避免不同的医疗仪器之间的无线电干扰，提高效率和精确性。

在飞机上，可以通过机舱里的灯光来下载资料。

在智能交通系统上，汽车可以通过LED灯、尾灯，交换信息，减少意外发生[5]。

## 场景应用

Li Fi的主要应用集中在控制、通信、定位三个方面[6]。

大型展馆室内定位。利用HT-ADVANTECH博物馆应用解决方案，可以提供室内人员位置监测、室内导航、智慧导览服务，创造一种新的艺术品与游客之间互动的模式。南昌博物馆在全国首推智能导览系统。H T-A DVA N TECH博物馆LiFi能导览系统的优势主要表现在:专业的博物馆灯光设计、具备多媒体数字导览功能、用户界而友好、定位精度高，可达10cm精度、提供基于地理位置的导航服务及增值业务、定位时间短，速度快、无需增加其他额外设备。

DIY零售行业数字导购。与大型场馆的室内导览不一样的是，针对零售行业提供两种用户体验:一是以顾客需求为导向进行产品信息推送，二是以商家为导向进行广告及促销信息推送，丰富了每个购物区域的用户体验，并可提供给顾客及时的物品促销信息。

优化大型仓储货物分拣。精准的定位方案，可帮助超市员工在准备网络订单货物分拣时，找到最佳路径。缩短单笔订单工作时间，提高工作效率，是提升物流中心、网络购物中心盈利能力的“金钥匙”。

高安全性局域网解决方案。要确保公司或工作区域无线网络的安全性，WiFi 显然不够安全。光没有穿透性，无法穿透墙壁，利用照明网络替代低安全性WiFi 网络，在室内空间具有显著优势。这一方案适用于对安全要求较高的空间，如会议室、核电站、保密单位等。与无线电通信相比，可见光通信的传输速率、安全性和私密性极高，无电磁十扰和辐射，也无需频段许可授权，借助LED灯就可低成木实现高速率无线通信，是典型的“绿色通信”[7]。

# **LIFI实现原理**

## 关键技术

半导体照明技术与光通信技术相结合，利用LED能够高速切换开关的特点，把信息调制到LED灯光上，实现在有光的地方就能下载数据。

整个系统最关键的核心技术是自制的光检测器与解调器。这两件小小的设备能够将蕴藏着信息的灯光接收并解密转换还原成原数据信号。

## 对光源的要求

目前LiFi技术采用的光源大多数是白光LED，很大一部分的原因得益于LED技术的快速发展。而白LED的实现方式主要有:蓝色LED芯片激发黄绿色荧光粉转换成白光(PC-LED）、紫外光或紫外LED激发三原色荧光粉产生白光和红、绿、蓝3种LED芯片封装在一起混合产生白光(RGB-LED) 。现阶段商用的白光LED产品根据光谱成分的不同，主要分为两大类:PC-LED和RGB-LED，

LED的调制带宽决定了通信系统的信道容量和传输速率，研究LED器件的调制特性是提升新型LiFi系统性能的关键问题之一。LED调制带宽的定义是当LED输出的交流光功率下降到某一参考频率值的50%时(-3dB)的频率。由于PC-LED的黄色荧光粉光谱部分的光电响应比较滞后，导致LiFi光源的调制带宽限制在几个兆赫兹以内，从而限制了整个系统的通信速率，即使在接收端采用蓝色滤波片也未能明显改善该光源的缺陷。因此，越来越多的LiFi研究将光源转向RGB-LED，它能提供较高的调制带宽，在3种颜色的光波上用波分复用的方式提高信道容量，调制不同的数据并行传输，并在接收端通过各颜色的滤波片分别接收3种颜色，有效提高发送效率。但是RGB-LED中不同颜色的LED对于输出光通有不同的工作温度依赖性，为了实现工作温度独立的色点，需要对每个单色LED的反馈循环和驱动电流进行单独控制，这样对器件的制备带来了较高的成本和复杂的调制电路【8】。

由于研究人员不满足LED调制达到的数据传输速率，LiFi的首次提出者Hardal Hass教授用激光二极管替换了现有的LED，利用激光器的高能量与高光效，传输数据的速率可以比LED快10倍。激光照明可以混合不同波长的光产生自色光，类似于RGB-LED。虽然基于LED的LiFi可达到10 Gb/s的数据传输速率，可以改善WiFi中7 Gb/s的数据传输速率上限，但是激光传输数据的速率可以很容易超出100Gb/s。 在通信方面，激光二极管相比于LED，具有更快的响应速度、可以直接进行调制和荆合效率高等优点[9]。

与WiFi只是关注通信性能的提升不同，LiFi的照明系统必须要考虑在提升通信性能的同时保证照明的质量。所以LiFi的光源不管是LED还是LD，都是要输出自光，而自光的颜色质量对于照明来说是非常重要的。 LED灯具颜色特征参数可以由光谱功率分布SPD)来计算。

为了满足室内照明的要求，光源的布局不仅要使得室内的照度和照度均匀度满足相应的标准要求，而且要有利于人的活动安全和舒适。光源要选择高光效、合适色温、长寿命和可靠性的产品。室内的照明布局需要考虑基础照明、重点照明、装饰照明和应急照明的要求。考虑到LiFi系统中不同路径引起的码间干扰、室内人员走动和物理阴影效应对通信系统的影响，在照顾到重点照明部分的LiFi通信的同时，可以采用OFDM(正交频分复用)方案提高LiFi系统的整体性能和实现带宽资源的有效利用。

## 实现原理

LIFI技术运用无处不在的LED灯，通过在灯泡上植入一个微小的芯片，形成类似于AP（WiFi热点）的设备，使终端随时能介入网络，该技术通过改变房间照明光线的闪烁频率进行数据传输。

可见光实现上网的关键：两个“黑匣子”，它们一个是发射装置，一个是接收装置。发射装置和接收装置，都由电学和光学部分组成。发射装置的电学元件有LED驱动电路、电信号处理；光学元件则有LED芯片，发射光学天线等。其作用之一就是给LED灯芯装上编码调制驱动电路，控制它每秒闪烁百万次（肉眼看不到），使灯芯快速传播二进制编码[1]。

研究者通过微芯片控制LED灯泡的明灭变化，将二进制数据编码成光信号:灯亮表示1，灯灭表示0。这些信息能被接收器捕获并解调出来，而人眼却不会察觉到LED灯的变化—因为它们闪烁得实在太频繁了。这类似于通过火炬传输莫尔斯密码，但速度更快，并使用了计算机能够理解的字母表。研究者将网络信号接入一盏功率为1W的LED灯，与接收器相连的4台电脑就能够上网[4]。

## 不足与展望

可实现信息的高速下载，但取代WiFi还言之过早。

白色LED通信上网最大的科技问题是难以建立反向通道。其与其他通信方式相比，可见光通信的通信区域可通过人眼直观的确定，从而加以划分和控制[4]。

上网是要实现数据的下行和上行，既要下载信息，也要能上传信息。

而如果需要上传数据的话，需要在手机和电脑上再装一个LED灯往回照，这显然不太可能，还是有局限性的[4]。

三种数据上传的方案，一种是双向可见光通信，这要求笔记本有LED灯。其次是下行可见光，上行红外。还有就是半光模式，下行可见光，上行采用无线的方式。但各种上传的方案会增加系统的复杂程度。

与现有的WiFi相比，未来的可见光通信讯安全又经济。W iFi依赖看不见的无线电波传输，设备功率越来越大，局部电磁辐射势必增强;无线信号穿墙而过，网络信息不安全。这些安全隐患，在可见光通讯中“一扫而光”。而且，

可见光通信频谱是400T-800THz，比无线电频谱大10000倍，意味着更大的带宽和更高的速度，网络设置又几乎不需要任何新的基础设施

LiFi技术本身也有其局限性，有灯光的地方，就有网络信号。关掉灯，网络全无。如果光信号被阻挡，可以无缝地切换至WiFi信号。

因为，从灯光通讯控制到芯片设计制造等一系列关键技术产品，都是研究人员动手做，，目前还没有商用的芯片组，要真正像WiFi那样走进千家万户，需要通过一系列的产业化发展，还有很长的路要走

LiFi并不是W iFi的竞争对手，而是一种相互补充，有助于释放频谱空间，实现一些无线电波传输所不能实现的功能。LiFi未来能否产生杀手钢式的应用，还依赖人们无限的想像力:汽车间依靠LED车灯来“对话”，飞机客舱里乘客利用头顶的LED阅读灯来上网[3]。

LED灯光通信技术上早已实现，如何应用才是需要全民贡献智慧的地方。

# **小结**

作为相对于WiFi的一种通信技术，LiFi也受到人们越来越多的关注和研究。本文从LiFi研究背景出发，分别从当前研究状况、研究方向和光源布局3个方面来阐述LiFi研究情况。详细说明LiFi的特点及技术优势，并将简单介绍了可见光通信的实现原理，以及将来的发展展望。

# 参考文献

[1]林琪. “LiFi”,让灯泡变成无线路由[J]. 环境, 2013(11):77-79.

[2]半导体照明网. LED可见光通信的发展现状与趋势[J]. 电子元件与材料, 2015(7):59-59.

[3]陈刚. LIFI—“灯光上网”或成为未来新的通信热门[J]. 内江科技, 2013, 34(11):144-144.

[4]本刊综合. LiFi:点盏灯能上网[J]. 发明与创新·大科技, 2014(1):16-17.

[5]陆月. LiFi:用灯光实现上网[J]. 现代班组, 2016(6):16-17.

[6]LiFi创造智慧应用新场景\_黄文彬

[7]王伟, 陈超中. LiFi的光源要求(上)[J]. 中国照明电器, 2015(11).

[8]王伟, 陈超中. LiFi的光源要求(下)[J]. 中国照明电器, 2015(12).

[9]王辰越. LiFi来了:灯泡变身路由器[J]. 中国品牌, 2013(42):80-81.

[10]方晓东. Zigbee,UWB,LiFi三种无线通信技术及其特点[J]. 科技创新与生产力, 2016(10):101-103.

[11]丁举鹏. 可见光通信室内信道建模及性能优化[D]. 北京邮电大学, 2013.