

1 引言

得益于 LED 灯在照明市场的风行，能使 LED 灯兼顾通信和照明两重功能的可见光通信技术因其绿色环保、高速便捷、频谱资源不受限制等优点受到了越来越多的关注。可见光通信技术极有可能在未来的无线通信中占有一席之地，特别是诸如机舱、医院和矿井这些特殊应用场景下。本章将先介绍可见光通信的基本原理，包括基础硬件发光二极管 (LED) 和光电二极管 (PD) 的基本工作原理及可见光通信系统模型，然后将概述 OFDM 在可见光通信中的应用，并且比较 ACO-OFDM 及 DCO-OFDM 之间的区别，最后将简介自适应传输技术及其在可见光通信中的应用。

2 室内可见光通信基本原理

2.1 可见光系统模型

与传统的无线通信技术通过调幅、调频或调相技术将信息调制到射频载波上不同，可见光通信利用的是人眼可见的波长在 380 nm 到 780 nm 之间的电磁波来传输信息，并且是使用强度调制 (Intensity Modulation, IM)、直接检测 (Direct Detection, DD) 技术。如 fig:BasicOpticalSystem 所示，在发射端，利用 LED 灯的易于调制性，在线性范围内，LED 的发光强度与输入电流功率成正比，将电信号调制到 LED 发光强度上；在接收端，利用 PD 的输入反向电流功率与接收到的光强成正比的特性，用光电二极管去检测 LED 发光强度的变化，将光信号转换成电信号。如 fig:BasicOpticalSystem 所示，在电信号域 (Electrisicity domain) 发射端输出电压信号 $x(t)$ 经过发光二极管后变成 LED 的电流 $i_{TX}(t)$ 信号，接收端光敏二极管 PD 输出电流 $i_{RX}(t)$ ，其最后转换成接收信号 $y(t)$ ，在光信号域 (Light Domain)，首先在发射端发光二极管 LED 的电流信号 $i_{TX}(t)$ 转变为发光强度 $s(t)$ ，经过光信道后，在接收端光电二极管 PD 收到的光强信号为 $r(t)$ ，经过光电转换，得到电流 $i_{RX}(t)$ 。所以在实际可见光通信系统中，信号传输由电光变换，光通道传输及光电变换三个过程组成，如 fig:BasebandModle 所示，接收端信号 $y(t)$ 可以表示为：

$$y(t) = x(t) \otimes h_1(t) \otimes h_2(t) \otimes h_3(t) + z(t) \quad (1)$$

其中， $x(t)$ 表示发射端基带电压信号， $h_1(t)$ 表示电光转换系统的时域信道冲激响应 (Channel Impose Response, CIR)， $h_2(t)$ 表示可见光信道的时域信道冲激响应， $h_3(t)$ 表示光电转换系统的时域信道冲激响应 [?]， $z(t)$ 表示信道加性白高斯噪声 (Additive White Gaussian Noise, AWGN)，符从 $z(t) \sim N(0, N_0/2)$ 分布， N_0 为其功率谱密度， \otimes 表示卷积运算。可见光通信系统的噪声，通常主要由热噪声和散弹噪声 [?]。热噪声是一种高斯白噪声，在传统的射频无线通信系统中是很常见的。散弹噪声也可以建模为白高斯噪声来处理，因为两个独立分布的高斯噪声还是高斯的，故我们可以将系统噪声统一建模为与信号独立的高斯白噪声。

Figure 1: 光无线通信系统模型

Figure 2: 光无线通信系统基带处理模型

2.2 光电元器件简介

如前文所述，可见光通信与传统的无线通信最大的区别在于调制与信号检测上，射频无线通信必须把基带信号通过调幅、调频或者调相技术调制到高频率的载波上，在接收端再下变频得到基带信号。但目前可见光通信器件技术还不能直接去调制光的幅度、频率或者相位，而是使用发射端强度调制和接收端直接检测技术。在发射端，需要电光转换器件将电信号转换成光信号，在室内可见光通信中用到的主要是发光二极管 LED，LED 就是调制器，其工作线性范围是一个非常重要的指标，因为如果输入信号的动态变化范围较大，超出 LED 的线性调制范围，则会发生非线性失真，将严重影响通信性能，在可见光 OFDM 系统中尤其要注意这点。在接收端，需要光电转换器件将光信号再变成电信号以进行解调解码，目前大量使用的是光电二极管 PD，光电二极管的 PN 结面积相对比较大，以便接收更多的入射光，其在反向电压的作用下，没有光照时，反向电流非常小，称为暗电流；在有光照时，反向电流急速增大，并且在一定范围内反向电流功率与光照强度成正比。本节将详细介绍发光二极管和光电二极管的通信特性。hello

2.2.1 发光二极管 (LED)

2.2.2 光电二极管 (PD)

3 OFDM 技术在室内可见光通信中的应用

3.1 OFDM 技术简介

3.2 可见光中的 OFDM 调制

4 自适应传输技术简介

5 本章小结