



# 可见光通信设备关键检测指标体系研究

蒋晨杰<sup>1</sup>, 刘桂雄<sup>1</sup>, 吴嘉健<sup>1</sup>, 陈长缨<sup>2</sup>, 龙阳<sup>3</sup>

(1. 华南理工大学机械与汽车工程学院, 广东广州 510640; 2. 暨南大学光电工程系, 广东广州 510632;  
3. 广州广电计量检测股份有限公司, 广东广州 510656)

**摘要:** 可见光通信 (visible light communication, VLC) 设备是当前的研究热点, 但缺乏对其检测的性能指标与相关仪器、标准。该文从一般 VLC 设备工作机理出发, 分析指出 VLC 设备必须具有发射调制性能、抗杂光性能、接收性能等方面性能评价需求, 相应地提出用调制带宽、带内平坦度、直流杂光抵抗比、频闪杂光抵抗比、最小接收照度值、最大接收照度值作为其具体的评价指标体系, 并介绍这些指标的定义、物理意义以及检测方法。该评价指标体系具有全面性、实用性, 可为 VLC 设备检测装置研制与标准制定奠定一定的基础。

**关键词:** 可见光通信; 检测指标体系; 调制性能; 接收性能; 抗杂光性能

中图分类号: TH701

文献标志码: A

文章编号: 1674-5124(2018)09-0009-04

## Research on key detection indicators system for visible light communication equipment

JIANG Chenjie<sup>1</sup>, LIU Guixiong<sup>1</sup>, WU Jiajian<sup>1</sup>, CHEN Changying<sup>2</sup>, LONG Yang<sup>3</sup>

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Department of Photoelectric Engineering, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China;  
3. Guangzhou GRG Metrology & Test, Guangzhou 510656, China)

**Abstract:** Visible light communication (VLC) equipment is a research hotspot at present, but it lacks of detection indicators and related instruments and standards. Based on the working of general VLC equipment, this paper points out that it must contain performance evaluation requirements such as modulation performance, anti stray light performance and receiving performance. Correspondingly, the modulation bandwidth, in-band flatness, anti DC stray light ratio, anti stroboscopic stray light ratio, minimum and maximum received value of illuminance are proposed as the specific detection indicators system. This paper also introduces the definitions, physical meanings and detection methods of these indicators. The detection indicators system is comprehensive and practical, and lays a certain foundation for the development and standard setting of VLC equipment testing device.

**Keywords:** visible light communication; detection indicators system; modulation performance; receiving performance; anti stray light performance

收稿日期: 2018-07-20; 收到修改稿日期: 2018-08-15

基金项目: 广州市科技计划项目 (201604046005)

作者简介: 蒋晨杰 (1994-), 男, 江苏常州市人, 硕士研究生, 专业方向为光机电集成与装备。

通信作者: 刘桂雄 (1968-), 男, 广东揭阳市人, 教授, 博导, 主要从事先进传感与仪器研究。

## 0 引言

可见光通信 (visible light communication, VLC) 技术作为对传统无线通信技术的一项重要补充, 具有着频谱资源丰富、无电磁干扰、保密性好等特点<sup>[1-4]</sup>。随着全球 LED 灯的广泛覆盖以及 VLC 关键技术的不断突破, 其在室内通信与导航系统、光子支付与光钥、数据通信、智慧交通等产业领域有广泛的应用前景<sup>[5-7]</sup>。目前 VLC 设备种类繁多, 针对其设备性能检测仅以对个别模块在不同对象、场景中的通信质量为主, 指标多为通用的误码率、信噪比等<sup>[8-9]</sup>。文献[10]将多脉冲位置调制应用于 LED 交通灯与车辆间的 VLC 系统, 引入系统信噪比作为调制性能指标。文献[11]研究水下垂直 VLC 链路的性能, 通过误码率评价通信质量。这些指标都较单一, 难以全面反映 VLC 设备的性能。为此, 通过对 VLC 设备工作机理分析, 确认其中关键环节, 针对各关键环节提出所需检测的性能, 设计出相应检测指标体系。

### 1 VLC 设备工作机理分析

为准确分析并设计 VLC 设备关键检测指标体系, 需对 VLC 设备工作机理进行分析。图 1 为一般 VLC 设备工作机理图, 其主要包含发射调制、链路传输及接收 3 个环节。其中发射调制环节根据所需发送信号和调制电路生成相应电信号, 用于加载 LED 使其发出光信号; 光信号发出后经由链路传输环节照射向接收端; 接收环节光电探测器接收到信号后将光信号转换成电信号, 经由解调电路解调后获取所需信号。

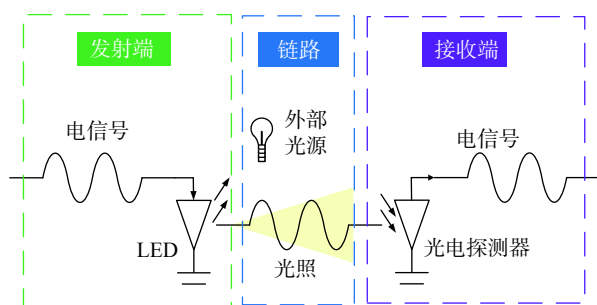


图 1 一般 VLC 设备工作机理图

### 2 VLC 设备关键检测指标体系设计

VLC 设备检测不同于其模块检测过程, 待检 VLC 设备往往封装为成品, 内部电信号较难获取, 下面从 VLC 设备工作机理出发, 对 3 个环节的相关性能做出需求分析。

1) 发射调制性能需求。发射端目前使用典型的 LED 作为光源, LED 调制带宽是 VLC 设备信道容量、传输速率的重要因素, 但其往往受到器件实际调制深度、伏安特性等因素影响, 其指标性能会直接影响 VLC 设备的通信质量。故要求 VLC 设备具有一定发射调制性能要求。

2) 抗杂光干扰性能需求。链路传输中的外部环境为 LED 信号光线传输所经环境, 该空间不可避免地充斥着大量外来的可见光源 (日光、灯光等)。由于处在同一光谱范围, 外来的可见光源必然会对接收端从混合光源中解调出原信号产生一定程度的干扰, 从而影响 VLC 设备的正常通信工作。能否有效地抵抗外部可见光干扰也是 VLC 设备抗干扰能力的重要判据。

3) 接收性能需求。目前 VLC 设备多工作在直射光条件下, 当室内有人走动或直射通道上有障碍物时会在接收端处形成阴影效应, 影响通信性能甚至造成通信盲区。而且在实际应用中, 光源照射方向、光源与接收端之间距离的变化都可能造成 VLC 设备的接收端接收到的光信号减弱, 不利于接收端提取信息。达到良好接收性能是整个 VLC 设备通信质量的综合反映。

#### 2.1 发射调制性能检测指标

因 VLC 设备发射端内部信号较难提取, 可将 LED 所发信号光作为研究对象。在此基础上提出采用光电探测器将 LED 所发光信号转换为电信号, 并测量该电信号的调制带宽  $BW_m$ 、带内平坦度  $\Delta A[n]$  ( $n=1, 2, \dots, N$ ) 作为发射调制性能的两个性能评价指标。表 1 为发射调制性能评价指标, 表中给出各个指标的定义。

表 1 发射调制性能评价指标

指标	定义
$BW_m$	LED 输出频率响应下降到某一低频参考频率值的一半时的带宽
$\Delta A[n]$	频率响应曲线调制带宽内各频率点幅值相对于中心频率点幅值变化量

其中,  $BW_m$  越大, 说明 VLC 设备中 LED 光源可调制加载的信号频率越高, 传输速率也越高, VLC 设备信道容量、发射调制性能越好;  $\Delta A[n]$  越小, 则发射链路中线性失真越小, 通信质量越好, 发射调制性能越好。

图 2 为一种 VLC 设备发射调制性能检测流程图<sup>[12-13]</sup>。首先, 信号发生器发出信号, 经由功率放大器与直流偏置加载于 LED, 使其发出信号光线; 光电探测器将光信号转化为电信号, 经由滤波器、功率放大器后由频谱仪测得其频率响应曲线, 在所测得的频率响应曲线中可以测量计算出  $BW_m$ 、 $\Delta A[n](n=1, 2, \dots, N)$ 。

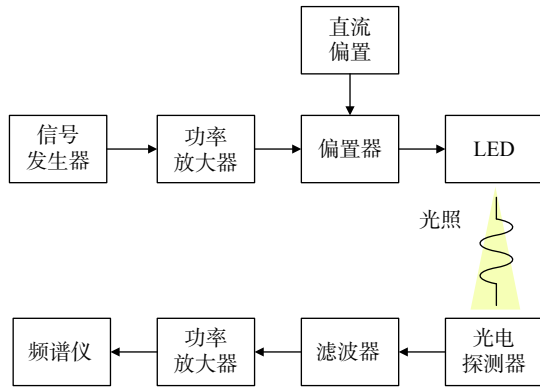


图 2 一种 VLC 设备发射调制性能检测流程图

### 2.2 抗杂光性能检测指标

由于链路传输中外部环境存在着直流杂光干扰、频闪杂光干扰, 可将接收端抵抗外部上述两种杂光干扰的能力作为研究对象。为此提出直流杂光抵抗比  $R_{dcn}$ 、频闪杂光抵抗比  $R_{acn}$  作为评价抗杂光干扰性能的指标。表 2 为抗杂光性能评价指标, 表中给出各个指标的定义。

表 2 抗杂光性能评价指标<sup>1)</sup>

指标	定义
$E_w$	接收端可正常接收到光信号时某一光照度值
$E_{dcn}$	接收端照度值为 $E_w$ 时, 在正常接收到光信号条件下, 接收窗口表面法向可承受的最大外部直流干扰光照度
$E_{acn}$	接收端照度值为 $E_w$ 时, 在正常接收到光信号条件下, 接收窗口表面法向可承受的最大频闪干扰光照度
$R_{dcn}$	$R_{dcn} = \frac{E_{dcn}}{E_w}$
$R_{acn}$	$R_{acn} = \frac{E_{acn}}{E_w}$

注: 1)  $E_w$  为工作照度值;  $E_{dcn}$  为最大外部直流干扰光照度;  $E_{acn}$  为最大外部频闪干扰光照度。

其中,  $E_w$  越小, VLC 接收设备能够承受的  $E_{dcn}$  与  $E_{acn}$  越大,  $R_{dcn}$  与  $R_{acn}$  也越大, VLC 设备光通信质量越好。故  $R_{dcn}$  与  $R_{acn}$  越大, VLC 设备的抗杂光性能越好。

图 3 为一种 VLC 设备抗杂光性能检测流程图

图<sup>[14-16]</sup>。首先调节使接收端光照度值为  $E_w$ , 此时可在系统中人为加入干扰光源, 并用由小到大变化的功率加载该干扰光源, 直至接收端恰好无法接收所发送信号, 则此时接收窗口表面法向可承受的最大外部干扰光照度即为  $E_{dcn}$ 、 $E_{acn}$ , 从而计算  $R_{dcn}$ 、 $R_{acn}$ 。

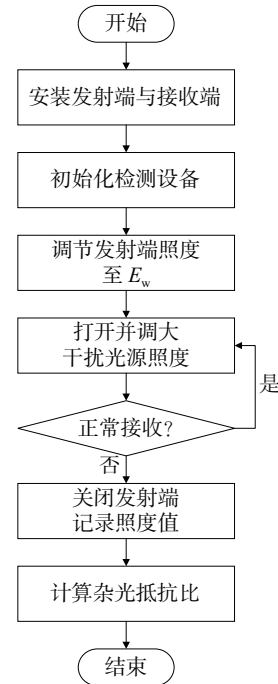


图 3 一种 VLC 设备抗杂光性能检测流程图

### 2.3 接收性能检测指标

VLC 设备接收端内部信号同样提取困难, 考虑到接收端内部信号是由光信号转换而成的, 为此可将光电探测器接收到的光信号作为研究对象。在此基础上提出采用接收端通信正确时最小接收照度值  $E_{min}$ 、最大接收照度值  $E_{max}$  作为评价接收性能指标。表 3 为接收性能评价指标, 表中给出各个指标的定义。

表 3 接收性能评价指标

指标	定义
$E_{min}$	接收端可正常接收到光信号时最小的光照度值
$E_{max}$	接收端可正常接收到光信号时最大的光照度值

其中,  $E_{min}$  越小、 $E_{max}$  越大, VLC 设备接收端所能正常接收到信号时光照度范围越大, VLC 设备接收性能越好。

图 4 为一种 VLC 设备接收性能检测流程图<sup>[17-19]</sup>。其中, 衰减器作用为在实验室有限空间条件

下大幅度减少由发射端向接收端发出光线的照度值;调整发射端与接收端间距离主要作用是微调接收端的光照度值。

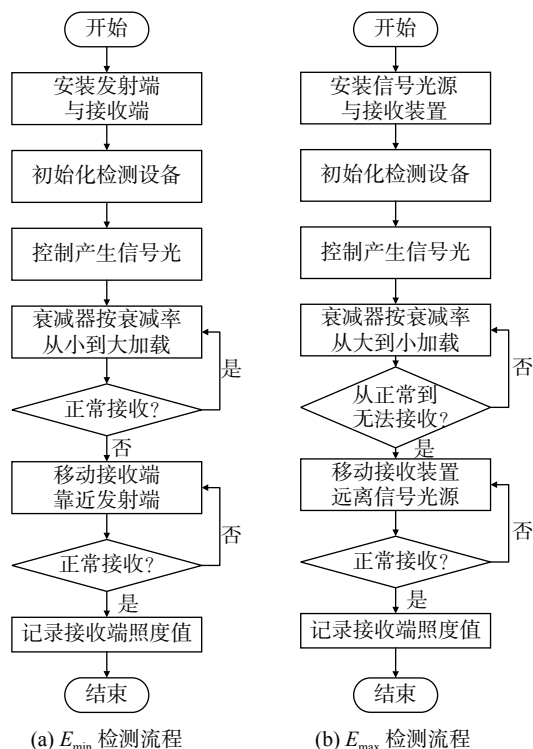


图4 一种VLC设备接收性能检测流程框图

### 3 结束语

1) VLC技术是当今的一项热门技术,研究VLC设备性能检测技术,对于推动VLC技术发展具有重要的学术价值与实际意义。

2) VLC设备工作时主要包含发射调制环节、链路传输环节及接收环节3个环节,故存在发射调制性能、抗干扰性能、接收性能等方面性能评价需求,其中发射调制性能可用调制带宽 $BW_m$ 、带内平坦度 $\Delta A[n]$ 评价指标;抗干扰性能可用直流杂光抵抗比 $R_{dcin}$ 、频闪杂光抵抗比 $R_{acln}$ 评价指标;接收性能可用最小接收照度值 $E_{min}$ 、最大接收照度值 $E_{max}$ 评价指标。

3) VLC设备的调制带宽 $BW_m$ 、最大接收照度值 $E_{max}$ 、直流杂光抵抗比 $R_{dcin}$ 、频闪杂光抵抗比 $R_{acln}$ 越大,VLC设备的性能越好;带内平坦度 $\Delta A[n]$ 、最小接收照度值 $E_{min}$ 越小,则VLC设备的性能越佳。

4) 基于VLC设备的性能检测体系,下一步必须加快VLC设备检测装置研制与标准制定。

### 参考文献

[1] GROBE L, PARASKEVOPOULOS A, HILT J, et al. High-

speed visible light communication systems[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2013, 51(12): 60-66.

[2] MARSHOUD H, MUHAIDAT S, SOFOTASIOS P C, et al. Optical non-orthogonal multiple access for visible light communication[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2018, 25(2): 82-88.

[3] WANG Q, WANG Z, DAI L, et al. Dimmable visible light communications based on multilayer ACO-OFDM[J]. *IEEE Photonics Journal*, 2016, 8(3): 1-11.

[4] WANG Q, QIAN C, GUO X, et al. Layered ACO-OFDM for intensity-modulated direct-detection optical wireless transmission[J]. *Optics Express*, 2015, 23(9): 12382.

[5] MOUSA F, ALMAADEED N, BUSAWON K, et al. Indoor visible light communication localization system utilizing received signal strength indication technique and trilateration method[J]. *Optical Engineering*, 2018, 57(1): 11.

[6] JEROME K, TONY V, VINAYAK R, et al. Indoor navigation using visible light communication[C]//2014 Texas Instruments India Educators' Conference (THIEC), 2017.

[7] DAHRI F A, MANGRIO H B, BAQAI A, et al. Experimental evaluation of intelligent transport system with VLC vehicle-to-vehicle communication[J]. *Wireless Personal Communications*, 2018(1): 1-12.

[8] 蔡少阳, 陈力, 王卫东. 一种用于可见光通信的自适应OFDM系统设计与实验[J]. *中国科学院大学学报*, 2018, 35(1): 137-143.

[9] 陈怡, 张志义, 包宇刚. 适用于照明和可见光通信的宽输入电压范围的分段式LED驱动电路[J]. *电工技术学报*, 2018, 33(12): 2812-2820.

[10] 秦岭, 巨永锋, 杜永兴, 等. 智能交通中新型可见光通信系统性能研究[J]. *公路交通科技*, 2016, 33(7): 114-118.

[11] ELAMASSIE M, UYSAL M. Performance characterization of vertical underwater VLC links in the presence of turbulence[C]//IEEE International Symposium on Communication Systems Networks & Digital Signal Processing, 2018.

[12] 刘桂雄, 蒋晨杰, 王佳胜, 等. 一种可测量VLC装备发射调制性能的检测装置: 201721847429.X[P]. 2018-07-03.

[13] 郭雪梅, 王佳胜, 刘桂雄, 等. 一种可见光通信设备发射调制性能测量装置及方法: 201711436486.3[P]. 2018-05-15.

[14] 郭雪梅, 刘桂雄, 吴嘉健, 等. 一种可见光通信设备抗杂光性能的分析装置: 201721849665.5[P]. 2018-07-06.

[15] 刘桂雄, 吴嘉健, 张沛强, 等. 一种可测量VLC装备抗杂光性能的检测装置: 201721847422.8[P]. 2018-07-03.

[16] 刘桂雄, 吴嘉健, 郭雪梅, 等. 一种可见光通信设备抗杂光干扰性能测量装置及方法: 201711437505.4[P]. 2018-04-03.

[17] 曾昕, 龙阳, 刘桂雄, 等. 一种可见光通信设备接收性能的分析装置: 201721847772.4[P]. 2018-07-03.

[18] 郭雪梅, 陈长缨, 刘桂雄, 等. 一种可测量VLC装备接收性能的检测装置: 201721858922.1[P]. 2018-07-17.

[19] 曾昕, 龙阳, 张沛强, 等. 一种可见光通信设备接收性能测量装置及方法: 201711442117.5[P]. 2018-06-29.

(编辑:商丹丹)