

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 9 月 15 日 (15.09.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/188243 A1

- (51) 国际专利分类号:
H04B 10/116 (2013.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/088356
- (22) 国际申请日: 2021 年 4 月 20 日 (20.04.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202110272247.9 2021年3月12日 (12.03.2021) CN
- (71) 申请人: 苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。
- (72) 发明人: 由晓迪(YOU, Xiaodi); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。

熊超然(XIONG, Chaoran); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 沈纲祥(SHEN, Gangxiang); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 苏州市中南伟业知识产权代理事务所(普通合伙)(CENTRAL SOUTH WELL INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国江苏省苏州市吴中区石湖西路 188 号吴中万达广场 A 座苏州大学国家科技园 2303, Jiangsu 215000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT,

(54) **Title:** ADAPTIVE-DIMMING VISIBLE LIGHT COMMUNICATION SYSTEM AND MODULATION AND DEMODULATION METHOD

(54) 发明名称: 自适应调光的可见光通信系统及调制解调方法

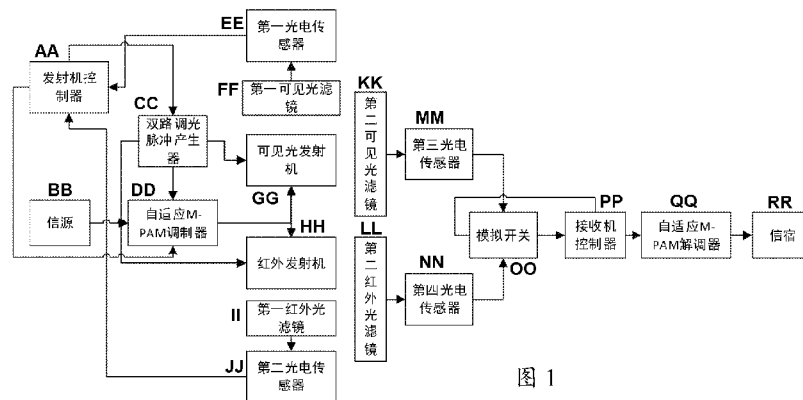


图 1

AA Transmitter controller
BB Signal source
CC Dual-channel dimming pulse generator
DD Adaptive M-PAM modulator
EE First photoelectric sensor
FF First visible light filter
GG Visible light transmitter
HH Infrared transmitter
II First infrared light filter

JJ Second photoelectric sensor
KK Second visible light filter
LL Second infrared light filter
MM Third photoelectric sensor
NN Fourth photoelectric sensor
OO Analog switch
PP Receiver controller
QQ Adaptive M-PAM demodulator
RR Sink

(57) **Abstract:** The present invention relates to an adaptive-dimming visible light communication system and a modulation and demodulation method. The system comprises: a signal source; an adaptive M-PAM modulator for modulating a signal emitted by the signal source into a first electrical signal and a second electrical signal respectively; and a dual-channel pulse generator for alternately generating first pulse control signals and second pulse control signals, both the first pulse control signals and the second pulse control signals being periodic signals. When the remaining working time of the high level of a first pulse control signal is equal to the time of the rising edge of a second pulse signal, a second pulse control signal starts to be generated; and when the remaining working time of

JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

the high level of the second pulse control signal is equal to the time of the rising edge of a first pulse signal, a first pulse control signal starts to be generated. Interval-free and delay-free switching between visible light and infrared dual-channel signals is realized, and an adaptive M-PAM modulation signal can be loaded at any time.

(57) 摘要: 本发明涉及一种自适应调光的可见光通信系统及调制解调方法, 包括: 信源; 自适应M-PAM调制器将信源发出的信号分别调制成第一电信号和第二电信号; 双路脉冲产生器, 其交替产生第一脉冲控制信号和第二脉冲控制信号, 第一脉冲控制信号和第二脉冲控制信号皆为周期性信号; 当第一脉冲控制信号的高电平的剩余工作时间等于第二脉冲信号的上升沿的时间时, 第二脉冲控制信号开始产生; 当第二脉冲控制信号的高电平的剩余工作时间等于第一脉冲信号的上升沿的时间时, 第一脉冲控制信号开始产生。其实现了可见光和红外双路信号的无间隔、无延迟切换, 随时可以加载自适应M-PAM调制信号。

自适应调光的可见光通信系统及调制解调方法

技术领域

本发明涉及光通信技术领域，尤其是指一种自适应调光的可见光通信系统
5 统及调制解调方法。

背景技术

随着 5G 和大数据技术的发展，人们对网络的速度和覆盖程度产生了更高的需求。对于传统的电磁波通信，由于其无法穿透金属，以及频谱资源受限，因此无法实现对于金属密闭及需要电磁屏蔽空间的信号覆盖传输。近年来，
10 使用 LED 的室内可见光通信系统由于具有速率高、安全、节能环保、频谱资源丰富等优势，成为了解决传统电磁波通信的热门技术。尽管可见光通信系统兼有照明和通信的功能，但是前者的优先级在系统设计中的优先级更高。实际上，为了适应不同应用场景和节能环保的要求，LED 的亮度等级需要进行调整，因此，支持调光控制的可见光通信系统已成为研究的热点。然而，由
15 于其实现原理和系统复杂度的限制，还是存在着无法同时支持全光域调光和信号稳定传输的困难，限制了该系统的普及速度和应用范围。

中国专利公开号为 CN103763829A 的专利公开了一种基于 OFDM 信号的光源调光方法，其基于 MPPM 调光控制的混合可见光通信系统，正交频分复用（OFDM）与多脉冲位置调制（MPPM）相结合，不仅支持高速可见光通信，同时
20 满足了用户对照明源的亮度调节的需求。这种混合调制方法确保系统具有 MPPM 的调光功能，且引入的 OFDM 传输可以有效地提高频谱效率。基于 MPPM 调光控制方案的传输速率受限于调光控制信号的占空比大小，因此在需求可见光光强较弱，甚至完全黑暗的环境下，此系统无法实现信号的稳定传输，实现全光域调光。并且此系统没有考虑实际 MPPM 信号的上升沿和下降沿延迟时

间，在实际情况中，OFDM 信号的传输易受到上升沿和下降沿的干扰，因此无法实现理论的高传输速率和低误码率。

中国专利公开号为 201610320643.3 的专利公开了一种红外补偿全范围调光的可见光 OFDM 通信装置；该方法是既可以全范围调光又可以传输 OFDM 信号，且调光时对 OFDM 信号的传输速率、传输质量造成较小影响，能够降低传统方案中信号传输性能对调光占空比的依赖性，并有效降低系统复杂度。

现有技术存在以下缺陷：

1、基于 MPPM 调光控制方案的传输速率受限于调光控制信号的占空比大小，因此在需求可见光光强较弱，甚至完全黑暗的环境下，此系统无法实现信号的稳定传输，实现全光域调光。并且此系统没有考虑实际 MPPM 信号的上升沿和下降沿延迟时间，在实际情况中，OFDM 信号的传输易受到上升沿和下降沿的干扰，因此无法实现理论的高传输速率和低误码率。

2、对于使用红外补偿全范围调光的可见光 OFDM 通信系统，调光脉冲信号上升沿和下降沿限制了可见光和红外信号的交替传输。现有的商用可见光照明 LED 和红外发射器的阶跃响应特性较差，若不考虑高低电平的上升沿和下降沿延迟时间，交替传输的速率和质量会大大下降，而此技术方案无法有效滤除可见光和红外 LED 的下降沿信号干扰，在某些脉冲调制方式下的特定占空比中，误码率和传输速率甚至不如不加入红外补偿的传输方式。

3、使用红外补偿全范围调光的可见光 OFDM 通信系统在接收端无法做到可见光和红外两路信号的分离，两路信号在接收端会形成干扰，使误码率升高。

4、OFDM 复杂度较高，尤其在实时系统实现时，研发周期较长。并且 OFDM 信号的峰均比较高，要求光源的线性工作区范围要很大，导致最大发射功率需要很大，同时器件、驱动电路等成本也会上升，而更大的功率带来的是更差的频率响应，会降低带宽。此外，随着 LED 使用时间的积累，OFDM 信号无法自动适应由于老化而性能降低的灯珠，造成信号的失真，误码率提高。使用

OFDM 信号只能在理想实验环境下提升速率,不适用于具体实际的应用场景中。

5、现有技术中,系统实际实现过程中的上升沿和下降沿延迟时间,即准备时间,会导致传输效率降低,双路混合信号之间相互干扰,误码率升高等问题。

5 发明内容

为此,本发明所要解决的技术问题在于提供一种自适应调光的可见光通信系统及调制解调方法,其实现了可见光和红外双路信号的无间隔、无延迟切换,随时可以加载自适应 M-PAM 调制信号。

为解决上述技术问题,本发明提供了一种自适应调光的可见光通信系统,
10 其特征在于,包括:

信源;

自适应 M-PAM 调制器,其与信源连接,所述自适应 M-PAM 调制器将所述信源发出的信号分别调制成第一电信号和第二电信号;

可见光发射机,其与所述自适应 M-PAM 调制器连接,所述可见光发射机
15 将所述第二电信号转换成可见光;

红外光发射机,其与所述自适应 M-PAM 调制器连接,所述红外光发射机将所述第一电信号转换成红外光;

双路脉冲产生器,其交替产生第一脉冲控制信号和第二脉冲控制信号,所述第一脉冲控制信号和第二脉冲控制信号皆为周期性信号,所述第一脉冲
20 控制信号与可见光信号发射机连接以控制可见光信号发射机工作,所述第二脉冲控制信号与红外光发射机连接以控制红外光发射机工作;

当所述第一脉冲控制信号的高电平的剩余工作时间等于所述第二脉冲信号的上升沿的时间时,所述第二脉冲控制信号开始产生;

当所述第二脉冲控制信号的高电平的剩余工作时间等于所述第一脉冲信号的上升沿的时间时，所述第一脉冲控制信号开始产生。

作为优选的，还包括第一光电传感器、第二光电传感器和发射机控制器，所述发射机控制器分别与所述第一光电传感器和第二光电传感器连接；

5 所述第一光电传感器采集所述可见光发射机发射出的可见光的光强，所述第二光电传感器采集所述红外光发射机发射出的红外光的光强；

所述发射机控制器根据第一光电传感器和第二光电传感器采集的光强对自适应 M-PAM 调制器和双路脉冲产生器进行控制。

10 作为优选的，所述可见光通信系统的接收端包括第三光电传感器、第四光电传感器、模拟开关、接收机控制器和自适应 M-PAM 解调器；

所述第三光电传感器采集可见光发射机发射的光信号，所述第四光电传感器采集红外光发射机发射的光信号；

所述接收机控制器与模拟开关和自适应 M-PAM 解调器连接；

15 所述模拟开关与所述第三光电传感器和第四传感器连接以对可见光信号和红外信号的有效信号的进行选通，所述有效信号经所述自适应 M-PAM 解调器解调后输出至信宿。

作为优选的，还包括第一可见光滤镜、第一红外光滤镜、第二可见光滤镜和第二红外光滤镜；

20 所述第一可见光滤镜设置在所述第一光电传感器的探测端，所述第一红外光滤镜设置在所述第二光电传感器的探测端；

所述第二可见光滤镜设置在所述第三光电传感器的探测端，所述第二红外光滤镜设置在所述第四光电传感器的探测端。

本发明公开了一种自适应调光的可见光通信系统的调制及解调方法，基于上述的自适应调光的可见光通信系统，包括以下步骤：

获取光发射机的 LED 灯的出厂时的最佳光强 I_0 ；

通过光电传感器采集 LED 灯在一个传输周期内的平均光强 I_i ；

- 5 计算实际实时光强衰减 $d_i = (I_0 - I_i)/I_0$ ，并根据 LED 灯使用时间对应其出厂光衰曲线中的理论光强衰减 $d(t)$ ，进行加权运算，得到光衰 $D = w_1 d_i + w_2 d(t)$ ， w_1 、 w_2 为权重；

将光衰 D 分为 N 个等级， N 由 LED 灯的带宽决定，规定 $N = BW/100k$ ，第 n 级的光衰 D 范围为 $\frac{n-1}{N} \sim \frac{n}{N} \times 100\%$ ；

- 10 发射机控制器求得阶数 $M = [32/n]$ ；

当发射机控制器检测到阶数 M 需要改变时，发射机控制器将改变后的 M' 调制阶数传输给自适应 M-PAM 调制器；

所述自适应 M-PAM 调制器控制光发射机以当前阶数 M 发射需要变换阶数的光信号，所述需要变换阶数的光信号携带变换后的阶数 M' ；

- 15 接收端的光电传感器将携带 M' 调制阶数的光信号转换成携带 M' 调制阶数的电信号；

所述接收机控制器获取携带 M' 调制阶数的电信号，并根据携带 M' 调制阶数的电信号获得 M' 解调阶数；

- 20 所述接收机控制器将得 M' 解调阶数传输至自适应 M-PAM 解调器，所述自适应 M-PAM 解调器根据所述 M' 解调阶数对通信信号做解调操作。

作为优选的，包括：

当所述双路调光脉冲产生器检测到所传数据为最后一个数据帧时，所述双路调光脉冲产生器控制自适应 M-PAM 调制器产生携带双路切换的电信号，所述自适应 M-PAM 调制器控制光发射机以当前阶数 M 发射双路切换指示信号，所述双路脉冲产生器返回关闭状态。

5 作为优选的，还包括：

当变换阶数 M 控制信号与切换信号同时到达自适应 M-PAM 调制器，则发射机控制器控制双路脉冲产生器产生延长一个数据帧的传输时间的光输出。

作为优选的，还包括第一脉冲控制信号的上升沿的延迟时间计算和第二脉冲控制信号的上升沿的延迟时间计算；

10 所述上升沿的延迟时间计算包括：

判断脉冲控制信号对应的光发射机的 LED 的光衰等级，其中，所述脉冲控制信号为第一脉冲控制信号或第二脉冲控制信号；

计算脉冲控制信号对应的光发射机发射的光束的上升沿延迟时间 $t = T(1 - Ae^{-\frac{n}{N}})$ ，其中，T 为光发射机的 LED 灯珠在最后一个等级经过测试的上升沿延迟时间，A 为衰减系数，所述衰减系数为 LED 灯珠的出厂的光衰曲线的切线斜率的绝对值。

15

本发明公开了一种自适应调光的可见光通信系统的解调方法，基于上述的自适应调光的可见光通信系统，包括：

第三光电传感器和第四光电传感器采集光信号，并将光信号转换成电信号；

20

所述模拟开关对可见光信号和红外信号的有效信号的进行选通，并将选通结果输入至接收机控制器；

当接收机控制器检测到选通支路的调制阶数变化时，所述接收机控制器输出对应的新的解调阶数，所述自适应 M-PAM 解调器使用新的解调阶数对有效信号解调；当所述接收机控制器未检测到选通支路的调制阶数变化时，所述自适应 M-PAM 解调器对有效信号解调；

- 5 当接收机控制器检测到光通路切换信号时，所述接收机控制器向所述模拟开关和自适应 M-PAM 解调器发送切换指示，所述模拟开关切换至另一光通路，所述自适应 M-PAM 解调器选用另一路光通路对应的解调阶数解调。

作为优选的，包括：

- 10 当所述接收机控制器检测到自适应 M-PAM 调制器的变换后的 M' 调制阶数时，所述接收机控制器根据 M' 调制阶数获得 M' 解调阶数；

所述接收机控制器将 M' 解调阶数传输至自适应 M-PAM 解调器以更新解调阶数。

本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点：

- 15 1、本发明可以消除实际调光脉冲信号上升沿和下降沿所带来的延迟问题，实现无间隔、无延迟的高效混合信号交替传输。

2、本发明自适应 M-PAM 信号不依赖于高性能的可见光和红外 LED，部署简单，可移植性强。

3、误码率不受 LED 使用时间和寿命的限制，可以自适应采用最高效的自适应 M-PAM 调制阶数。

- 20 4、可以对信号进行分离，使得可见光信号和红外信号独立传输，互不干扰，有效降低误码率。

附图说明

图 1 是本发明自适应调光的可见光通信系统图；

图 2 为双路调光脉冲产生器算法流程图；

图 3 为双路调光脉冲产生器时序波形图；

图 4 为可见光和红外发射器在一个调光脉冲周期内的典型波形；

图 5 为进入自适应 M-PAM 解调器的信号波形；

5 图 6 为自适应 M-PAM 混合调制信号在不同占空比下误码率。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明，以使本领域的技术人员可以更好地理解本发明并能予以实施，但所举实施例不作为对本发明的限定。

10 参照图 1-图 3 所示，本发明公开了一种自适应调光的可见光通信系统，包括信源、自适应 M-PAM 调制器、发射机控制器、可见光发射机、红外光发射机和双路脉冲产生器。

自适应 M-PAM 调制器与信源连接，自适应 M-PAM 调制器将信源发出的信号分别调制成第一电信号和第二电信号。

15 可见光发射机与自适应 M-PAM 调制器连接，可见光发射机将第二电信号转换成可见光。

红外光发射机与自适应 M-PAM 调制器连接，红外光发射机将第一电信号转换成红外光。

20 双路脉冲产生器交替产生第一脉冲控制信号和第二脉冲控制信号，第一脉冲控制信号和第二脉冲控制信号皆为周期性信号，第一脉冲控制信号与可见光信号发射机连接以控制可见光信号发射机工作，第二脉冲控制信号与红外光发射机连接以控制红外光发射机工作。

当第一脉冲控制信号的高电平的剩余工作时间等于第二脉冲信号的上升

沿的时间时，第二脉冲控制信号开始产生。当第二脉冲控制信号的高电平的剩余工作时间等于第一脉冲信号的上升沿的时间时，第一脉冲控制信号开始产生。

参见图 2 所示，本发明公开了一种双路脉冲产生方法，基于上述的自适应调光的可见光通信系统，包括：当第一脉冲控制信号的高电平的剩余工作时间等于第二脉冲信号的上升沿的时间时，第二脉冲控制信号开始产生以使得红外光信号与可见光信号无间断产生和无延迟切换；当所传数据为最后一个数据帧，向接收机发射一个切换指示信号，双路脉冲产生器返回关闭状态。

本发明将可见光和红外设计为 3 个模式，分别为关闭、准备、传输，首先根据此路的上升沿需要时间和另一路传输剩余时间比较，若两者相等那么开始本路的上升沿，进入传输的准备状态，一旦另一路的传输结束，便可马上进行此路的信息传输，实现几乎无时间延迟的切换，接着，若所传数据为最后一个数据帧，那么就向接收机发射一个切换指示信号，然后返回关闭状态，其时序波形图如图 3 所示，这样实现了可见光和红外双路信号的无间隔、无延迟切换，随时可以加载自适应 M-PAM 调制信号。本发明还包括第一光电传感器、第二光电传感器和发射机控制器，发射机控制器分别与第一光电传感器和第二光电传感器连接。第一光电传感器采集可见光发射机发射出的可见光的光强，第二光电传感器采集红外光发射机发射出的红外光的光强。发射机控制器根据第一光电传感器和第二光电传感器采集的光强对自适应 M-PAM 调制器和双路脉冲产生器进行控制。可见光通信系统的接收端包括第三光电传感器、第四光电传感器、模拟开关、接收机控制器和自适应 M-PAM 解调器。第三光电传感器采集可见光发射机发射的光信号，第四光电传感器采集红外光发射机发射的光信号，接收机控制器与模拟开关和自适应 M-PAM 解调器连接。模拟开关与第三光电传感器和第四传感器连接以对可见光信号和红外信号的有效信号的进行选通，有效信号经自适应 M-PAM 解调器解调后输出至信

宿。

本发明还包括第一可见光滤镜、第一红外光滤镜、第二可见光滤镜和第二红外光滤镜。第一可见光滤镜设置在第一光电传感器的探测端，第一红外光滤镜设置在第二光电传感器的探测端。通过第一可见光滤镜和第一红外光滤镜，使得只有可见光进入第一光电传感器，红外光则进入第二光电传感器。而第二可见光滤镜设置在第三光电传感器的探测端，第二红外光滤镜设置在第四光电传感器的探测端。通过设置第二可见光滤镜和第二红外光滤镜，可使得只有红外光进入第四光电传感器，可见光进入第三光电传感器。

对于第一传感器，其带宽要求低，只需检测可见光光强，传感器在可见光波段灵敏。对于第二传感器，其带宽要求低，只需检测红外光强，传感器在红外波段灵敏。对于第三传感器，其带宽要求较高，检测可见光通信信号，传感器在可见光波段灵敏。对于第四传感器，其带宽要求较高，检测红外通信信号，传感器在可见光波段灵敏。

本发明还公开了一种自适应调光的可见光通信系统的调制及解调方法，基于上述的自适应调光的可见光通信系统，包括以下步骤：

步骤一、获取光发射机的LED灯的出厂时的最佳光强 I_0 。此处，光发射机为可见光发射机或者红外发射机。

步骤二、通过光电传感器采集LED灯在一个传输周期内的平均光强 I_i 。此处，光电传感器即为光发射机对应的光电传感器，可见光发射机对应第一光电传感器，红外光发射机对应第二光电传感器。

步骤三、计算实际实时光强衰减 $d_i = (I_0 - I_i)/I_0$ ，并根据LED灯使用时间对应其出厂光衰曲线中的理论光强衰减 $d(t)$ ，进行加权运算，得到光衰 $D = w_1 d_i + w_2 d(t)$ ， w_1 、 w_2 为权重。

步骤四、将光衰 D 分为 N 个等级, N 由 LED 灯的带宽决定, 规定 $N = BW/100k$, 第 n 级的光衰 D 范围为 $\frac{n-1}{N} \sim \frac{n}{N} \times 100\%$ 。

步骤五、发射机控制器求得阶数 $M = [32/n]$ 。此处, 发射机控制器需要分别获得可见光和红外光对应的阶数。如此, 自适应 M-PAM 调制器可使用可见光和红外光对应的阶数调整对应的光束。

步骤六、当发射机控制器检测到阶数 M 需要改变时, 发射机控制器将改变后的 M' 调制阶数传输给自适应 M-PAM 调制器。自适应 M-PAM 调制器控制光发射机以当前阶数 M 发射需要变换阶数的光信号, 需要变换阶数的光信号携带变换后的阶数 M' 。接收端的光电传感器将携带 M' 调制阶数的光信号转换成携带 M' 调制阶数的电信号。接收机控制器获取携带 M' 调制阶数的电信号, 并根据携带 M' 调制阶数的电信号获得 M' 解调阶数。接收机控制器将得 M' 解调阶数传输至自适应 M-PAM 解调器, 自适应 M-PAM 解调器根据 M' 解调阶数对通信信号做解调操作。通过上述方式, 发射端的调制阶数根据光发射机的光强, 对发射端的调制阶数做自适应调整, 而当发射端的调制阶数做自适应调整时, 接收端的解调阶数也可通过上述步骤同步变化, 从而实现自适应解调。

对于上述可见光通信系统的调制及解调方法, 还包括: 当双路调光脉冲产生器检测到所传数据为最后一个数据帧时, 双路调光脉冲产生器控制自适应 M-PAM 调制器产生携带双路切换的电信号, 自适应 M-PAM 调制器控制光发射机以当前阶数 M 发射双路切换指示信号, 双路脉冲产生器返回关闭状态。

而当变换阶数 M 控制信号与切换信号同时到达自适应 M-PAM 调制器, 则发射机控制器控制双路脉冲产生器产生延长一个数据帧的传输时间的光输出。

本发明中, 需要对于第一脉冲控制信号的上升沿的延迟时间计算和第二脉冲控制信号的上升沿的延迟时间计算。第一脉冲控制信号与可见光发射机

连接，第二脉冲控制信号与红外光发射机连接，通过分别获取第一脉冲和第二脉冲上升沿的时间，可以实现红外光和可见光发射的的无间隔切换。

而上升沿的延迟时间计算包括：

步骤一、判断脉冲控制信号对应的光发射机的 LED 的光衰等级，其中，
5 脉冲控制信号为第一脉冲控制信号或第二脉冲控制信号。

步骤二、计算脉冲控制信号对应的光发射机发射的光束的上升沿延迟时间 $t = T(1 - Ae^{-\frac{n}{N}})$ ，其中，T 为光发射机的 LED 灯珠在最后一个等级经过测试的上升沿延迟时间，A 为衰减系数，衰减系数为 LED 灯珠的出厂的光衰曲线的切线斜率的绝对值。通过所提出的算法，可以根据灯珠目前的性能动态调整自适应
10 M-PAM 的 M 阶数以及双路调光脉冲产生器中从何时刻进行准备，既能完成两路信号的无间隔无延迟交替传输，也能够使得自适应 M-PAM 调制信号实时匹配 LED 灯珠性能，减小由于器件使用老化而带来的信号失真，降低误码率，本发明采用双极性自适应 M-PAM 信号，因此对调光精度影响较小，可以满足高精度的调光需求，增强系统的实用性和稳定性。

15 本发明还公开了一种自适应调光的可见光通信系统的解调方法，基于上述的自适应调光的可见光通信系统，包括以下步骤：

步骤一、第三光电传感器和第四光电传感器采集光信号，并将光信号转换成电信号。

步骤二、模拟开关对可见光信号和红外信号的有效信号的进行选通，并
20 将选通结果输入至接收机控制器。

步骤三、当接收机控制器检测到选通支路的调制阶数变化时，接收机控制器输出对应的新的解调阶数，自适应 M-PAM 解调器使用新的解调阶数对有效信号解调；当接收机控制器未检测到选通支路的调制阶数变化时，自适应

M-PAM 解调器对有效信号解调。当接收机控制器检测到光通路切换信号时，接收机控制器向模拟开关和自适应 M-PAM 解调器发送切换指示，模拟开关切换至另一光通路，自适应 M-PAM 解调器选用另一路光通路对应的解调阶数解调。

具体的，当接收机控制器检测到自适应 M-PAM 调制器的变换后的 M' 调制阶数时，接收机控制器根据 M' 调制阶数获得 M' 解调阶数。接收机控制器将 M' 解调阶数传输至自适应 M-PAM 解调器以更新解调阶数。

本发明的有益效果如下：

1、本发明可以消除实际调光脉冲信号上升沿和下降沿所带来的延迟问题，实现无间隔、无延迟的高效混合信号交替传输。

2. 自适应 M-PAM 信号不依赖于高性能的可见光和红外 LED，部署简单，可移植性强。

3. 误码率不受 LED 使用时间和寿命的限制，可以自适应采用最高效的自适应 M-PAM 调制阶数。

4. 可以对信号进行分离，使得可见光信号和红外信号独立传输，互不干扰，有效降低误码率。

5. 使用双极性自适应 M-PAM 信号，其幅度均值为 0，不影响调光精度。

下面，结合具体实施例对本发明的方案进行进一步说明。

为了评估所提出的自适应调光控制可见光通信系统，我们在不同的占空比和 LED 使用时间下，评估其传输速率和误码率。下面使本发明在占空比为 35.8% 的情况下应用，实现了速率为 10Mbit/s 的数据传输，比现有使用自适应 M-PAM 调制的支持调光控制的可见光通信系统速率提升 13.6%，误码率稳定低于 10^{-4} 。

表 1 为可见光和红外 LED 使用寿命和其调制自适应 M-PAM 阶数对应关系。

表 1

可见光 LED 使用时长/h	0-2500	2500-6000	6000-8000	8000-10000	10000+
可见光调制自适应 M-PAM 阶数	32	16	8	4	2
红外 LED 使用时长/h	0-1600	1600-4800	4800-6400	6400-8000	8000+
红外调制自适应 M-PAM 阶数	32	16	8	4	2

如表 1 所示, 在可见光和红外 LED 有最佳性能时, 采用自适应 M-PAM-32 进行调制解调, 而后根据其衰老程度, 对两路自适应 M-PAM 阶数进行调整混合, 以减小信号失真和误码率。

如图 4 所示, 为可见光和红外发射器在一个调光脉冲周期内的典型波形。如图 5 所示, 为信号进入自适应 M-PAM 解调器的信号波形。通过所提出的系统, 在发射端实现了可见光和红外信号的无间隔、无延迟发射, 通过接收端的两个光电传感器、模拟开关以及接收机控制器控制, 实现了信号分离, 消除了可见光和红外两路下降沿信号的互相干扰, 减小了信号的失真。

如图 6 所示, 在不同的占空比下, 自适应 M-PAM 混合调制信号传输的误码率稳定于 10^{-4} 以下, 提升了系统稳定性。

本发明具有以下优点:

1、本发明提高了一种自适应调光控制可见光通信系统, 可以实现无间隔、无延迟的高效混合信号交替传输。

2、双路调光脉冲产生器对于信号三种模式, 关闭、准备、传输三种模式的设计。

3、本发明产生双路无间隔、无延时交替切换调光脉冲信号的方法, 通过在传输最后一个数据帧加入指示信号实现时钟同步的方法。

4、根据 LED 使用寿命调节自适应 M-PAM 信号阶数、计算上升沿延迟时间。

5、接收端对两路信号的分离，消除下降沿对接收端的干扰。

6、本发明使用双极性自适应 M-PAM 信号代替原有的 OFDM 信号，降低了实际系统实现复杂度，增强移植性。并且能够根据灯珠的使用时长来动态调整 M-PAM 调制阶数，而不是使用恒定的调制阶数，增强了系统在实际系统中的稳定性，不依赖于持续高性能的灯珠。同时，双极性自适应 M-PAM 信号不会影响调光精度。

7、本发明根据实际实现系统中的上升沿和下降沿延迟时间，通过关闭、准备、传输三个模式的设计切换，解决了不仅限于可见光和红外，而是任何双路或多路混合信号交替传输时的间隔、延迟和信号同步问题。

8、本发明在接收端实现了完全的信号分离，使得混合信号之间几乎没有互相干扰，且不需要通过对混合信号的判决步骤，有效提高了传输质量和效率。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和 / 或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和 / 或方框图中的每一流程和 / 或方框、以及流程图和 / 或方框图中的流程和 / 或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

- 5 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

- 10 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种自适应调光的可见光通信系统，其特征在于，包括：

信源；

自适应 M-PAM 调制器，其与信源连接，所述自适应 M-PAM 调制器将所述
5 信源发出的信号分别调制成第一电信号和第二电信号；

可见光发射机，其与所述自适应 M-PAM 调制器连接，所述可见光发射机
将所述第二电信号转换成可见光；

红外光发射机，其与所述自适应 M-PAM 调制器连接，所述红外光发射机
将所述第一电信号转换成红外光；

10 双路脉冲产生器，其交替产生第一脉冲控制信号和第二脉冲控制信号，
所述第一脉冲控制信号和第二脉冲控制信号皆为周期性信号，所述第一脉冲
控制信号与可见光信号发射机连接以控制可见光信号发射机工作，所述第二
脉冲控制信号与红外光发射机连接以控制红外光发射机工作；

当所述第一脉冲控制信号的高电平的剩余工作时间等于所述第二脉冲信
15 号的上升沿的时间时，所述第二脉冲控制信号开始产生；

当所述第二脉冲控制信号的高电平的剩余工作时间等于所述第一脉冲信
号的上升沿的时间时，所述第一脉冲控制信号开始产生。

2. 根据权利要求 1 所述的自适应调光的可见光通信系统，其特征在于，
还包括第一光电传感器、第二光电传感器和发射机控制器，所述发射机控制器
20 分别与所述第一光电传感器和第二光电传感器连接；

所述第一光电传感器采集所述可见光发射机发射出的可见光的光强，所

述第二光电传感器采集所述红外光发射机发射出的红外光的光强；

所述发射机控制器根据第一光电传感器和第二光电传感器采集的光强对自适应 M-PAM 调制器和双路脉冲产生器进行控制。

3. 根据权利要求 2 所述的自适应调光的可见光通信系统，其特征在于，
- 5 所述可见光通信系统的接收端包括第三光电传感器、第四光电传感器、模拟开关、接收机控制器和自适应 M-PAM 解调器；

所述第三光电传感器采集可见光发射机发射的光信号，所述第四光电传感器采集红外光发射机发射的光信号；

所述接收机控制器与模拟开关和自适应 M-PAM 解调器连接；

- 10 所述模拟开关与所述第三光电传感器和第四传感器连接以对可见光信号和红外信号的有效信号的进行选通，所述有效信号经所述自适应 M-PAM 解调器解调后输出至信宿。

4. 根据权利要求 3 所述的自适应调光的可见光通信系统，其特征在于，还包括第一可见光滤镜、第一红外光滤镜、第二可见光滤镜和第二红外光滤镜；
- 15 镜；

所述第一可见光滤镜设置在所述第一光电传感器的探测端，所述第一红外光滤镜设置在所述第二光电传感器的探测端；

所述第二可见光滤镜设置在所述第三光电传感器的探测端，所述第二红外光滤镜设置在所述第四光电传感器的探测端。

- 20 5. 一种自适应调光的可见光通信系统的调制及解调方法，基于权利要求 1-4 任一项所述的自适应调光的可见光通信系统，其特征在于，包括以下步骤：

获取光发射机的 LED 灯的出厂时的最佳光强 I_0 ；

通过光电传感器采集 LED 灯在一个传输周期内的平均光强 I_i ;

计算实际实时光强衰减 $d_i = (I_0 - I_i)/I_0$, 并根据 LED 灯使用时间对应其出厂光衰曲线中的理论光强衰减 $d(t)$, 进行加权运算, 得到光衰 $D = w_1 d_i + w_2 d(t)$, w_1 、 w_2 为权重;

- 5 将光衰 D 分为 N 个等级, N 由 LED 灯的带宽决定, 规定 $N = BW/100k$, 第 n 级的光衰 D 范围为 $\frac{n-1}{N} \sim \frac{n}{N} \times 100\%$;

发射机控制器求得阶数 $M = [32/n]$;

当发射机控制器检测到阶数 M 需要改变时, 发射机控制器将改变后的 M' 调制阶数传输给自适应 M-PAM 调制器;

- 10 所述自适应 M-PAM 调制器控制光发射机以当前阶数 M 发射需要变换阶数的光信号, 所述需要变换阶数的光信号携带变换后的阶数 M' ;

接收端的光电传感器将携带 M' 调制阶数的光信号转换成携带 M' 调制阶数的电信号;

- 15 所述接收机控制器获取携带 M' 调制阶数的电信号, 并根据携带 M' 调制阶数的电信号获得 M' 解调阶数;

所述接收机控制器将得 M' 解调阶数传输至自适应 M-PAM 解调器, 所述自适应 M-PAM 解调器根据所述 M' 解调阶数对通信信号做解调操作。

6. 根据权利要求 5 所述的可见光通信系统的调制及解调方法, 其特征在于, 包括:

- 20 当所述双路调光脉冲产生器检测到所传数据为最后一个数据帧时, 所述双路调光脉冲产生器控制自适应 M-PAM 调制器产生携带双路切换的电信号, 所述自适应 M-PAM 调制器控制光发射机以当前阶数 M 发射双路切换指示信号,

所述双路脉冲产生器返回关闭状态。

7. 根据权利要求 5 所述的可见光通信系统的调制及解调方法，其特征在于，还包括：

当变换阶数 M 控制信号与切换信号同时到达自适应 M -PAM 调制器，则发射机控制器控制双路脉冲产生器产生延长一个数据帧的传输时间的光输出。

8. 根据权利要求 5 所述的可见光通信系统的调制及解调方法，其特征在于，还包括第一脉冲控制信号的上升沿的延迟时间计算和第二脉冲控制信号的上升沿的延迟时间计算；

所述上升沿的延迟时间计算包括：

10 判断脉冲控制信号对应的光发射机的 LED 的光衰等级，其中，所述脉冲控制信号为第一脉冲控制信号或第二脉冲控制信号；

计算脉冲控制信号对应的光发射机发射的光束的上升沿延迟时间 $t = T(1 - Ae^{-\frac{n}{N}})$ ，其中， T 为光发射机的 LED 灯珠在最后一个等级经过测试的上升沿延迟时间， A 为衰减系数，所述衰减系数为 LED 灯珠的出厂的光衰曲线的切线斜率的绝对值。

9. 一种自适应调光的可见光通信系统的解调方法，基于权利要求 3-4 任一项所述的自适应调光的可见光通信系统，其特征在于，包括：

第三光电传感器和第四光电传感器采集光信号，并将光信号转换成电信号；

20 所述模拟开关对可见光信号和红外信号的有效信号的进行选通，并将选通结果输入至接收机控制器；

当接收机控制器检测到选通支路的调制阶数变化时，所述接收机控制器

输出对应的新的解调阶数，所述自适应 M-PAM 解调器使用新的解调阶数对有效信号解调；当所述接收机控制器未检测到选通支路的调制阶数变化时，所述自适应 M-PAM 解调器对有效信号解调；

5 当接收机控制器检测到光通路切换信号时，所述接收机控制器向所述模拟开关和自适应 M-PAM 解调器发送切换指示，所述模拟开关切换至另一光通路，所述自适应 M-PAM 解调器选用另一路光通路对应的解调阶数解调。

10. 如权利要求 9 所述的自适应调光的可见光通信系统的解调方法，其特征在于，包括：

10 当所述接收机控制器检测到自适应 M-PAM 调制器的变换后的 M' 调制阶数时，所述接收机控制器根据 M' 调制阶数获得 M' 解调阶数；

所述接收机控制器将 M' 解调阶数传输至自适应 M-PAM 解调器以更新解调阶数。

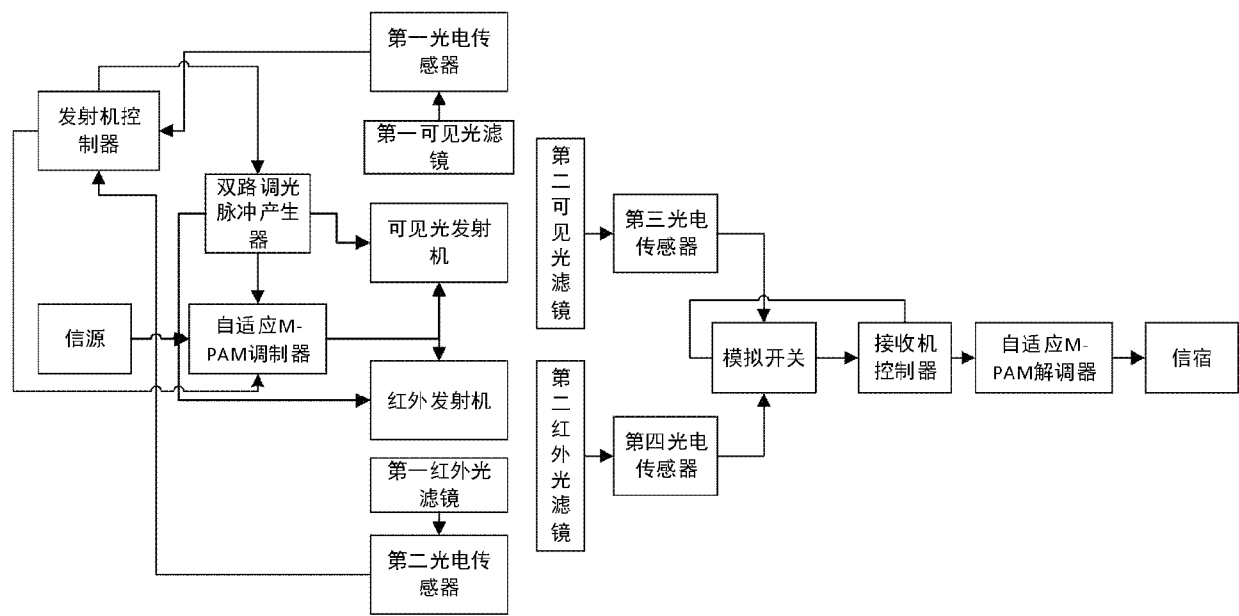


图 1

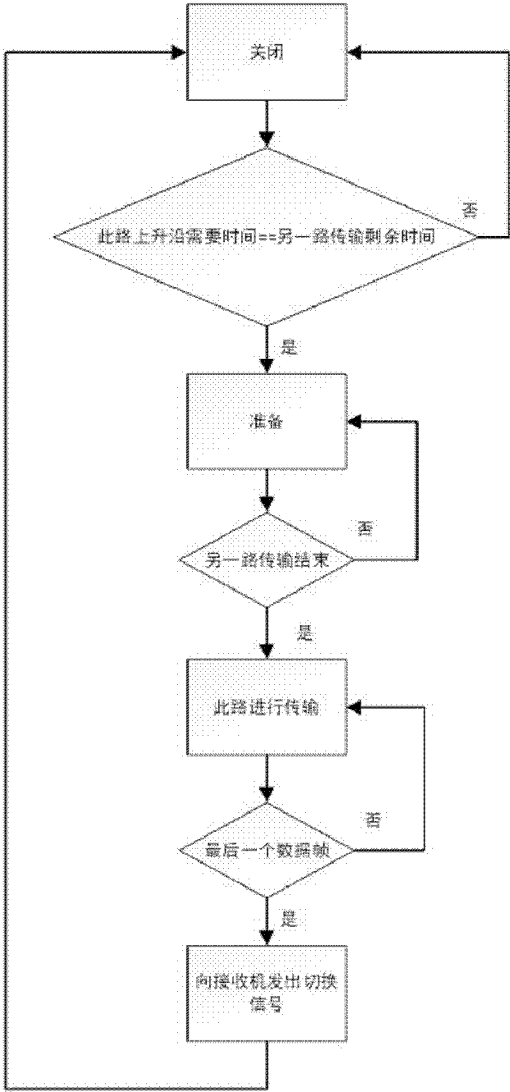


图 2

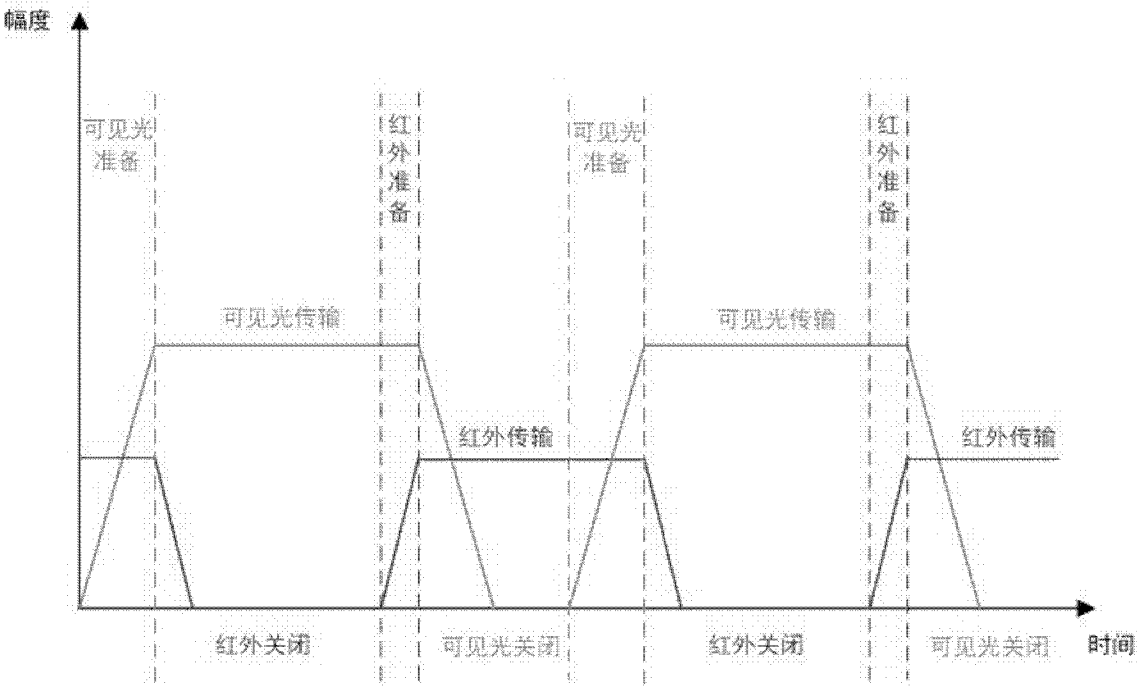


图 3

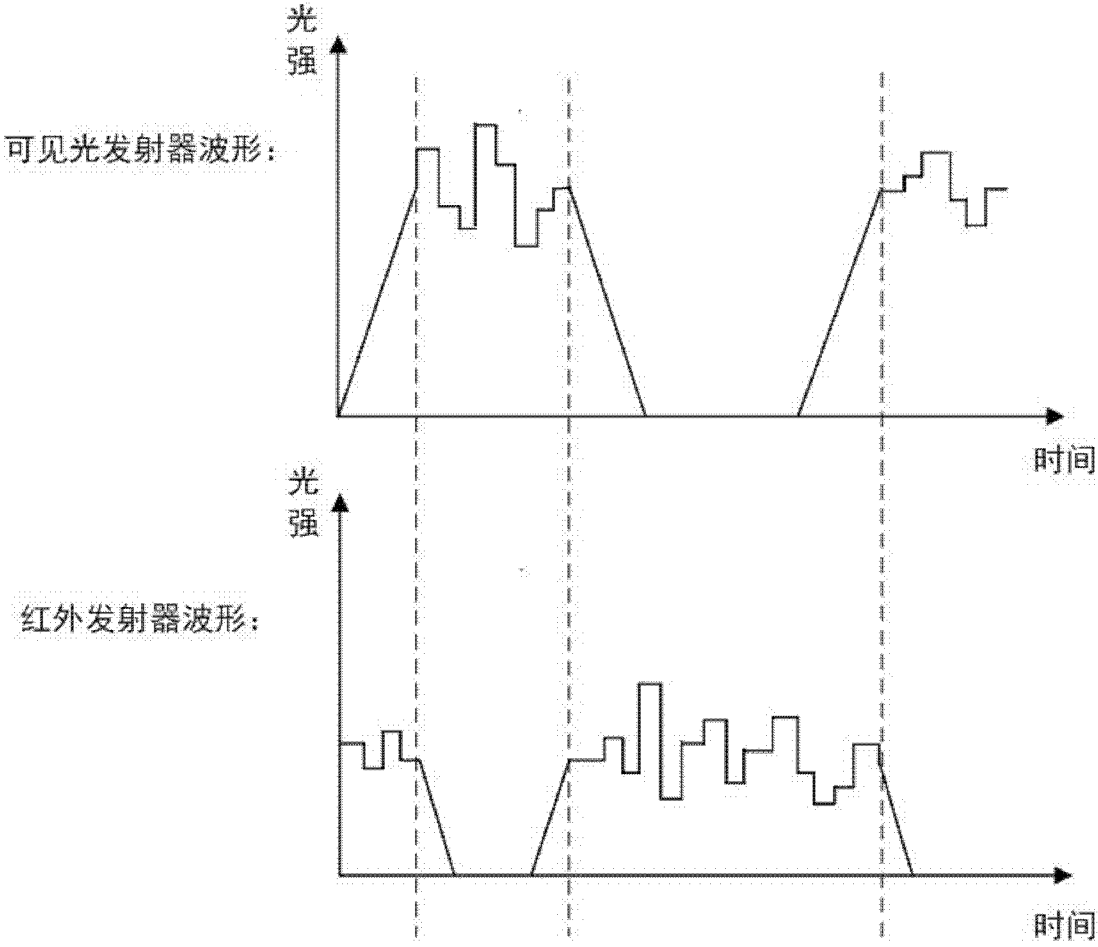


图 4

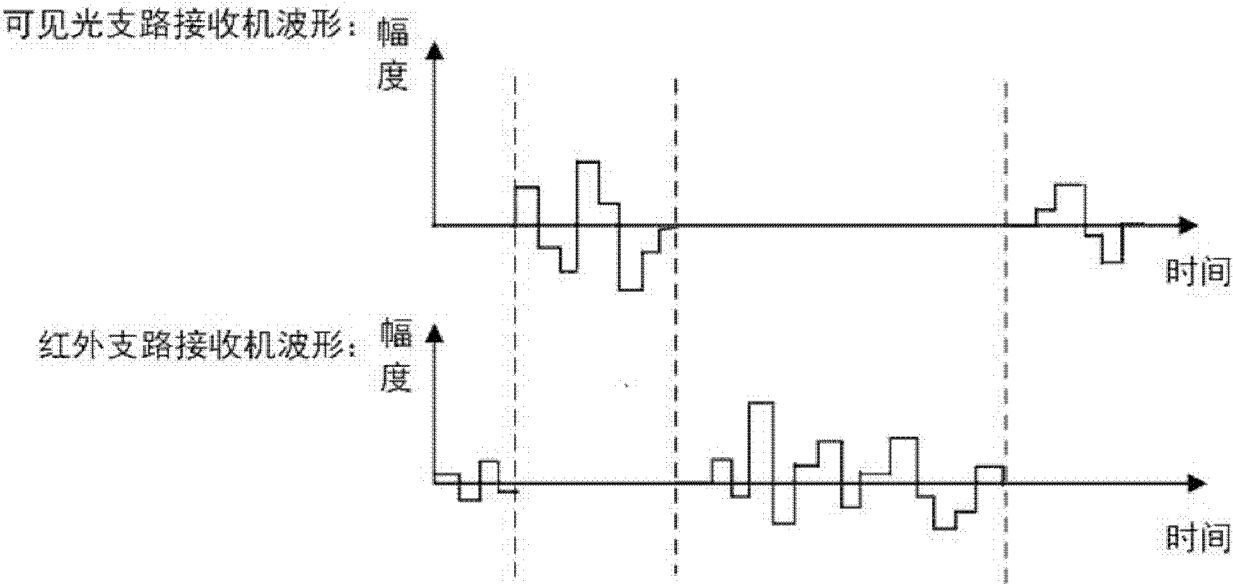


图 5

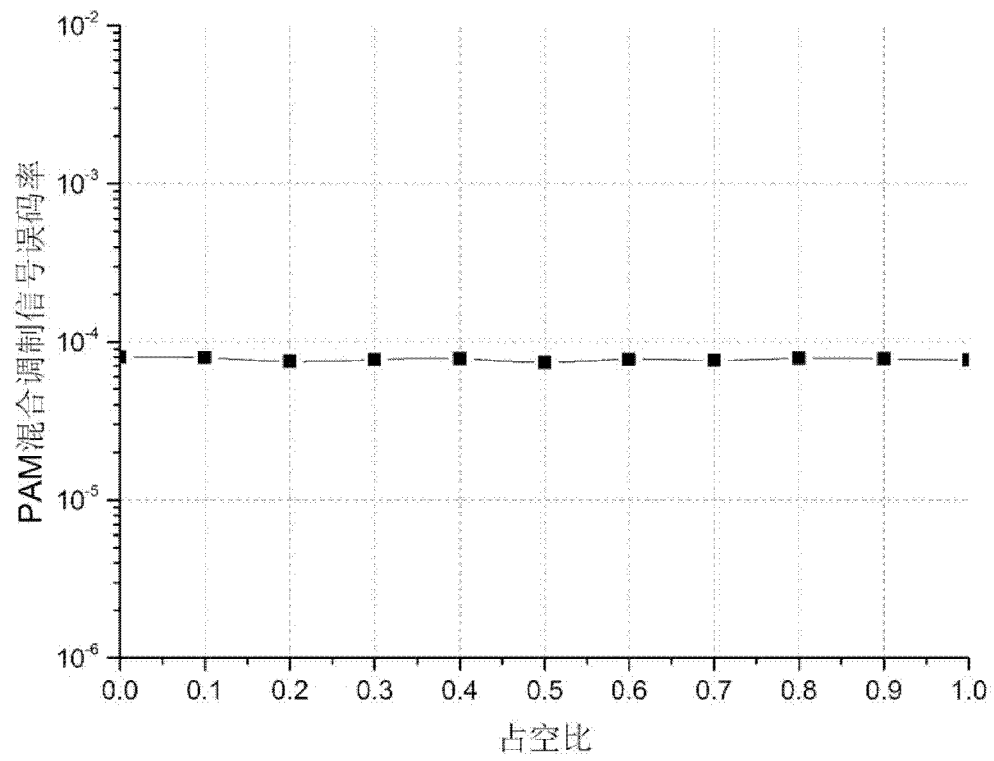


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/088356

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H04B 10/116(2013.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H04B; H04L Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPODOC, WPI, CNKI, CNPAT, IEEE: mppm, M-PAM, 脉冲, 调制, 红外, 可见光, 高电平, 延迟, 上升沿, 下降沿, LED, 衰减, 加权, 带宽, 光强, pulse, rising edge, modulat+, infrared, visible light, high level, delay		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	由晓迪 (YOU, Xiaodi). "室内可见光通信及相干光纤传输中若干信号处理技术的研究 (Research on Key Signal Processing Schemes in Indoor Visible Light or Coherent Optical Fiber Based Communication Systems)" 中国博士学位论文全文数据库 (Chinese Doctoral Dissertations Full-Text Database), 29 February 2020 (2020-02-29), entire document, pages [0066]-[0072]	1-10
A	CN 107342812 A (JILIN UNIVERSITY) 10 November 2017 (2017-11-10) entire document	1-10
A	CN 105323003 A (SHENZHEN DART LIGHTING CO., LTD.) 10 February 2016 (2016-02-10) entire document	1-10
A	CN 105846896 A (SUZHOU ANLAI PHOTOELECTRIC TECHNOLOGY CO., LTD.) 10 August 2016 (2016-08-10) entire document	1-10
A	WO 2020159006 A1 (HOSEO UNIVERSITY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 06 August 2020 (2020-08-06) entire document	1-10
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 23 November 2021		Date of mailing of the international search report 08 December 2021
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/ CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/088356**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2012257901 A1 (YAMADA, M. et al.) 11 October 2012 (2012-10-11) entire document	1-10
A	US 2020067553 A1 (KABUSHIKI, K. T. et al.) 27 February 2020 (2020-02-27) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/088356

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107342812	A	10 November 2017	None			
CN	105323003	A	10 February 2016	None			
CN	105846896	A	10 August 2016	None			
WO	2020159006	A1	06 August 2020	KR	20200095940	A	11 August 2020
US	2012257901	A1	11 October 2012	JP	2011205223	A	13 October 2011
				KR	20120099074	A	06 September 2012
				WO	2011118097	A1	29 September 2011
				DE	112010005415	T5	28 February 2013
US	2020067553	A1	27 February 2020	JP	2020017842	A	30 January 2020

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/088356

A. 主题的分类 H04B 10/116(2013.01) i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) H04B; H04L 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) EP0DOC, WPI, CNKI, CNPAT, IEEE:mppm, M-PAM, 脉冲, 调制, 红外, 可见光, 高电平, 延迟, 上升沿, 下降沿, LED, 衰减, 加权, 带宽, 光强, pulse, rising edge, modulat+, infrared, visible light, high level, delay		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	由晓迪, “室内可见光通信及相干光纤传输中若干信号处理技术的研究” 中国博士学位论文全文数据库, 2020年2月29日 (2020 - 02 - 29), 正文第[0066]-[0072]页	1-10
A	CN 107342812 A (吉林大学) 2017年11月10日 (2017 - 11 - 10) 全文	1-10
A	CN 105323003 A (深圳市达特照明股份有限公司) 2016年2月10日 (2016 - 02 - 10) 全文	1-10
A	CN 105846896 A (苏州安莱光电科技有限公司) 2016年8月10日 (2016 - 08 - 10) 全文	1-10
A	W0 2020159006 A1 (HOSEO UNIVERSITY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 2020年8月6日 (2020 - 08 - 06) 全文	1-10
A	US 2012257901 A1 (YAMADA, Masashi等) 2012年10月11日 (2012 - 10 - 11) 全文	1-10
A	US 2020067553 A1 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA等) 2020年2月27日 (2020 - 02 - 27) 全文	1-10
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2021年11月23日		国际检索报告邮寄日期 2021年12月8日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 侯艳兰 电话号码 86-(10)-53961644

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/088356

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107342812	A	2017年11月10日	无			
CN	105323003	A	2016年2月10日	无			
CN	105846896	A	2016年8月10日	无			
WO	2020159006	A1	2020年8月6日	KR	20200095940	A	2020年8月11日
US	2012257901	A1	2012年10月11日	JP	2011205223	A	2011年10月13日
				KR	20120099074	A	2012年9月6日
				WO	2011118097	A1	2011年9月29日
				DE	112010005415	T5	2013年2月28日
US	2020067553	A1	2020年2月27日	JP	2020017842	A	2020年1月30日