

# (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 2 月 24 日 (24.02.2022)



(10) 国际公布号  
**WO 2022/036766 A1**

(51) 国际专利分类号:  
**H04W 24/02** (2009.01) **H04B 10/516** (2013.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/113662

(22) 国际申请日: 2020 年 9 月 7 日 (07.09.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:  
202010850413.4 2020 年 8 月 21 日 (21.08.2020) 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)。 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有限公司(普通合伙)(CENTRAL SOUTH WELL INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, 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, 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,

(54) Title: CAPACITY OPTIMIZATION METHOD FOR MOBILE WIRELESS OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM, COMMUNICATION METHOD, AND SYSTEM

(54) 发明名称: 移动无线光通信系统的容量优化方法、通信方法及系统

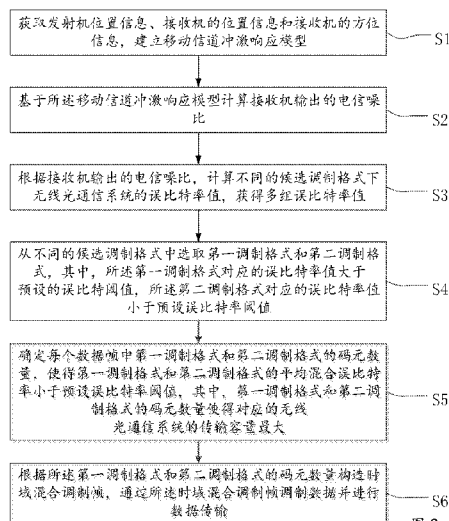


图 2

- S1 Obtain transmitter location information, receiver location information, and receiver orientation information, and establish a mobile channel impulse response model  
S2 On the basis of the mobile channel impulse response model, calculate an electronic signal to noise ratio outputted by a receiver  
S3 According to the electronic signal to noise ratio outputted by the receiver, calculate bit error rate values of a wireless optical communication system under different candidate modulation formats, and obtain a plurality of groups of bit error rate values  
S4 Select a first modulation format and a second modulation format from among the different candidate modulation formats, the bit error rate value corresponding to the first modulation format being greater than a preset bit error rate threshold, and the bit error rate value corresponding to the second modulation format being less than the preset bit error rate threshold  
S5 Determine the number of symbols of the first modulation format and the second modulation format in each data frame, so that the average mixed bit error rate of the first modulation format and the second modulation format is less than the preset bit error rate threshold, the number of symbols of the first modulation format and the second modulation format in each data frame enabling the transmission capacity of the corresponding wireless optical communication system to be at the maximum  
S6 Construct a time domain hybrid modulation frame according to the number of symbols of the first modulation format and the second modulation format, and modulate data by means of the time domain hybrid modulation frame and transmit the data

(57) Abstract: Disclosed are a capacity optimization method for a mobile wireless optical communication system, a communication method, and a system. The capacity optimization method comprises the following steps: establishing a mobile channel impulse response model; calculating an electronic signal to noise ratio outputted by a receiver; according to the electronic signal to noise ratio outputted by the receiver, calculating bit error rate values of a wireless optical communication system under different candidate modulation formats; selecting a first modulation format and a second modulation format from among the different candidate modulation formats; determining the number of symbols of the first modulation format and the second modulation format in each data frame; constructing

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))。

a time domain hybrid modulation frame according to the number of symbols of the first modulation format and the second modulation format, and modulating data by means of the time domain hybrid modulation frame and transmitting the data. The described method can effectively suit the actual state of a mobile wireless optical channel, and a signal transmission solution is adaptively adjusted and optimized according to mobile state information of the terminal. Therefore, the spectrum efficiency and the mobile transmission capacity of the system are both dynamically optimized, and the transmission quality of a link is ensured to be reliable.

(57) 摘要: 本发明公开了一种移动无线光通信系统的容量优化方法、通信方法及系统, 包括以下步骤: 建立移动信道冲激响应模型; 计算接收机输出的电信噪比; 根据接收机输出的电信噪比, 计算不同的候选调制格式下无线光通信系统的误比特率值; 从不同的候选调制格式中选取第一调制格式和第二调制格式; 确定每个数据帧中第一调制格式和第二调制格式的码元数量; 根据第一调制格式和第二调制格式的码元数量构造时域混合调制帧, 通过时域混合调制帧调制数据并进行数据传输。其能够有效地适应移动无线光信道的实际状态, 根据终端的移动状态信息对信号传输方案进行自适应的调整与优化, 从而使系统的频谱效率以及移动传输容量均达到动态最优, 保证链路的传输质量可靠。

## 移动无线光通信系统的容量优化方法、通信方法及系统

### 技术领域

本发明涉及光通信技术领域，具体涉及一种移动无线光通信系统的容量优化方法、通信方法及系统。

### 背景技术

随着移动互联网、物联网、虚拟现实等技术的不断发展，人们对室内无线光通信技术开展了大量的研究。然而，这些研究主要集中于终端静止的点对点传输场景。近年来，在多样化的无线光通信应用中，用户或业务对终端移动性的需求不断增加。例如，家庭用户希望在室内不同位置可以通过灯光上网，且拥有良好的用户体验；在工业场景中，安装在移动机械臂、生产线上的传感器和中继节点在利用灯光互联时，需要拥有优质的服务质量。然而，无线光通信接收机的移动会导致无线光通信信道发生时变，这给实现高速无线光通信带来了挑战。由于室内光照强度空间分布并非均匀，用户终端即使只在单个小区内进行移动或改变方位，接收光信号的电信噪比性能也会发生较大的波动，若采用传统的针对静态传输场景的固定调制格式，系统的频谱效率和传输容量都难以维持动态最优，难以为移动用户提供高速且连续不间断的数据传输服务。

目前的解决方式是采用传统的自适应调制技术，其通过发送训练序列对信道进行估计，接收端将信道估计所得到的实时信道状态信息反馈至发射端，发射端根据信道状态对调制格式、调制阶数等参数进行自适应的选择与优化。传统的自适应调制技术的缺点如下：对于单载波系统，采用单一调制格式可达到的频谱效率和其所支持的最远传输距离之间的对应关系仍保持离散。例如，当移动终端的位置介于两种调制格式（如 PAM2 和 PAM4）所支持的最远传输距离

之间时，为了保证链路传输质量，只能选择较低阶的调制格式（即 PAM2），故无法实现最优的频谱效率。虽然采用多载波 OFDM 技术可以进一步提升频谱效率，但是为了对 OFDM 信号进行自适应调制，通常需要将完整的（例如各个频点的）信道状态信息进行反馈，因此当终端移动时，信道的不断变化将导致大量的反馈开销，降低上行传输效率，在上行传输资源受限的情况下难以维持可靠的系统传输性能。同时，相较于单载波调制方式，OFDM 的处理复杂度更高，且信号的峰均比更高，这都会引起系统性能的下降。

## 发明内容

本发明要解决的技术问题是提供一种移动无线光通信系统的容量优化方法、通信方法及系统，其能够有效地适应移动无线光信道的实际状态，根据终端的移动状态信息对信号传输方案进行自适应的调整与优化，从而使系统的频谱效率以及移动传输容量均达到动态最优，保证链路的传输质量可靠，满足不同种类业务的具体需求。

为了解决上述技术问题，本发明提供了一种移动无线光通信系统的容量优化方法，包括以下步骤：

S1、获取发射机位置信息、接收机的位置信息和接收机的方位信息，建立移动信道冲激响应模型；

S2、基于所述移动信道冲激响应模型计算接收机输出的电信噪比；

S3、根据接收机输出的电信噪比，计算不同的候选调制格式下无线光通信系统的误比特率值，获得多组误比特率值；

S4、从不同的候选调制格式中选取第一调制格式和第二调制格式，其中，所述第一调制格式对应的误比特率值大于预设的误比特率阈值，所述第二调制格式对应的误比特率值小于预设误比特率阈值；

S5、确定每个数据帧中第一调制格式和第二调制格式的码元数量，使得第一调制格式和第二调制格式的平均混合误比特率小于预设误比特率阈值，其中，第一调制格式和第二调制格式的码元数量使得对应的无线光通信系统的传输容量最大；

5 S6、根据所述第一调制格式和第二调制格式的码元数量构造时域混合调制帧，通过所述时域混合调制帧调制数据并进行数据传输。

作为优选的，所述 S3 还包括，对获得的多组误比特率值递减排序，获得排序后的多组误比特率值；

10 所述 S4 中，所述第一调制格式和第二调制格式对应的误比特率值为所述排序后的多组误比特率值中相邻的数值。

作为优选的，所述 S6 包括：

比较第一调制格式的码元数量  $N_k$  和第二调制格式的码元数量  $N_{k+1}$  大小，

15 若  $N_k \geq N_{k+1}$ ，则令  $I = \text{floor}(N_k / N_{k+1})$ ，且在构造时域混合调制数据帧结构的过程中，每传输  $I$  个第一调制格式符号，就传输 1 个第二调制格式符号，两种调制格式的符号交替传输，直至码元全部发送完毕，则一帧发送完毕，

若  $N_k < N_{k+1}$ ，则令  $I = \text{ceil}(N_{k+1} / N_k)$ ，则在构造时域混合调制数据帧结构的过程中，每传输  $I$  个第二调制格式符号，就必须传输 1 个第一调制格式符号，两种调制格式的符号交替传输，直至码元全部发送完毕，则一帧发送完毕。

作为优选的，所述 S1 具体包括：

20 根据  $T$ 、 $R$ 、 $O$  终端移动状态，获得移动信道冲激响应：

$$h(t; T, R, O) = \sum_{i=1}^{N_{LED}} w_i \left[ H_{i,los}(0; T_i, R, O) \cdot \delta(t - \tau_{i,los}) + \int_{\tau_{i,nlos}=0}^{+\infty} A_{i,nlos}(\tau_{i,nlos}; T_i, R, O) \cdot \delta(t - d\tau_{i,nlos}) \right],$$

其中，发射机坐标  $T_i$  为  $(x_{ti}, y_{ti}, z_{ti})$ ， $i$  表示第  $i$  个 LED 光源，接收机坐标  $R$

为 $(x_r, y_r, z_r)$ , 接收机方位  $\mathbf{O}$  为 $(\alpha, \beta)$ ,  $\alpha$ 为接收机朝向的方位角,  $\beta$ 为接收机朝向的极角;  $N_{LED}$  是 LED 光源的数量; 对于第  $i$  个 LED 光源,  $w_i$  是光源发射功率的加权系数,  $\tau_{i,los}$  和  $\tau_{i,nlos}$  分别为视距和非视距链路的信号传播时延,  $H_{i,los}(0)$  为视距链路的归一化直流增益,  $A_{i,nlos}$  为非视距链路的归一化信道增益。

5 作为优选的, 所述 S2 具体包括:

$$SNR(T, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s) = \frac{P_{r,sig}(T, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s)}{P_{r,isi}(T, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s) + N(T, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s)}$$

$$= \frac{\left[ \gamma \int_{t_0}^{t_0 + 1/R_s} P_t m s(t) \otimes h(t; T, \mathbf{R}, \mathbf{O}) dt \right]^2}{\left[ \gamma \int_{t_0 + 1/R_s}^{+\infty} P_t m s(t) \otimes h(t; T, \mathbf{R}, \mathbf{O}) dt \right]^2 + [\sigma_{shot}^2(T, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s) + \sigma_{thermal}^2(R_s)]}$$

其中,  $P_{r,sig}$  为接收信号的功率,  $P_{r,isi}$  代表码间干扰,  $N$  由散粒噪声方差  $\sigma_{shot}^2$  和热噪声方差  $\sigma_{thermal}^2$  组成,  $\gamma$  为光电探测器的光电转换效率,  $t_0$  为积分后的脉冲起始时间,  $R_s$  为脉冲速率,  $P_t$  为每个光源的平均发射功率,  $m$  为发射信号的调制指数,  $s(t)$  为归一化矩形脉冲,  $\otimes$  代表卷积运算;

其中, 散粒噪声进一步表示为:

$$\sigma_{shot}^2(T, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s) = 2q \left[ \gamma \int_{t_0}^{+\infty} P_t s(t) \otimes h(t; T, \mathbf{R}, \mathbf{O}) dt + I_{bg} I_2 \right] R_s,$$

其中,  $q$  是电子电荷数,  $I_{bg}$  是背景电流,  $I_2$  是噪声带宽因子;

热噪声表示为:

$$15 \quad \sigma_{thermal}^2(R_s) = 8\pi k T_k \mu A R_s^2 \left( \frac{I_2}{G} + \frac{2\pi \Gamma \mu A I_3 R_s}{g_m} \right),$$

其中,  $k$  是玻尔兹曼常数,  $T_k$  是绝对温度,  $\mu$  是固定电容,  $A$  是光电检测器面积,  $g_m$  是场效应晶体管的跨导,  $\Gamma$  是 FET 的信道噪声因子,  $G$  是开环电压增益,  $I_3 = 0.0868$ 。

作为优选的, 所述 S3 具体包括以下步骤:

20 计算得到无线光通信系统的误比特率为:

$$BER(T, R, O) = \begin{cases} \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{\sqrt{SNR(T, R, O) \cdot \log_2 L}}{2\sqrt{2}(L-1)} \right) & \text{对于 PAM} \\ \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{SNR(T, R, O) \cdot L \cdot \log_2 L}{2}} \right) & \text{对于 PPM} \end{cases}$$

此处，采用不同调制阶数的  $L$ -PAM 和  $L$ -PPM 作为候选的调制格式，PAM 为脉冲幅值调制，PPM 为脉冲位置调制， $L$  为信号调制阶数；

计算得到每种不同的候选的调制格式所对应的误比特率，并将所有的误比特率值从高到低排列，得到  $BER_1(T, R, O)$ 、 $BER_2(T, R, O)$ 、.....、 $BER_K(T, R, O)$ ，它们所对应的调制格式可分别表示为格式 1、格式 2、.....、格式 K。

作为优选的，所述 S4 具体包括：

当终端的移动状态为  $(T, R, O)$  时，设定误比特率阈值为  $BER_T$ ；

当满足  $BER_k(T, R, O) \geq BER_T > BER_{k+1}(T, R, O)$  时，选择格式  $k$  以及格式  $k+1$  来构造时域混合调制数据帧，其中， $1 \leq k < k+1 \leq K$ ，格式  $k$  记为第一调制格式，格式  $k+1$  记为第二调制格式。

作为优选的，所述 S5 包括以下步骤：

S51、所述时域混合调制数据帧的平均混合误比特率为：

$$BER_{Hybrid}(T, R, O) = \frac{D \cdot SE_k(T, R, O) \cdot BER_k(T, R, O) + (1-D) \cdot SE_{k+1}(T, R, O) \cdot BER_{k+1}(T, R, O)}{D \cdot SE_k(T, R, O) + (1-D) \cdot SE_{k+1}(T, R, O)} \leq BER_T,$$

其中， $D$  表示上述格式  $k$  的所占比重， $D$  的范围为  $0 \leq D \leq 1$ ， $SE_k$  和  $SE_{k+1}$  分别表示调制格式  $k$  和调制格式  $k+1$  的频谱效率；

S52、获得  $D$  的最优值，记为  $D_{opt}$ ，使无线光通信系统的动态传输容量最大，具体包括：将从  $D=1$  开始，增量为  $\Delta D < 0$ ，通过逐渐减小  $D$ ，一旦当  $D$  的值无法满足平均混合误比特率小于预设误比特率阈值  $BER_T$  时，则将当前  $D$  的值减去  $\Delta D$ ，并将相减后的结果作为在  $(T, R, O)$  移动状态下的  $D_{opt}$ ；

S53、对于调制格式  $k$ ，每一帧中所需的码元数量为  $N_k = \text{floor}(N_{total} \times D_{opt})$ ，

对于调制格式  $k+1$ ，每一帧中所需的码元数量为  $N_{k+1} = \text{ceil}(N_{\text{total}} \times (1 - D_{\text{opt}}))$ ，

其中， $\text{floor}()$ 表示向下取整， $\text{ceil}()$ 表示向上取整， $N_{\text{total}}$ 为每一个时域混合调制数据帧中的码元总数。

本发明公开了一种移动无线光通信系统的通信方法，基于上述的移动无线光通信系统的容量优化方法优化，其特征在于，包括以下步骤：

针对不同的业务类型的预设误比特率阈值和不同的脉冲速率级别，获取不同的时域混合调制帧；

将不同预设误比特率阈值和脉冲速率级别对应的时域混合调制帧存储至数据库；

10 获取当前的预设误比特率阈值和脉冲速率级别，调用数据库中对应的时域混合调制帧并进行无线光通信。

本发明公开了一种移动无线光通信系统，包括发射机和接收机，所述发射机或接收机上设置有优化模块，所述优化模块运行上述的移动无线光通信系统的容量优化方法；

15 当所述接收机上设置有优化模块时，所述优化模块计算获得时域混合调制帧的优化参数信息，所述时域混合调制帧的优化参数信息由接收机传输至发射机，所述发射机根据接收的时域混合调制帧的优化参数信息构造时域混合调制帧，进行数据传输；

20 当所述发射机上设置有优化模块时，接收机将接收机的位置信息和接收机的方位信息发送至发射机，所述优化模块计算获得时域混合调制帧的优化参数信息，所述发射机根据接收的时域混合调制帧的优化参数信息构造时域混合调制帧，所述发射机将时域混合调制帧及其优化参数信息发送至接收机，所述接收机根据所接收到的时域混合调制帧的优化参数信息对时域混合调制帧进行解

调。

本发明的有益效果：

1、本发明基于单载波调制，结构简单、实时处理灵活性高，可以有效避免 OFDM 技术的固有缺陷。

5        2、本发明适用于移动无线光通信系统，通过从接收端向发射端反馈简单的终端移动状态信息，便可对移动无线光信道状态进行高效的估计，并有效降低上行反馈链路的传输开销。

3、本发明可以根据终端所感知的移动状态信息对系统的频谱效率和传输容量进行动态优化，从而能够高效地适应无线光信道中电信噪比的时变性，实现  
10    终端移动过程中频谱效率和传输容量的动态最优。

4、本发明可在接收机改变位置、方位的过程中实现系统传输容量的连续变化，有利于所承载业务的平稳切换以及传输速率的连续、顺利的过渡。

5、本发明可以满足不同业务所规定的误比特率门限，从而保证无线光通信链路的移动传输质量可靠。

15       6、本发明可以有效地适应移动无线光信道的实际状态，根据终端的移动状态信息对信号传输方案进行自适应的调整与优化。

## 附图说明

图 1 为本发明的原理图；

图 2 为本发明的移动无线光通信系统的容量优化方法的流程图；

20       图 3 为无线光通信系统模型；

图 4 为在对角线上不同位置的传输容量对比图；

图 5 为在对角线上不同位置下所提出的优化方案采用的调制格式以及所对应的  $D_{opt}$ ；

图 6 为在对角线上不同位置的误比特率对比图；

图 7 为两种调制方式在接收平面内的传输容量对比图，其中，(a) 采用传统的自适应调制方法；(b) 采用本发明的优化方法；

图 8 为数据传输容量提升幅度的互补累计函数示意图；

5 图 9 为接收机倾斜情况下的传输容量对比图，其中，(a)  $\alpha=0^\circ$ ；(b)  $\alpha=45^\circ$ 。

## 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 所示，为本发明的原理图。在室内无线光通信系统中，当终端移动或改变方位（即接收机视场角的朝向）时，接收机接收到的光功率和信噪比均会发生波动。对于传统的单载波调制，为了适应信噪比的变化，需要选择一种最有效的调制格式。然而，对于移动无线光通信系统，采用离散调制格式很难达到最佳的频谱效率。例如，当一个终端位于两种调制格式（例如 PAM2 和

15 PAM4）所支持的最远传输距离之间时，只能采用较低阶的调制格式（即 PAM2）来确保可靠的链路质量。这显然无法实现最佳的频谱效率。为了改善频谱效率，我们提出一种可感知接收机移动状态的时域混合调制方案，如图 1 所示。通过时分复用的方式，我们将两种不同的调制格式交替传输，可以根据移动信道的时变情况自适应地调整平均的频谱效率。例如，当终端位于明亮的区域时，信

20 噪比较大，则将两种具有高谱效率的调制格式混合（其中谱效率较高的调制格式 1 占比为 D1%），形成帧结构 1，以获得更高的频谱效率；而当终端移动到较暗的区域时，信噪比较低，则将两种具有较低频谱效率的调制格式混合（其中谱效率较高的调制格式 2 占比为 D2%），形成帧结构 2，以保证链路传输质量，满足接收机灵敏度的需求。只要确保每一个帧中的平均误比特率（BER）刚好低

25 于所采用前向纠错（FEC）所规定的误比特率阈值（如  $BERT = 4.6 \times 10^{-3}$ ），便

可以有效提升系统的移动传输容量。

参照图 2 所示, 本发明公开了一种移动无线光通信系统的容量优化方法, 该方法的输入是终端移动状态, 包括接收机的位置、朝向等信息, 该方法的制约条件为误比特率门限值和器件所支持的脉冲速率, 该方案的输出是优化后的调制格式、调制阶数、混合比例以及混合帧结构等系统配置参数, 最终可实现系统中移动传输容量的动态提升。

本发明的移动无线光通信系统的容量优化方法包括以下步骤:

步骤一、获取发射机位置信息、接收机的位置信息和接收机的方位信息, 建立移动信道冲激响应模型, 具体包括:

无线光通信的信道状态主要取决于发射机和接收机之间的几何位置关系。因此, 考虑终端的移动状态信息, 包括发射机坐标、接收机坐标和接收机方位。其中, 发射机坐标为  $\mathbf{T}_i$  为  $(x_{ti}, y_{ti}, z_{ti})$ ,  $i$  表示第  $i$  个 LED 光源, 接收机坐标  $\mathbf{R}$  为  $(x_r, y_r, z_r)$ , 接收机方位  $\mathbf{O}$  为  $(\alpha, \beta)$ , 其中,  $\alpha$  为接收机朝向的方位角,  $\beta$  为接收机朝向的极角, 如后面图 3 所示。根据  $\mathbf{T}$ 、 $\mathbf{R}$ 、 $\mathbf{O}$  这些终端移动状态, 可以得到移动信道冲激响应, 如下所示:

$$h(t; \mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{O}) = \sum_{i=1}^{N_{LED}} w_i \left[ H_{i,los}(0; \mathbf{T}_i, \mathbf{R}, \mathbf{O}) \cdot \delta(t - \tau_{i,los}) + \int_{\tau_{i,nlos}=0}^{+\infty} A_{i,nlos}(\tau_{i,nlos}; \mathbf{T}_i, \mathbf{R}, \mathbf{O}) \cdot \delta(t - d\tau_{i,nlos}) \right] \quad (1)$$

其中,  $N_{LED}$  是 LED 光源的数量; 对于第  $i$  个 LED 光源,  $w_i$  是光源发射功率的加权系数,  $\tau_{i,los}$  和  $\tau_{i,nlos}$  分别是视距和非视距链路的信号传播时延,  $H_{i,los}(0)$  是视距链路的归一化直流增益,  $A_{i,nlos}$  是非视距链路的归一化信道增益。

步骤二、基于所述移动信道冲激响应模型计算接收机输出的电信噪比, 具体包括:

基于公式(1), 在接收端, 我们可以计算光电检测器输出的电信噪比 SNR,

并将其表示成接收机移动状态的形式:

$$SNR(T, R, O; R_s) = \frac{P_{r, sig}(T, R, O; R_s)}{P_{r, isi}(T, R, O; R_s) + N(T, R, O; R_s)} \quad (2)$$

$$= \frac{\left[ \gamma \int_{t_0}^{t_0 + 1/R_s} P_t ms(t) \otimes h(t; T, R, O) dt \right]^2}{\left[ \gamma \int_{t_0 + 1/R_s}^{+\infty} P_t ms(t) \otimes h(t; T, R, O) dt \right]^2 + [\sigma_{shot}^2(T, R, O; R_s) + \sigma_{thermal}^2(R_s)]}$$

其中,  $P_{r, sig}$  为接收信号的功率,  $P_{r, isi}$  代表码间干扰,  $N$  由散粒噪声方差  $\sigma_{shot}^2$  和热噪声方差  $\sigma_{thermal}^2$  组成,  $\gamma$  为光电探测器的光电转换效率,  $t_0$  为积分后的脉冲起始时间,  $R_s$  为脉冲速率,  $P_t$  为每个光源的平均发射功率,  $m$  为发射信号的调制指数,  $s(t)$  为归一化矩形脉冲,  $\otimes$  代表卷积运算;

其中, 散粒噪声进一步表示为:

$$\sigma_{shot}^2(T, R, O; R_s) = 2q \left[ \gamma \int_{t_0}^{+\infty} P_t s(t) \otimes h(t; T, R, O) dt + I_{bg} I_2 \right] R_s \quad (3)$$

其中,  $q$  是电子电荷数,  $I_{bg}$  是背景电流,  $I_2$  是噪声带宽因子;

热噪声表示为:

$$\sigma_{thermal}^2(R_s) = 8\pi k T_k \mu A R_s^2 \left( \frac{I_2}{G} + \frac{2\pi \Gamma \mu A I_3 R_s}{g_m} \right) \quad (4)$$

其中,  $k$  是玻尔兹曼常数,  $T_k$  是绝对温度,  $\mu$  是固定电容,  $A$  是光电检测器面积,  $g_m$  是场效应晶体管的跨导,  $\Gamma$  是 FET 的信道噪声因子,  $G$  是开环电压增益,  $I_3 = 0.0868$ 。

步骤三、根据接收机输出的电信噪比, 计算不同的候选调制格式下无线光通信系统的误比特率值, 获得多组误比特率值, 之后, 对获得的多组误比特率值递减排序, 获得排序后的多组误比特率值, 具体包括以下步骤:

根据式(2)中的 SNR, 则无线光通信系统的误比特率 (BER) 可以表示为:

$$BER(T, R, O) = \begin{cases} \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{\sqrt{SNR(T, R, O)} \cdot \log_2 L}{2\sqrt{2}(L-1)} \right) & \text{对于 PAM} \\ \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{SNR(T, R, O) \cdot L \cdot \log_2 L}{2}} \right) & \text{对于 PPM} \end{cases} \quad (5)$$

此处，采用不同调制阶数的  $L$ -PAM 和  $L$ -PPM 作为候选的调制格式，PAM 为脉冲幅值调制，PPM 为脉冲位置调制， $L$  为信号调制阶数；

通过式(5)，计算得到每种不同的候选的调制格式所对应的误比特率，并将所有的误比特率值从高到低排列，得到  $BER_1(T, R, O)$ 、 $BER_2(T, R, O)$ 、.....、  
5  $BER_K(T, R, O)$ ，它们所对应的调制格式可分别表示为格式 1、格式 2、.....、格式 K。

步骤四、从不同的候选调制格式中选取第一调制格式和第二调制格式，其中，所述第一调制格式对应的误比特率值大于预设的误比特率阈值，所述第二调制格式对应的误比特率值小于预设误比特率阈值，其中，所述第一调制格式和  
10 第二调制格式对应的误比特率值为所述排序后的多组误比特率值中相邻的数值，具体包括以下步骤：

当终端的移动状态为  $(T, R, O)$  时，对于某种特定的业务，设定的误比特率阈值为  $BER_T$ ；

当满足  $BER_k(T, R, O) \geq BER_T > BER_{k+1}(T, R, O)$  时，选择格式  $k$  以及格式  
15  $k+1$  来构造时域混合调制数据帧，其中， $1 \leq k < k+1 \leq K$ ，格式  $k$  记为第一调制格式，格式  $k+1$  记为第二调制格式。

步骤五、确定每个数据帧中第一调制格式和第二调制格式的码元数量，使得第一调制格式和第二调制格式的平均混合误比特率小于预设误比特率阈值，其中，第一调制格式和第二调制格式的码元数量使得对应的无线光通信系统的  
20 传输容量最大，具体包括以下步骤：

S51、所述时域混合调制数据帧的平均混合误比特率为：

$$BER_{Hybrid}(T, R, O) = \frac{D \cdot SE_k(T, R, O) \cdot BER_k(T, R, O) + (1-D) \cdot SE_{k+1}(T, R, O) \cdot BER_{k+1}(T, R, O)}{D \cdot SE_k(T, R, O) + (1-D) \cdot SE_{k+1}(T, R, O)} \leq BER_T \quad (6)$$

其中， $D$  表示上述格式  $k$  的所占比重， $D$  的范围为  $0 \leq D \leq 1$ ， $SE_k$  和  $SE_{k+1}$   
25 分别表示调制格式  $k$  和调制格式  $k+1$  的频谱效率；

S52、根据(6)中的约束条件，我们需要找到D的最优值，即 $D_{opt}$ ，使系统的动态传输容量最大。因此，我们通过穷举法来搜索得到 $D_{opt}$ ，在穷举的过程中，为降低计算量，将从 $D=1$ 开始，增量为 $\Delta D < 0$ ，通过逐渐减小D，一旦当D的值无法满足平均混合误比特率小于预设误比特率阈值为 $BER_T$ 时，则将当前D  
5 的值减去 $\Delta D$ ，并将相减后的结果作为在 $(T, R, O)$ 移动状态下的 $D_{opt}$ ；

S53、对于调制格式k，每一帧中所需的码元数量为 $N_k = \text{floor}(N_{total} \times D_{opt})$ ，对于调制格式k+1，每一帧中所需的码元数量为 $N_{k+1} = \text{ceil}(N_{total} \times (1 - D_{opt}))$ ，

其中， $\text{floor}()$ 表示向下取整， $\text{ceil}()$ 表示向上取整， $N_{total}$ 为每一个时域混合调制数据帧中的码元总数。

10 通过上述取整函数的正确使用，可以确保系统传输质量可靠，即误比特率不超过 $BER_T$ 。

步骤六、根据所述第一调制格式和第二调制格式的码元数量构造时域混合调制帧，通过所述时域混合调制帧调制数据并进行数据传输。

比较第一调制格式的码元数量 $N_k$ 和第二调制格式的码元数量 $N_{k+1}$ 大小，

15 若 $N_k \geq N_{k+1}$ ，则令 $I = \text{floor}(N_k / N_{k+1})$ ，且在构造时域混合调制数据帧结构的过程中，每传输I个第一调制格式符号，就传输1个第二调制格式符号，两种调制格式的符号交替传输，直至码元全部发送完毕，则一帧发送完毕，

若 $N_k < N_{k+1}$ ，则令 $I = \text{ceil}(N_{k+1} / N_k)$ ，则在构造时域混合调制数据帧结构的过程中，每传输I个第二调制格式符号，就必须传输1个第一调制格式符号，  
20 两种调制格式的符号交替传输，直至码元全部发送完毕，则一帧发送完毕。

本发明还公开了一种移动无线光通信系统的通信方法，基于上述的移动无线光通信系统的容量优化方法优化，包括以下步骤：

步骤一、针对不同的业务类型的预设误比特率阈值和不同的脉冲速率级别，

获取不同的时域混合调制帧；

步骤二、将不同预设误比特率阈值和脉冲速率级别对应的时域混合调制帧存储至数据库；

步骤三、获取当前的预设误比特率阈值和脉冲速率级别，调用数据库中对应的时域混合调制帧并进行无线光通信。

具体的，由于调制格式  $k$ 、调制格式  $k+1$  以及  $D_{opt}$  均与终端移动状态有关，因此，可以通过查表法来记录这些参数与接收机移动状态之间的关系。当终端首次位于  $(T, R, O)$  的移动状态时，我们将建立  $(T, R, O)$  所对应的表格索引，并对系统参数进行初始化。我们将根据不同的业务类型和不同的脉冲速率级别对表格进行分页。在每一页表格中，我们假设业务的误比特率门限为  $BER_T$ ，系统所支持的脉冲速率为  $R_s$ ，则我们将相同的  $BER_T$  和  $R_s$  作为这一页表格的制约条件。由于发射机的坐标  $T$  通常为固定的，因此，我们通过查阅终端在室内的实时坐标  $R$  和朝向  $O$ ，来获得如下信息：调制格式  $k$ 、调制格式  $k+1$ 、交替传输所遵照的帧结构（即包含  $N_k$ 、 $N_{k+1}$ 、 $I$  的相关信息）。最终，所提出的方案可以在  $(T, R, O)$  的终端移动状态下获得最优的传输容量  $R_b$  如下：

$$R_b(T, R, O) = D_{opt}(T, R, O) \cdot SE_k(T, R, O) \cdot R_s + [1 - D_{opt}(T, R, O)] \cdot SE_{k+1}(T, R, O) \cdot R_s \quad (7)$$

而  $R_b$  将作为重要依据，用来判断待承载业务是否能够维持稳定、可靠的数据传输。

从以上步骤可以看出，本发明中，时域混合调制方案的参数可以根据终端的移动状态进行自适应的调整和优化，为了传输此类信号，需要发射端与接收端之间进行协商。我们所采用的是从接收端到发射端的反馈机制。分为以下两种方式进行：

方式 1，参数的优化计算由接收机来完成，并向发射机反馈所需采用的最优时域混合调制格式，以及帧结构信息。在该方式中，接收机通过室内无线光定位获得其自身的坐标信息  $R$ ，同时，接收机利用其自带的角度传感器，获得

其方位角信息  $O$  (即朝向), 然后利用固定的发射机坐标信息  $T$ , 直接在接收端通过前述步骤一到步骤六进行参数优化, 得到在  $(T, R, O)$  移动状态下所需采用的最优时域混合调制格式, 以及帧结构信息, 然后通过上行链路 (优选 WiFi) 反馈至发射端, 进行自适应的通信协商。

- 5        方式 2, 向发射机反馈  $(R, O)$ , 参数的优化计算由发射机来完成。在该方式中, 为了进一步降低终端的复杂度, 接收机通过室内无线光定位获得其自身的坐标信息  $R$ , 同时, 接收机利用其自带的角度传感器, 获得其方位角信息  $O$  (即朝向), 接收机将  $(R, O)$  这两种信息然后通过上行链路 (优选 WiFi) 反馈至发射端。发射端利用自身的坐标信息  $T$ , 再结合所接收到的  $(R, O)$ , 通过前述步骤一到步骤六进行参数优化, 得到在  $(T, R, O)$  移动状态下所需采用的最优时域混合调制格式, 以及帧结构信息, 并通过下行链路以固定的调制格式在发送新的时域混合调制信号之前告知接收机。
- 10

基于上述发射端与接收端的两种通信协商方式, 本发明公开了一种移动无线光通信系统, 包括发射机和接收机, 所述发射机或接收机上设置有优化模块, 所述优化模块运行上述的移动无线光通信系统的容量优化方法; 当所述接收机上设置有优化模块时, 所述优化模块计算获得时域混合调制帧的优化参数信息, 所述时域混合调制帧的优化参数信息由接收机传输至发射机, 所述发射机根据接收的时域混合调制帧的优化参数信息构造时域混合调制帧, 进行数据传输;

15

当所述发射机上设置有优化模块时, 接收机将接收机的位置信息和接收机的方位信息发送至发射机, 所述优化模块计算获得时域混合调制帧的优化参数信息, 所述发射机根据接收的时域混合调制帧的优化参数信息构造时域混合调制帧, 所述发射机将时域混合调制帧及其优化参数信息发送至接收机, 所述接收机根据所接收到的时域混合调制帧的优化参数信息对时域混合调制帧进行解调。

20

25        另外, 在上面所提出的方法中, 若终端位置和朝向均保持不变, 则所传输的混合信号格式和比例  $D_{opt}$  保持不变。只有当终端的位置或朝向任何一种发生

变化时，才需要根据新的移动状态信息重新进行传输信号的选择与优化。

对于终端移动模式固定的情形，即接收机周期性地重复同一种移动轨迹或转动方向，此时，根据终端移动模式（如初始位置、速度、方向等）对各个时刻的位置坐标与方位角进行预测，然后根据步骤一至步骤六，将各个移动状态下所需采用的最优时域混合调制格式，以及帧结构信息存入表格中。当接收机进行周期性移动时，通过周期性地查阅表格，可以得到各个时刻的最优时域混合调制参数，实现周期性移动传输容量的最大化。

为了评估所提出的用于移动无线光通信系统的容量优化方法，本实施例考虑一个具体的室内空间场景，其尺寸为  $8\text{ m} \times 8\text{ m} \times 3\text{ m}$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 高）。光源部署于天花板上，移动终端位于接收平面上，接收平面的高度为  $0.85\text{ m}$ 。如图 3 所示。在图 3 中，本实施例还定义了本专利中用来表示接收机朝向的方位角  $\alpha$  和极角  $\beta$ 。

在下面的图中，从图 4 到图 8，本实施例将考虑一个 LED 发射机光源，安装于坐标  $(4, 4, 3)$  处，向下照射，其发射光功率为  $18\text{ W}$ ，同时，本实施例假设接收器朝向朝上，接收到信号分量主要来自于视距链路；

而对于图 9，本实施例将考虑总共有四个 LED 光源，分别安装于坐标  $(3, 3, 3)$ 、 $(3, 5, 3)$ 、 $(5, 3, 3)$ 、 $(5, 5, 3)$  处，每个 LED 光源的发射光功率为  $4.5\text{ W}$ ，同时，考虑接收器倾斜的情况，即接收机朝向发生变化，接收到信号分量既包括视距链路分量，也包括非视距链路分量。

以图 3 所示的接收平面中的虚线对角线上各位置为例，进行分析。在图 4 中，在采用所提出优化方案前后，将对角线上不同位置的传输容量进行对比，这里考虑了不同的脉冲速率  $R_s$ ，并将业务误比特率门限值  $\text{BER}_t$  设置为  $4.6 \times 10^{-3}$ ，也就是说，当误比特率不高于  $4.6 \times 10^{-3}$ ，则认为在 FEC 前向纠错码的帮助下可实现无差错传输。如图 4 所示，对于传统的单载波方案，由于采用了离散调制格式，当终端从中心位置移动到角落位置时，系统容量将急剧下降。然而，在采用所提出的容量优化方案后，容量曲线呈现连续性的变化。因此，所提出的方法助于有效补偿传统离散调制格式引起的数据速率降低，尤其是在调制格式

进行改变的位置附近。

基于图 4, 当  $R_s$  为 50 MHz 时, 图 5 给出了在对角线上不同位置下, 采用所提出的优化方案所需的两种混合调制格式, 以及所对应的  $D_{opt}$ , 可以看出, 对角线范围被划分为 9 个区域, 每个区域都有各自采用的时域混合调制格式。例如, 最角落位置是采用 PPM8+PPM4 的组合, 而最中间位置是采用 PAM8+PAM16 的组合, 其他位置所采用的混合调制格式均列于图中。蓝色的曲线是在各个位置下, 所采用的两种混合调制格式中频谱效率较大的那一种格式的最优占比  $D_{opt}$ , 可以看出由于接收机位置的不断变化,  $D_{opt}$  也需要不断进行优化与调整, 从而实现最优的频谱效率。

基于图 5, 图 6 比较了对角线不同位置下的系统误比特率性能。为了获得更高的信噪比, 所提出的优化方案的系统误比特率始终紧贴  $BER_r = 4.6 \times 10^{-3}$ , 但又不超过该值, 因此可以在确保获得可靠移动传输质量的同时, 尽可能多地提升系统的传输效率。(解释: 在采用 FEC 后, 误比特率很低从一定程度上意味着频谱资源的浪费, 因为其实并不需要非常低, 只要不高于  $BER_r$  即可)

当  $R_s$  为 50 MHz 时, 在图 7 中, 本实施例比较了采用所提出的优化方案前后, 在接收平面内的系统传输容量。可以看出, 采用所提出的优化方法可以在整个接收平面的各个位置有效提高系统容量, 例如, 当接收机位于 (4, 4, 0.85) 时, 最大数据速率可从 150Mbps (仅采用 PAM8) 增加到 197 Mbps (采用混合的 PAM8+PAM16)。

对于不同的  $R_s$ , 图 8 展示了在接收平面内采用所提出的优化方法可获得的传输容量提升, 本实施例经过统计, 给出了数据速率提升幅度的互补累积分布函数 (CCDF)。根据统计结果, 当  $R_s$  为 100 MHz 时, 在整个接收平面内总共有 19.8% 的室内区域可获得 20% 以上的容量提升幅度。

考虑到移动终端向着不同的朝向转动, 图 9 比较了在坐标为 (4, 4, 0.85) 的位置处, 接收机朝向的方位角和极角在一定范围内变化的情况, 图中的实线给出了在各个朝向下可获得的最大数据速率。可以看出, 当接收机倾斜时, 采用所提出的优化方法仍然可以使移动无线光通信的系统容量得到有效改善。

以上所述实施例仅是为充分说明本发明而所举的较佳的实施例，本发明的保护范围不限于此。本技术领域的技术人员在本发明基础上所作的等同替代或变换，均在本发明的保护范围之内。本发明的保护范围以权利要求书为准。

## 权 利 要 求 书

1. 一种移动无线光通信系统的容量优化方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

S1、获取发射机位置信息、接收机的位置信息和接收机的方位信息, 建立移动信道冲激响应模型;

5 S2、基于所述移动信道冲激响应模型计算接收机输出的电信噪比;

S3、根据接收机输出的电信噪比, 计算不同的候选调制格式下无线光通信系统的误比特率值, 获得多组误比特率值;

S4、从不同的候选调制格式中选取第一调制格式和第二调制格式, 其中, 所述第一调制格式对应的误比特率值大于预设的误比特率阈值, 所述第二调制格式对应的误比特率值小于预设误比特率阈值;

S5、确定每个数据帧中第一调制格式和第二调制格式的码元数量, 使得第一调制格式和第二调制格式的平均混合误比特率小于预设误比特率阈值, 其中, 第一调制格式和第二调制格式的码元数量使得对应的无线光通信系统的传输容量最大;

15 S6、根据所述第一调制格式和第二调制格式的码元数量构造时域混合调制帧, 通过所述时域混合调制帧调制数据并进行数据传输。

2. 如权利要求 1 所述的移动无线光通信系统的容量优化方法, 其特征在于, 所述 S3 还包括, 对获得的多组误比特率值递减排序, 获得排序后的多组误比特率值;

20 所述 S4 中, 所述第一调制格式和第二调制格式对应的误比特率值为所述排序后的多组误比特率值中相邻的数值。

3. 如权利要求 1 所述的移动无线光通信系统的容量优化方法, 其特征在于,

所述 S6 包括:

比较第一调制格式的码元数量  $N_k$  和第二调制格式的码元数量  $N_{k+1}$  大小,

若  $N_k \geq N_{k+1}$ , 则令  $I = \text{floor}(N_k / N_{k+1})$ , 且在构造时域混合调制数据帧结构的过程中, 每传输  $I$  个第一调制格式符号, 就传输 1 个第二调制格式符号, 两种调制格式的符号交替传输, 直至码元全部发送完毕, 则一帧发送完毕,

若  $N_k < N_{k+1}$ , 则令  $I = \text{ceil}(N_{k+1} / N_k)$ , 则在构造时域混合调制数据帧结构的过程中, 每传输  $I$  个第二调制格式符号, 就必须传输 1 个第一调制格式符号, 两种调制格式的符号交替传输, 直至码元全部发送完毕, 则一帧发送完毕。

4. 如权利要求 1 所述的移动无线光通信系统的容量优化方法, 其特征在于, 所述 S1 具体包括:

根据  $\mathbf{T}$ 、 $\mathbf{R}$ 、 $\mathbf{O}$  终端移动状态, 获得移动信道冲激响应:

$$h(t, \mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{O}) = \sum_{i=1}^{N_{LED}} w_i \left[ H_{i,los}(0; \mathbf{T}_i, \mathbf{R}, \mathbf{O}) \cdot \delta(t - \tau_{i,los}) + \int_{\tau_{i,nlos}=0}^{+\infty} A_{i,nlos}(\tau_{i,nlos}; \mathbf{T}_i, \mathbf{R}, \mathbf{O}) \cdot \delta(t - d\tau_{i,nlos}) \right],$$

其中, 发射机坐标  $\mathbf{T}_i$  为  $(x_{ti}, y_{ti}, z_{ti})$ ,  $i$  表示第  $i$  个 LED 光源, 接收机坐标  $\mathbf{R}$  为  $(x_r, y_r, z_r)$ , 接收机方位  $\mathbf{O}$  为  $(\alpha, \beta)$ ,  $\alpha$  为接收机朝向的方位角,  $\beta$  为接收机朝向的极角;  $N_{LED}$  是 LED 光源的数量; 对于第  $i$  个 LED 光源,  $w_i$  是光源发射功率的加权系数,  $\tau_{i,los}$  和  $\tau_{i,nlos}$  分别为视距和非视距链路的信号传播时延,  $H_{i,los}(0)$  为视距链路的归一化直流增益,  $A_{i,nlos}$  为非视距链路的归一化信道增益。

5. 如权利要求 4 所述的移动无线光通信系统的容量优化方法, 其特征在于, 所述 S2 具体包括:

$$\begin{aligned} SNR(\mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s) &= \frac{P_{r,sig}(\mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s)}{P_{r,isi}(\mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s) + N(\mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s)} \\ &= \frac{\left[ \gamma \int_{t_0}^{t_0+1/R_s} P_{tms}(t) \otimes h(t; \mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{O}) dt \right]^2}{\left[ \gamma \int_{t_0+1/R_s}^{+\infty} P_{tms}(t) \otimes h(t; \mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{O}) dt \right]^2 + \left[ \sigma_{shot}^2(\mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{O}; R_s) + \sigma_{thermal}^2(R_s) \right]} \end{aligned}$$

其中,  $P_{r,sig}$  为接收信号的功率,  $P_{r,isi}$  代表码间干扰,  $N$  由散粒噪声方差  $\sigma_{shot}^2$

和热噪声方差 $\sigma_{\text{thermal}}^2$ 组成,  $\gamma$ 为光电探测器的光电转换效率,  $t_0$ 为积分后的脉冲起始时间,  $R_s$ 为脉冲速率,  $P_t$ 为每个光源的平均发射功率,  $m$ 为发射信号的调制指数,  $s(t)$ 为归一化矩形脉冲,  $\otimes$ 代表卷积运算;

其中, 散粒噪声进一步表示为:

$$5 \quad \sigma_{\text{shot}}^2(T, R, O; R_s) = 2q \left[ \gamma \int_{t_0}^{+\infty} P_t s(t) \otimes h(t; T, R, O) dt + I_{bg} I_2 \right] R_s, \quad ,$$

其中,  $q$ 是电子电荷数,  $I_{bg}$ 是背景电流,  $I_2$ 是噪声带宽因子;

热噪声表示为:

$$\sigma_{\text{thermal}}^2(R_s) = 8\pi k T_k \mu A R_s^2 \left( \frac{I_2}{G} + \frac{2\pi \Gamma \mu A I_3 R_s}{g_m} \right), \quad ,$$

其中,  $k$ 是玻尔兹曼常数,  $T_k$ 是绝对温度,  $\mu$ 是固定电容,  $A$ 是光电检测器  
10 面积,  $g_m$ 是场效应晶体管的跨导,  $\Gamma$ 是FET的信道噪声因子,  $G$ 是开环电压增益,  $I_3 = 0.0868$ 。

6. 如权利要求5所述的移动无线光通信系统的容量优化方法, 其特征在于, 所述S3具体包括以下步骤:

计算得到无线光通信系统的误比特率为:

$$15 \quad BER(T, R, O) = \begin{cases} \frac{1}{2} \text{erfc} \left( \frac{\sqrt{SNR(T, R, O) \cdot \log_2 L}}{2\sqrt{2}(L-1)} \right) & \text{对于 PAM} \\ \frac{1}{2} \text{erfc} \left( \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{SNR(T, R, O) \cdot L \cdot \log_2 L}{2}} \right) & \text{对于 PPM} \end{cases}$$

此处, 采用不同调制阶数的L-PAM和L-PPM作为候选的调制格式, PAM为脉冲幅值调制, PPM为脉冲位置调制,  $L$ 为信号调制阶数;

计算得到每种不同的候选的调制格式所对应的误比特率, 并将所有的误比特率值从高到低排列, 得到 $BER_1(T, R, O)$ 、 $BER_2(T, R, O)$ 、.....、 $BER_K(T, R, O)$ , 它们所对应的调制格式可分别表示为格式1、格式2、.....、格式K。  
20

7. 如权利要求6所述的移动无线光通信系统的容量优化方法, 其特征在于,

所述 S4 具体包括：

当终端的移动状态为  $(T, R, O)$  时，设定误比特率阈值为  $BER_T$ ；

当满足  $BER_k(T, R, O) \geq BER_T > BER_{k+1}(T, R, O)$  时，选择格式  $k$  以及格式  $k+1$  来构造时域混合调制数据帧，其中， $1 \leq k < k+1 \leq K$ ，格式  $k$  记为第一调制  
5 格式，格式  $k+1$  记为第二调制格式。

8. 如权利要求 6 所述的移动无线光通信系统的容量优化方法，其特征在于，所述 S5 包括以下步骤：

S51、所述时域混合调制数据帧的平均混合误比特率为：

$$BER_{Hybrid}(T, R, O) = \frac{D \cdot SE_k(T, R, O) \cdot BER_k(T, R, O) + (1-D) \cdot SE_{k+1}(T, R, O) \cdot BER_{k+1}(T, R, O)}{D \cdot SE_k(T, R, O) + (1-D) \cdot SE_{k+1}(T, R, O)} \leq BER_T,$$

10 其中， $D$  表示上述格式  $k$  的所占比重， $D$  的范围为  $0 \leq D \leq 1$ ， $SE_k$  和  $SE_{k+1}$  分别表示调制格式  $k$  和调制格式  $k+1$  的频谱效率；

S52、获得  $D$  的最优值，记为  $D_{opt}$ ，使无线光通信系统的动态传输容量最大，具体包括：将从  $D=1$  开始，增量为  $\Delta D < 0$ ，通过逐渐减小  $D$ ，一旦当  $D$  的值无法满足平均混合误比特率小于预设误比特率阈值  $BER_T$  时，则将当前  $D$  的值  
15 减去  $\Delta D$ ，并将相减后的结果作为在  $(T, R, O)$  移动状态下的  $D_{opt}$ ；

S53、对于调制格式  $k$ ，每一帧中所需的码元数量为  $N_k = \text{floor}(N_{total} \times D_{opt})$ ，对于调制格式  $k+1$ ，每一帧中所需的码元数量为  $N_{k+1} = \text{ceil}(N_{total} \times (1-D_{opt}))$ ，

其中， $\text{floor}()$  表示向下取整， $\text{ceil}()$  表示向上取整， $N_{total}$  为每一个时域混合调制数据帧中的码元总数。

20 9. 一种移动无线光通信系统的通信方法，基于权利要求 1-8 任一项所述的移动无线光通信系统的容量优化方法优化，其特征在于，包括以下步骤：

针对不同的业务类型的预设误比特率阈值和不同的脉冲速率级别，获取不同的时域混合调制帧；

将不同预设误比特率阈值和脉冲速率级别对应的时域混合调制帧存储至数据库；

获取当前的预设误比特率阈值和脉冲速率级别，调用数据库中对应的时域混合调制帧并进行无线光通信。

- 5        10. 一种移动无线光通信系统，其特征在于，包括发射机和接收机，所述发射机或接收机上设置有优化模块，所述优化模块运行权利要求 1-8 任一项所述的移动无线光通信系统的容量优化方法；

10        当所述接收机上设置有优化模块时，所述优化模块计算获得时域混合调制帧的优化参数信息，所述时域混合调制帧的优化参数信息由接收机传输至发射机，所述发射机根据接收的时域混合调制帧的优化参数信息构造时域混合调制帧，进行数据传输；

15        当所述发射机上设置有优化模块时，接收机将接收机的位置信息和接收机的方位信息发送至发射机，所述优化模块计算获得时域混合调制帧的优化参数信息，所述发射机根据接收的时域混合调制帧的优化参数信息构造时域混合调制帧，所述发射机将时域混合调制帧及其优化参数信息发送至接收机，所述接收机根据所接收到的时域混合调制帧的优化参数信息对时域混合调制帧进行解调。

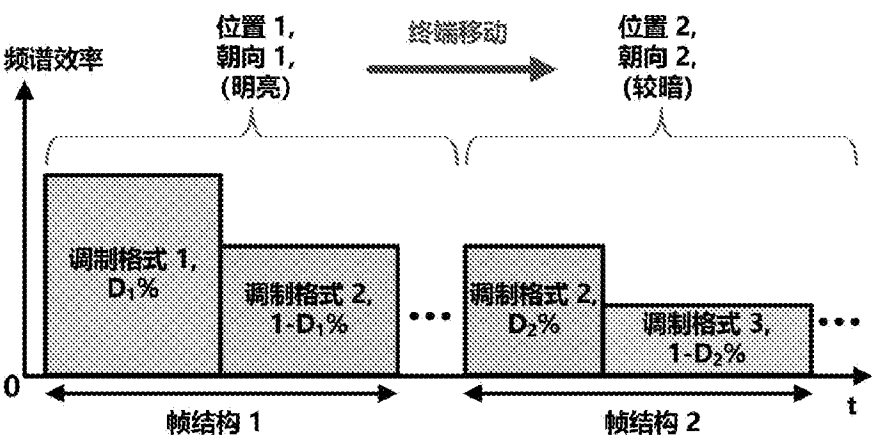


图 1

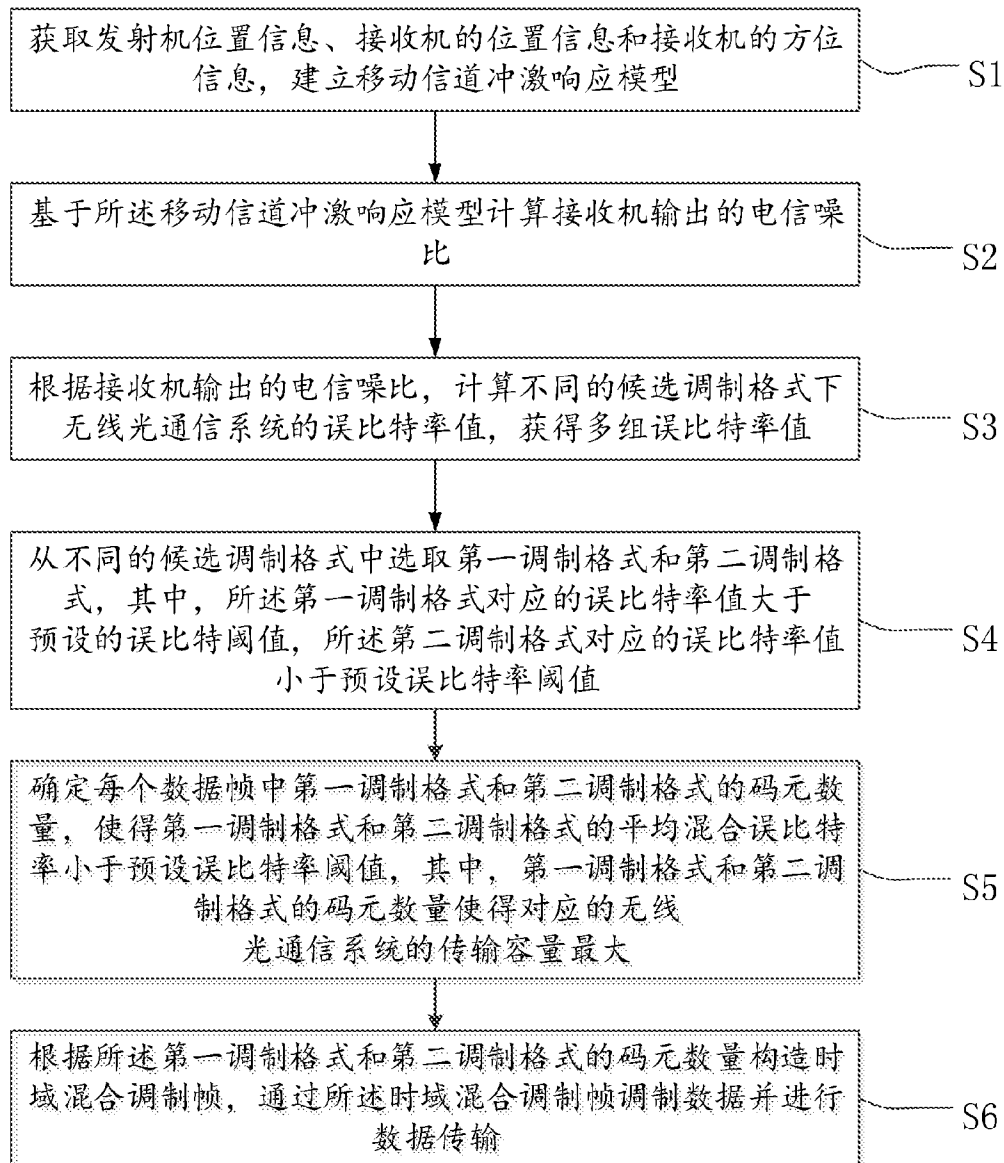


图 2

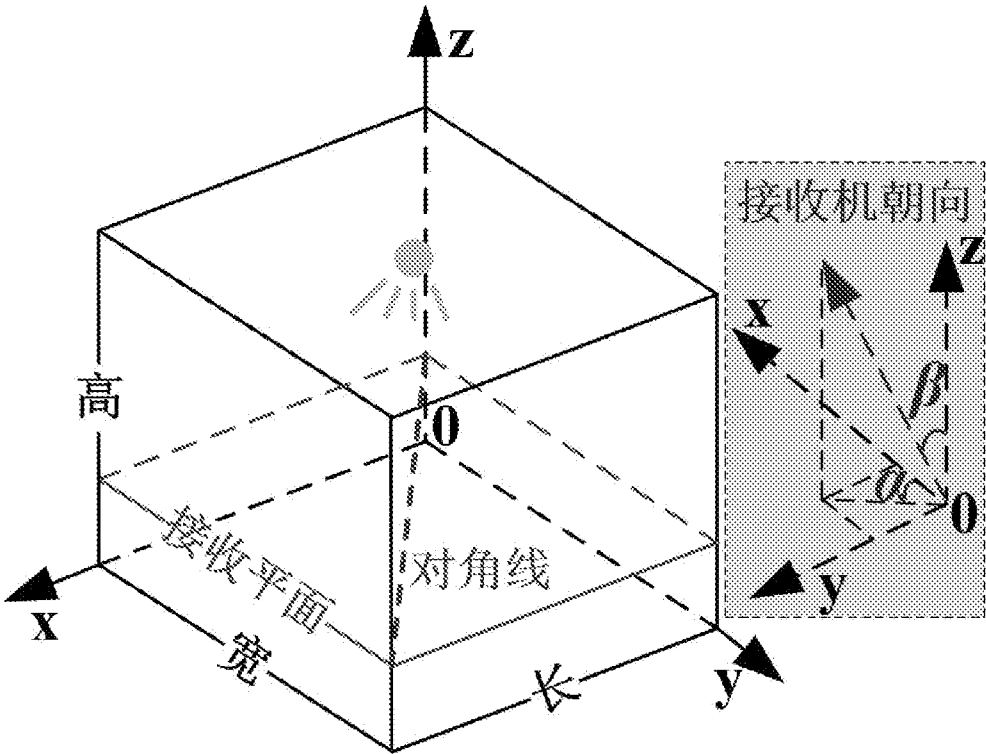


图 3

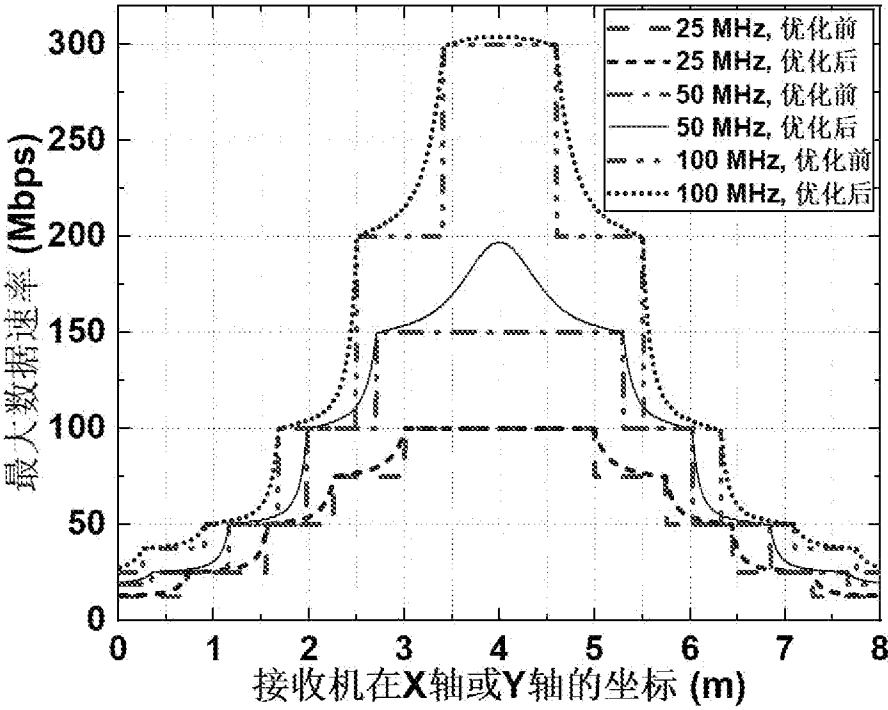


图 4

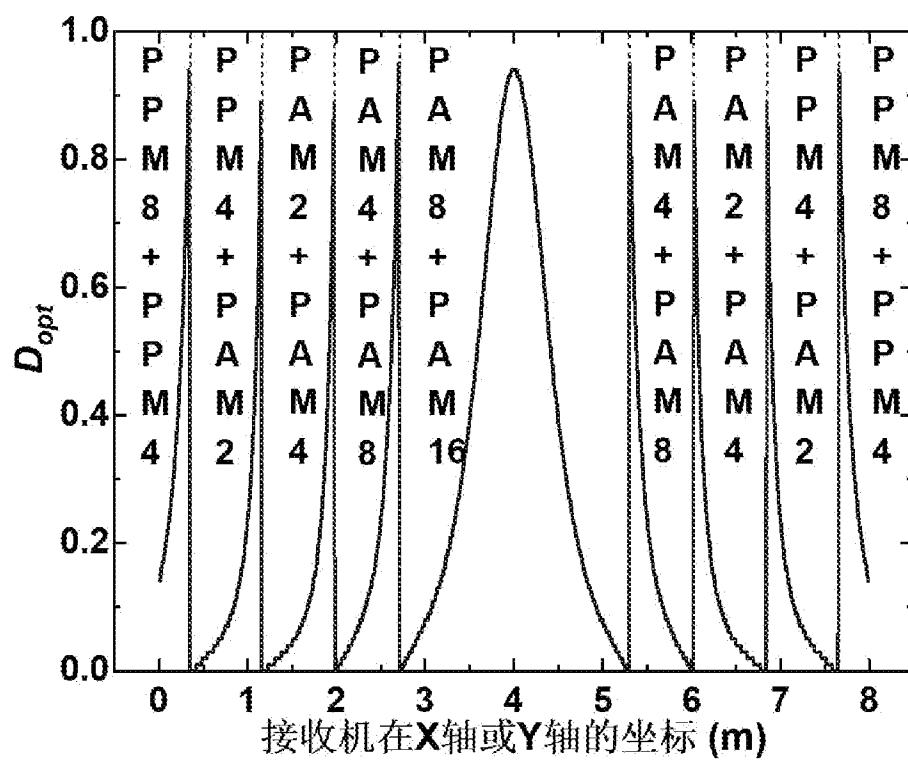


图 5

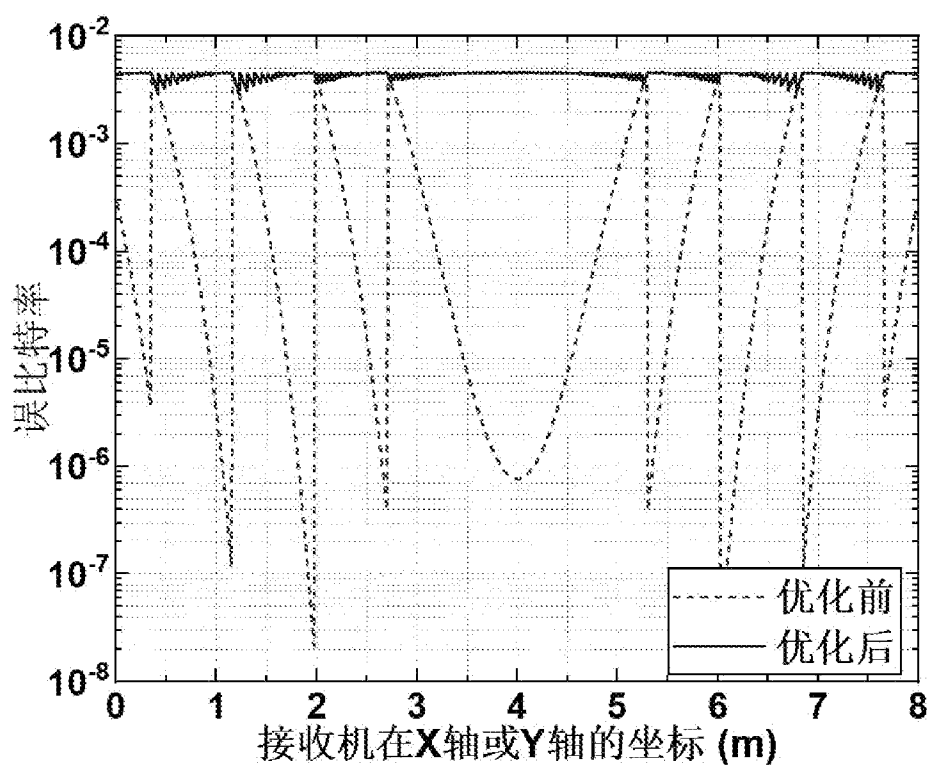


图 6

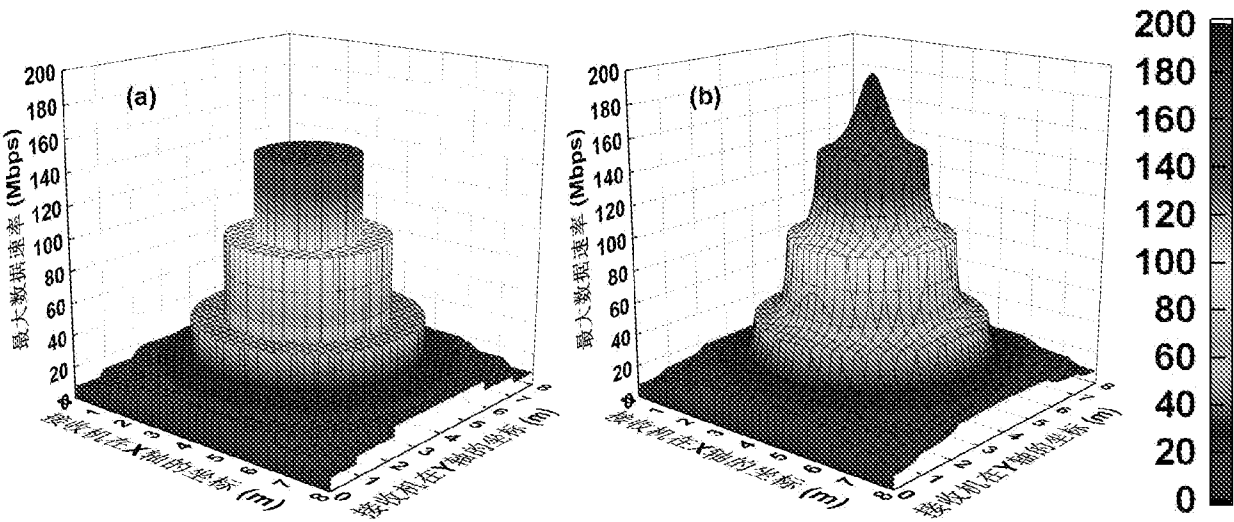


图 7

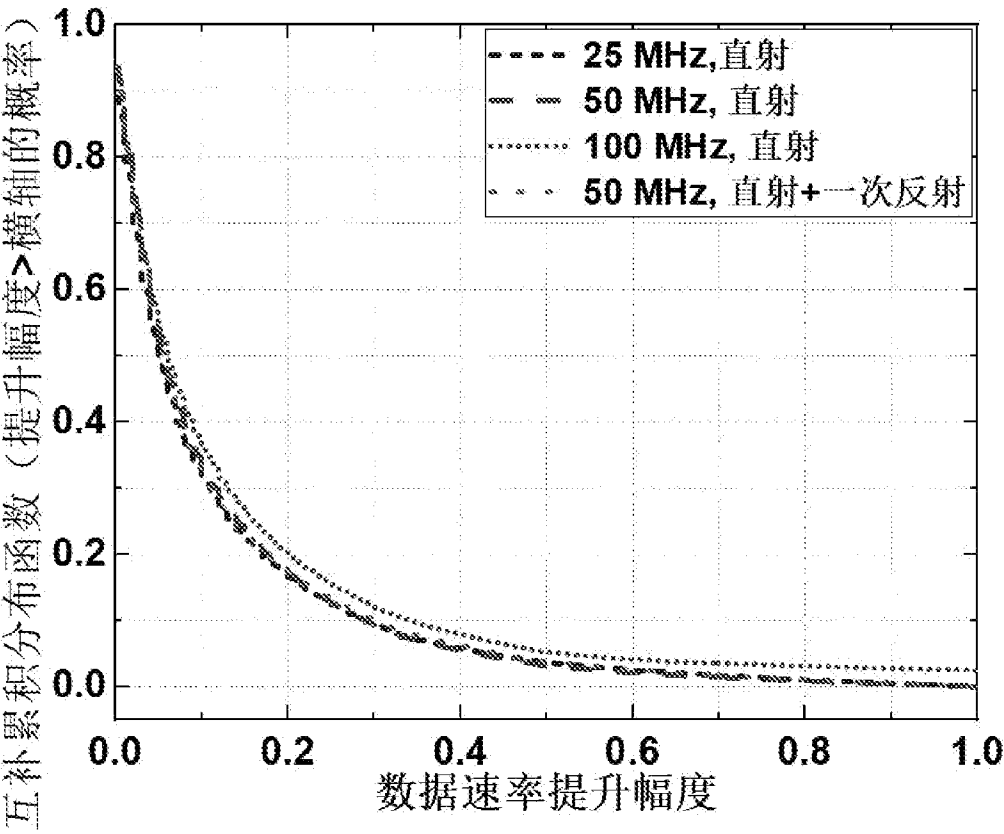


图 8

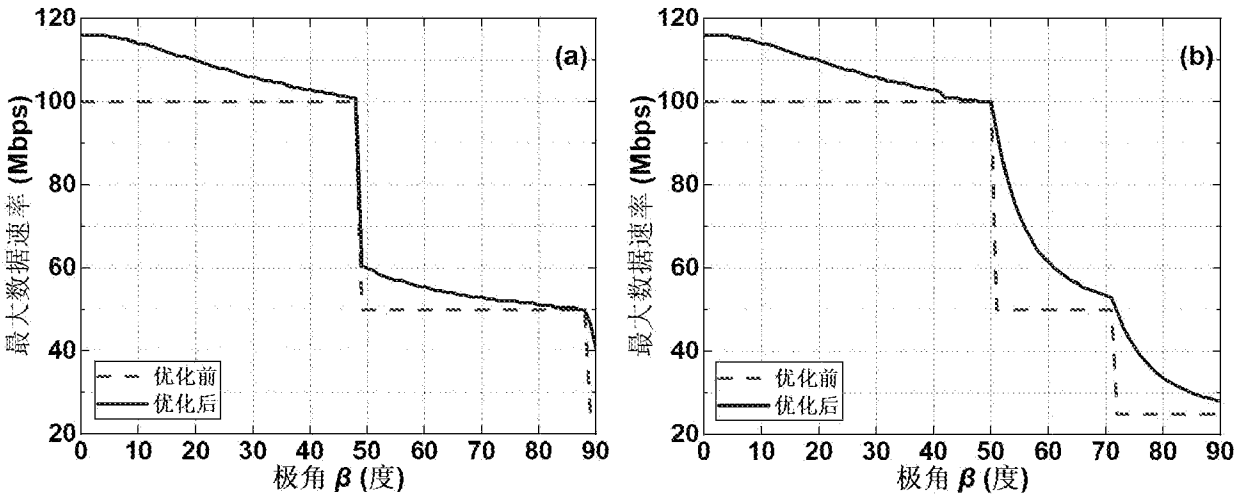


图 9

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/113662

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H04W 24/02(2009.01)i; H04B 10/516(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)

H04W; H04B

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)

CNABS; CNTXT; VEN; USTXT; EPTXT; WOTXT; IEEE; CNKI: VLC, 可见光通信, 冲激响应, 移动, 位置, 模型, 建模, 室内, 时分, 信噪比, 误比特率, 误码率, 阈值, 码元, 单载波, visible light communication, SNR, OFDM, BER, indoor, PAM, single-carrier, TDHM, time domain hybrid modulation

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                              | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | YOU, Xiaodi et al. "Efficient Dimming Control with Time Domain Hybrid Modulation in Indoor Hybrid Visible Light/Infrared Communication Systems"<br><i>2019 24th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2019 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC)</i> , 07 July 2019 (2019-07-07), section 2 | 1-10                  |
| A         | CN 105245275 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 13 January 2016 (2016-01-13)<br>entire document                                                                                                                                                                                                                                                           | 1-10                  |
| A         | CN 107332615 A (LANZHOU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 07 November 2017 (2017-11-07)<br>entire document                                                                                                                                                                                                                                              | 1-10                  |
| A         | US 2018302157 A1 (FUTUREWEI TECHNOLOGIES, INC.) 18 October 2018 (2018-10-18)<br>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

20 April 2021

Date of mailing of the international search report

11 May 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**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2020/113662**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |            |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 105245275  | A  | 13 January 2016                      | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 107332615  | A  | 07 November 2017                     | CN                      | 107332615  | B  | 10 September 2019                    |
| US                                        | 2018302157 | A1 | 18 October 2018                      | EP                      | 3602842    | A4 | 08 April 2020                        |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 10128941   | B2 | 13 November 2018                     |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2018188631 | A1 | 18 October 2018                      |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 3602842    | A1 | 05 February 2020                     |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/113662

| <b>A. 主题的分类</b><br>H04W 24/02 (2009.01) i; H04B 10/516 (2013.01) i<br><br>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>B. 检索领域</b><br>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)<br>H04W; H04B<br><br>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献<br><br>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))<br>CNABS; CNTXT; VEN; USTXT; EPTXT; WOTXT; IEEE; CNKI: VLC, 可见光通信, 冲激响应, 移动, 位置, 模型, 建模, 室内, 时分, 信噪比, 误比特率, 误码率, 阈值, 码元, 单载波, visible light communication, SNR, OFDM, BER, indoor, PAM, single-carrier, TDHM, time domain hybrid modulation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                  |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| <b>C. 相关文件</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>YOU, Xiaodi 等. "Efficient Dimming Control with Time Domain Hybrid Modulation in Indoor Hybrid Visible Light/Infrared Communication Systems" 2019 24th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2019 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC), 2019年 7月 7日 (2019 - 07 - 07), 第2节</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105245275 A (东南大学) 2016年 1月 13日 (2016 - 01 - 13) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107332615 A (兰州理工大学) 2017年 11月 7日 (2017 - 11 - 07) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2018302157 A1 (FUTUREWEI TECHNOLOGIES INC) 2018年 10月 18日 (2018 - 10 - 18) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                  | 类 型*                                                                                                                                                                                                       | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                                                                                                                   | 相关的权利要求 | A | YOU, Xiaodi 等. "Efficient Dimming Control with Time Domain Hybrid Modulation in Indoor Hybrid Visible Light/Infrared Communication Systems" 2019 24th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2019 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC), 2019年 7月 7日 (2019 - 07 - 07), 第2节 | 1-10 | A | CN 105245275 A (东南大学) 2016年 1月 13日 (2016 - 01 - 13) 全文 | 1-10 | A | CN 107332615 A (兰州理工大学) 2017年 11月 7日 (2017 - 11 - 07) 全文 | 1-10 | A | US 2018302157 A1 (FUTUREWEI TECHNOLOGIES INC) 2018年 10月 18日 (2018 - 10 - 18) 全文 | 1-10 |
| 类 型*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 相关的权利要求                          |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | YOU, Xiaodi 等. "Efficient Dimming Control with Time Domain Hybrid Modulation in Indoor Hybrid Visible Light/Infrared Communication Systems" 2019 24th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2019 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC), 2019年 7月 7日 (2019 - 07 - 07), 第2节 | 1-10                             |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | CN 105245275 A (东南大学) 2016年 1月 13日 (2016 - 01 - 13) 全文                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1-10                             |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | CN 107332615 A (兰州理工大学) 2017年 11月 7日 (2017 - 11 - 07) 全文                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1-10                             |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | US 2018302157 A1 (FUTUREWEI TECHNOLOGIES INC) 2018年 10月 18日 (2018 - 10 - 18) 全文                                                                                                                                                                                                                                               | 1-10                             |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| <input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                  |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| <table border="0"> <tr> <td>           * 引用文件的具体类型:<br/>           "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br/>           "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br/>           "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)<br/>           "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br/>           "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         </td> <td>           "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<br/>           "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<br/>           "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<br/>           "&amp;" 同族专利的文件         </td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                  | * 引用文件的具体类型:<br>"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>"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)<br>"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>"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<br>"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<br>"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<br>"&" 同族专利的文件 |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| * 引用文件的具体类型:<br>"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>"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)<br>"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>"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<br>"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<br>"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<br>"&" 同族专利的文件                                                                                                                                           |                                  |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| 国际检索实际完成的日期                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 国际检索报告邮寄日期                       |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| 2021年 4月 20日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2021年 5月 11日                     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| ISA/CN的名称和邮寄地址                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 受权官员                             |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |
| 中国国家知识产权局 (ISA/CN)<br>中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088<br>传真号 (86-10)62019451                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 吴倍骏<br><br>电话号码 (86-512)88995985 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |                                                        |      |   |                                                          |      |   |                                                                                 |      |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/113662

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 | 公布日<br>(年/月/日)              |
|-------------|------------|----|----------------|------|-----------------------------|
| CN          | 105245275  | A  | 2016年 1月 13日   | 无    |                             |
| CN          | 107332615  | A  | 2017年 11月 7日   | CN   | 107332615 B 2019年 9月 10日    |
| US          | 2018302157 | A1 | 2018年 10月 18日  | EP   | 3602842 A4 2020年 4月 8日      |
|             |            |    |                | US   | 10128941 B2 2018年 11月 13日   |
|             |            |    |                | WO   | 2018188631 A1 2018年 10月 18日 |
|             |            |    |                | EP   | 3602842 A1 2020年 2月 5日      |