

SZDB

深圳市标准化指导性技术文件

SZDB/Z 297—2018

室内 LED 光信息传输系统通用技术要求

General Technical Requirements for

Indoor LED Optical Information Transmission System

2018-04-04 发布

2018-05-01 实施

深圳市市场监督管理局 发布

目 次

| | |
|-----------------------------------|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 缩略语 | 4 |
| 5 系统构成 | 5 |
| 5.1 网络结构与组成 | 5 |
| 5.2 设备实体 | 6 |
| 5.3 接口 | 6 |
| 6 设备性能要求 | 7 |
| 6.1 通信速率 | 7 |
| 6.2 灯端光通信性能 | 7 |
| 6.3 通信终端光通信性能 | 7 |
| 6.4 可靠性 | 8 |
| 6.5 音频性能（频率范围 300Hz-3.4kHz） | 8 |
| 7 安全性要求 | 8 |
| 7.1 网络侧接口 | 8 |
| 7.2 光侧接口 | 8 |
| 7.3 设备安全性 | 8 |
| 7.4 电磁兼容性 | 8 |
| 8 标志、标签、使用说明书 | 8 |
| 8.1 标志 | 8 |
| 8.2 标签 | 9 |
| 8.3 使用说明书 | 9 |
| 9 接口协议 | 9 |
| 9.1 调制方式 | 9 |
| 9.2 数据帧结构 | 9 |
| 9.3 比特编码和电平要求 | 9 |
| 9.4 应用层协议 | 10 |
| 10 信道编码 | 24 |
| 11 音频编码 | 24 |
| 附录 A（资料性附录） CELP 语音编码简介 | 25 |

前 言

本文件依据GB/T 1.1-2009规则编制。

请注意本文件的某些内容有可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由清华大学深圳研究生院等单位提出。

本文件由深圳市市场监督管理局归口。

本文件主要起草单位：清华大学深圳研究生院、深圳市先通网信息科技有限公司、深圳市维爱希电子科技有限公司、深圳市芯通信息科技有限公司、深圳市九洲光电科技有限公司。

本文件主要起草人：权进国、张颢、金爽、王昭诚、张潇男、刘彬、刘伟、谢拥军。

室内 LED 光信息传输系统通用技术要求

1 范围

本文件规定了室内LED光信息传输系统中的系统构成、设备性能要求、接口协议、编码方式以及安全性要求等。

本文件适用于室内环境下，由LED发射的可见光（频谱波段380nm-780nm）和红外光（频谱波段790nm-1mm）作为信息载体的短距离通信技术，不适用于室外具有太阳光背景噪声环境下的LED光通信技术。

本文件适用于深圳生产、销售的室内LED光信息传输技术相关产品。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 5296.1 消费品使用说明 总则

GB 7000.1 灯具第1部分 一般要求与试验

GB 9254 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法

GB/T14436 工业产品保证文件 总则

GB 17625.1 电磁兼容限值谐波电流发射限值（设备每相输入电流 $\leq 16A$ ）

GB/T 17743 电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法

GB/T 20145 灯和灯系统的光生物安全性

GB 24819 普通照明用LED模块安全要求

GB 50034 建筑照明设计标准

YD/T 993 电信终端设备防雷技术要求及实验方法

IrDA IrDA物理层规范（IrPHY），1.5版本（IrDA Physical Layer Specification（IrPHY），Version 1.5）

IEEE 802.3 IEEE以太网标准（IEEE Standard for Ethernet）

IETF RFC 2326 IETF实时流协议（IETF Standard for Real Time Streaming Protocol）

IETF RFC 7231 IETF超文本传输协议（IETF Standard for Hypertext Transfer Protocol）

IETF RFC 8216 IETF超文本传输协议直播流（IETF Standard for HTTP Live Streaming）

3 术语和定义

3.1

可见光 Visible Light

可见光是电磁波谱中人眼可以感知的部分，可见光谱没有精确的范围，本文件中特指波长为380~780nm之间的电磁波。

3.2

红外光 Infrared Light

红外光，又叫红外线，是波长比可见光波长更长的电磁波（光），本文件中特指波长为790nm~1mm之间的电磁波。

3.3

可见光通信 Visible Light Communication

可见光通信（Visible Light Communication, VLC）是指利用可见光波段的光作为信息载体，无需光纤等有线信道的传输介质，在空气中直接传输光信号的通信方式。

可见光通信属于宽带无线信息传输技术，它通过发光二极管（LED）发出的肉眼察觉不到变化，但能被光电探测器等器件捕获并检测的高速光调制信号来传输信息，在提供照明的同时可无线传输数据，实现绿色照明和通信的双重功能。

3.4

二进制启闭键控 On-Off Keying

二进制启闭键控（On-Off Keying, OOK）又名二进制振幅键控，它是以单极性不归零码序列来控制正弦载波的开启与关闭。

3.5

半功率角 Semi-Angle at Half Power

指LED发光强度值为轴向强度值一半的方向与发光轴向的夹角。

3.6

视场角 Field of View

视场角（Field of View, FoV）指光电探测器接收光信号的角度。

3.7

服务质量 Quality of Service

服务质量（Quality of Service, QoS）在分组交换网络领域中指网络满足给定业务合同的概率；或非正式地指分组在网络中两点间通过的概率。在电话业务领域中，服务质量是指线路噪音和声音，适当的音量水平等指标的衡量，并且不能与服务等级相混淆。QoS是一种控制机制，它提供了针对不同用户或者不同数据流采用相应不同的优先级，或者是根据应用程序的要求，保证数据流的性能达到一定的水准。

3.8

互联网协议第四版 Internet Protocol version 4

互联网协议第四版（Internet Protocol version 4, IPv4）是互联网协议（Internet Protocol, IP）的第四个版本，也是第一个被广泛使用，构成现今互联网技术基础的协议。IPv4可以运行在各种各样的底层网络上，比如端对端的串行数据链路、卫星链路等。

3.9

互联网协议第六版 Internet Protocol version 6

互联网协议第六版（Internet Protocol version 6, IPv6）是互联网协议的第六个版本。IPv6是国际互联网工程任务组设计的用于替代现行版本IP协议（IPv4）的下一代IP协议。

3.10

传输控制协议 Transmission Control Protocol

传输控制协议（Transmission Control Protocol, TCP）是一种面向连接的、可靠的、基于字节流的传输层通信协议。在简化的计算机网络开放系统互联（Open System Interface, OSI）模型中，它完成第四层传输层所指定的功能，用户数据报协议是同一层内另一个重要的传输协议。在因特网协议族中，TCP层是位于互联网协议（Internet Protocol, IP）层之上，应用层之下的中间层。

3.11

用户数据报协议 User Datagram Protocol

用户数据报协议（User Datagram Protocol, UDP）是一个简单的面向无连接的，不可靠的数据报的传输层协议。在TCP/IP模型中，UDP为网络层以上和应用层以下提供了一个简单的接口。

3.12

动态主机配置协议 Dynamic Host Configuration Protocol

动态主机配置协议（Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP）是一个局域网的网络协议，主要用于给内部网络或网络服务供应商自动分配IP地址以及实现中央管理。

3.13

反向归零调制 Return to Zero Inverted modulation

反向归零调制是传输映射的一种方法。如果二进制信号为0，则有两极电平的反向归零信号具有一个脉冲（小于一个时钟周期）；如果二进制信号为1，则信号不具有脉冲。

3.14

奇偶校验 Parity Check

一种校验代码传输正确性的方法。根据被传输的一组二进制代码的数位中“1”的个数是奇数或偶数来进行校验。

3.15

码激励线性预测 Code-Excited Linear Prediction

一种语音编码算法，是目前使用最广泛的语音编码算法。详见附录A。

3.16

线性预测 Linear Prediction

是进行语音信号分析最有效、最流行的分析技术之一。详见附录A。

3.17

汉明码 Hamming Code

一种线性纠错码，不仅可以验证数据是否有效，还能在数据出错的情况下指明错误位置。

3.18

信道编码 Channel Coding

由于通信存在干扰和衰落，在信号传输过程中将出现差错，故对数字信号必须采用纠、检错技术，即纠、检错编码技术，以增强数据在信道中传输时抵御各种干扰的能力，提高系统的可靠性。

3.19

语音编码 Speech Coding

语音编码是为了压缩数字语音信号的比特率（传输每秒钟语音信号的比特数，通常也称为数码率），使得同样的信道容量能传输更多路的语音信号，或者说，存储数字语音信号只需要较小的容量，这一类编码称为语音编码。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

| | |
|--------------|---|
| CELP: | 码激励线性预测编码（Code Excited Linear Prediction） |
| CRC: | 循环冗余码校验（Cyclic Redundancy Check） |
| CRC-CCITT 码: | 国际电报电话咨询委员会循环冗余码校验（Cyclic Redundancy Check-CCITT） |
| DHCP: | 动态主机配置协议（Dynamic Host Configuration Protocol） |
| DOS: | 磁盘操作系统（Disk Operating System） |
| FoV: | 视场角（Field of View） |
| HLS: | Apple 的动态码率自适应技术（HTTP Live Streaming） |
| HTTP: | 超文本传输协议（Hyper Text Transport Protocol） |

| | |
|-------|---|
| id: | 唯一识别码 (Identification) |
| IP: | 互联网协议 (Internet Protocol) |
| LAN: | 局域网 (Local Area Network) |
| LED: | 发光二极管 (Light-Emitting Diode) |
| OOK: | 二进制启闭键控 (On-Off Keying) |
| OSI: | 开放式系统互联 (Open System Interconnection) |
| PHY: | 物理层 (Physical Layer) |
| PTT: | 一键通 (Push to Talk) |
| QoS: | 服务质量 (Quality of Service) |
| RTP: | 实时传输协议 (Real Time Protocol) |
| RTSP: | 实时流传输协议 (Real Time Streaming Protocol) |
| SAHP: | 半功率角 (Semi-Angle at Half Power) |
| TCP: | 传输控制协议 (Transmission Control Protocol) |
| TTL: | 晶体管-晶体管逻辑电平 (Transistor Transistor Logic) |
| UDP: | 用户数据报协议 (User Datagram Protocol) |
| VLC: | 可见光通信 (Visible Light Communication) |

5 系统构成

5.1 网络结构与组成

室内LED光信息传输系统网络结构如图1所示。系统由具备通信能力的LED灯具（以下简称灯端）、通信终端（详细定义见5.2节）、网络设备（可选）以及管理服务器（可选）构成。

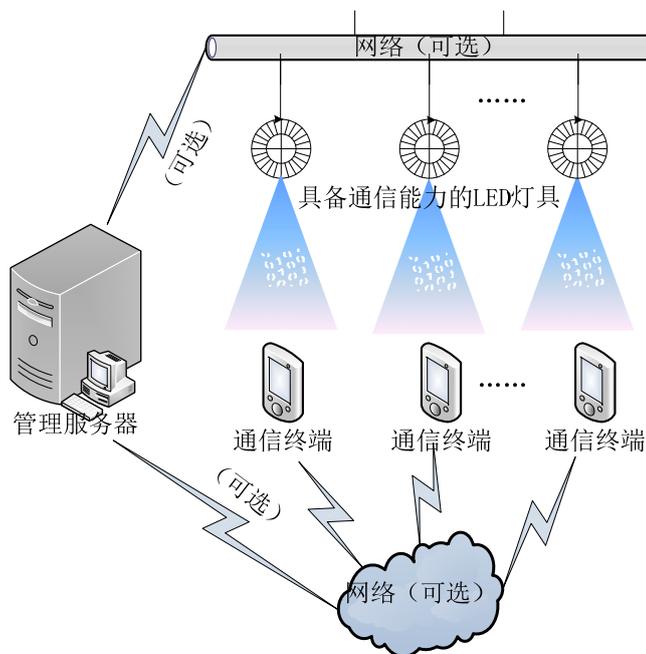


图1 室内LED光信息传输系统网络组成

通信终端与灯端之间通过可见光通信链路连接,管理服务器负责对网络中灯端以及系统内的通信终端实施统一管理。

5.2 设备实体

5.2.1 灯端

5.2.1.1 灯端划分成双向型和单向型两种。

5.2.1.2 双向型灯端是通信终端和网络的接口单元,负责数据转发和控制。

5.2.1.3 单向型灯端仅负责发送光信息数据。

5.2.1.4 灯端的 LED 灯具应满足如下的硬件要求:

- a) 应为照明场所正常使用的照明灯具,在满足通信要求的同时,灯具的功率、照度、色温、显色指数等照明指标应符合 GB50034。在非民用领域或特殊地域应用时,灯具应符合相应领域、地域的法律法规要求。
- b) 灯端的 LED 灯具不应有明显的频闪,其频闪效应用光输出波形的波动深度进行评价,具体要求如表 1。

表1 灯端的 LED 灯具频闪要求

| 光输出波形频率f (Hz) | 波动深度A (%) |
|-------------------|------------------------------|
| $f \leq 9$ | $A \leq 0.288$ |
| $9 < f \leq 3125$ | $A \leq f \times 0.08 / 2.5$ |
| $f > 3125$ | 无限制 |

- c) 灯端的 LED 灯具应符合 GB7000.1 的安规要求。
- d) 灯端的 LED 灯具电磁兼容性应符合 GB/T17743、GB 17625.1 的要求。
- e) 灯端的 LED 灯具应符合 GB/T 20145 的光生物安全要求,不得对人体造成危害。

5.2.2 通信终端

通信终端划分成双向型和单向型两种,应满足如下要求:

- 通信终端由用户操控,是室内可见光通信系统的应用单元。通信终端与用户交互,接收数据与指令输入。
- 双向型通信终端与双向型灯端的光侧接口互联,完成数据与指令的双向传递。
- 单向型通信终端仅负责接收光信息数据。

5.2.3 管理服务器

管理服务器通过网络与系统内所有的双向型灯端和双向型通信终端连接,实现对室内LED光通信网络上的数据、语音、视频、QoS 等功能进行部署、管理和控制。

5.3 接口

5.3.1 光侧接口

光侧接口划分成可见光光侧和红外光光侧两种，应满足如下要求：

- 光侧接口是灯端和通信终端之间的光链路数据接口。
- 灯端必须具备可见光光侧接口，红外光光侧接口可根据实际应用情况（单向型或双向型）而设计成可选项。
- 通信终端必须具备可见光光侧接口，红外光光侧接口可根据实际应用情况（单向型或双向型）而设计成可选项。

5.3.2 网络侧接口

网络侧接口是双向型灯端与系统内网络设备的接口，应满足如下要求：

- 至少支持IPv4协议，有条件的情况下宜支持IPv6协议，即支持双栈协议，同时支持静态配置IP地址和IP地址动态获取（DHCP）。
- 双向型灯端需具备供以太网传输的物理接口，单向型灯端可不设计任何网络侧的物理接口。
- 网络侧接口符合IEEE 802.3标准。

6 设备性能要求

6.1 通信速率

在IPv4协议条件下，应支持如下应用模式并达到相应性能要求：

- 网络访问：下行 ≥ 10 Mbps，通过可见光承载；上行 ≥ 1 Mbps，通过红外光承载。
- 视频直播：下行 ≥ 128 kbps，通过可见光承载；上行 ≥ 2 Mbps，通过可见光承载。
- 多媒体点播：下行 ≥ 2 Mbps，通过可见光承载；上行 ≥ 38.4 kbps，通过红外光承载。
- 语音通信：下行 ≥ 115.2 kbps，通过可见光承载；上行 ≥ 38.4 kbps，通过红外光承载。
- 定位：下行 ≥ 4.985 kbps，通过可见光承载。

6.2 灯端光通信性能

灯端应满足如下光通信性能要求：

- 双向型灯端红外光的接收灵敏度为： 0.2A/W 。
- 双向型灯端可见光的接收灵敏度为： 1A/W 。
- 双向型灯端的视场角（FoV）不小于30度。

6.3 通信终端光通信性能

通信终端应满足如下光通信性能要求：

- 通信终端可见光的接收灵敏度为： 1A/W 。
- 双向型通信终端红外光的发射功率不小于 500mW/sr 。
- 单向型通信终端可见光的视场角不小于30度。
- 双向型通信终端可见光的视场角不小于120度。

6.4 可靠性

可靠性应满足如下要求：

- 平均无故障工作时间应达到30000小时以上，长时间运行时不应出现业务中断或性能下降。
- 双向型灯端在流量达到指标要求60%的情况下，7×24 小时内的会话建立成功率在99.999%以上。
- 灯端应在超负荷运行（如流量超过设备实际最大能力）时不死机，负荷解除后可恢复到正常工作状态。

6.5 音频性能（频率范围 300Hz-3.4kHz）

音频应满足如下性能要求：

- 频率响应：变化小于3dB。
- 失真度：小于2%。
- 信噪比：大于55dB。

7 安全性要求

7.1 网络侧接口

应提供报文过滤能力、防 DOS 攻击能力、防端口扫描能力、防止非法报文攻击能力，并提供本地网络日志。

7.2 光侧接口

光侧接口应满足如下要求：

- 应支持光链路数据加密。
- 双向型灯端应支持通信终端的接入认证。

7.3 设备安全性

灯端符合 GB24819 中对设备物理安全性的相关规定。在正常情况下，灯端外壳与电源线间的绝缘电阻应不小于 50 MΩ。灯端应满足 YD/T 993 对模拟雷电冲击、电力线感应、电力线接触等指标的要求。

7.4 电磁兼容性

灯端与通信终端符合 GB9254 中 B 类设备的无线电骚扰限值的相关规定。

8 标志、标签、使用说明书

8.1 标志

应在适当的显著位置有清晰的铭牌标志，标志上应标明制造厂的名称、型号、生产序号等。电池盒内应标明电池的极性。产品的运输包装箱上应有下列标志：

——产品名称、型号、制造厂的名称和详细地址。

——产品执行的标准号。

8.2 标签

产品合格证的编写应符合 GB/T 14436 的规定。

8.3 使用说明书

使用说明书应符合 GB5296.1 的规定。

9 接口协议

9.1 调制方式

9.1.1 可见光光侧调制方式

可见光光侧调制方式采用OOK调制。

9.1.2 红外光光侧调制方式

红外光光侧调制方式采用反向归零调制。

9.2 数据帧结构

9.2.1 语音通信帧结构

表2 语音通信帧结构表

| 名称 | 字节起始 | 数据 | 字节结束 |
|----------|------|-------|------|
| 长度 (bit) | 1 | 8 | 1 |
| 取值 | 0 | 0-255 | 1 |

9.2.2 定位帧结构

表3 定位帧结构表

| 名称 | 字节起始 | 校验位 | 数据 | 字节结束 |
|----------|------------|---------|-------|------|
| 长度 (bit) | 10 | 1 | 8 | 1 |
| 取值 | 各 bit 均为 1 | 按奇偶校验计算 | 0-255 | 0 |

9.3 比特编码和电平要求

9.3.1 可见光光侧

9.3.1.1 语音通信

比特率为115.2kbps，高电平表示“1”，低电平表示“0”。采用标准TTL电平。

9.3.1.2 定位

比特率为4.985kbps，应对每个bit采用曼彻斯特编码，即低-高电平跳变表示“1”，高-低的电平跳变表示“0”。采用标准TTL电平。

9.3.2 红外光光侧

红外光光侧应满足如下要求：

- 采用IrPHY（1.5版本）标准中物理层SIR模式。
- 比特率为38.4kbps。

9.4 应用层协议

9.4.1 语音通信

9.4.1.1 语音通信的频道划分方式

9.4.1.1.1 语音信号和控制信号

语音信号指承载用户音频数据的信号，按照不同频道进行分组，双向型通信终端支持4个频道。

控制信号是指管理和协调系统中双向型通信终端接入、信号强度获取以及呼叫控制的信号。帧结构定义参见9.2.1。

9.4.1.1.2 信道划分

双向型通信终端基于时分多址进行信道的划分，应满足如下要求：

- 每个时段分为40ms。可见光信道包括5个数据时隙，每个数据时隙7ms，每个数据时隙后需有1ms的保护时隙；控制信号占用1个数据时隙，语音信号占用4个数据时隙，详见表4。

表4 可见光信道时隙表

| 时隙名称 | 语音 1 | 保护时隙 | 语音 2 | 保护时隙 | 语音 3 | 保护时隙 | 语音 4 | 保护时隙 | 控制 | 保护时隙 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 时间 | 7ms | 1ms | 7ms | 1ms | 7ms | 1ms | 7ms | 1ms | 7ms | 1ms |

- 每个时段分为40ms。红外信道包括2个数据时隙，每个数据时隙19ms，每个数据时隙后需有1ms的保护时隙；控制信号占用1个数据时隙，语音信号占用1个数据时隙，详见表5。

表5 红外信道时隙表

| 时隙名称 | 语音 | 保护时隙 | 控制 | 保护时隙 |
|------|------|------|------|------|
| 时间 | 19ms | 1ms | 19ms | 1ms |

- 保护时隙作用是用于保证接收端有充分的准备接收的时间，保护时间内禁止发送数据。

9.4.1.2 可见光光侧报文结构

可见光光侧报文结构应符合表6。

表6 可见光光侧报文结构表

| 名称 | 前导标识 | 数据的长度 | 数据校验 (CRC) | 数据 |
|-----------|--------|----------------|--------------------|------------------|
| 长度 (Byte) | 2 | 1 | 2 | 由数据的长度字段指定 |
| 取值 | 0x410a | 0-255 (3 的整数倍) | 数据部分 CRC-CCITT码 | 由有效载荷经过防闪烁编码填入 |
| 备注 | 标识语音通信 | 数据字段长度 | 校验数据完整性 | 使用 4B6B 编码后的有效载荷 |

可见光光侧应同时满足照明需求，故需要对报文数据进行一定的编码。编码方式采样4B6B编码，每两个Byte作为一个基本单位，编码后得到3个Byte。编码应符合表7。

表7 4B6B 编码映射表

| 4B(输入) | 6B(输出) | 16进制值 |
|--------|--------|-------|
| 0000 | 001110 | 0 |
| 0001 | 001101 | 1 |
| 0010 | 010011 | 2 |
| 0011 | 010110 | 3 |
| 0100 | 010101 | 4 |
| 0101 | 100011 | 5 |
| 0110 | 100110 | 6 |
| 0111 | 100101 | 7 |
| 1000 | 011001 | 8 |
| 1001 | 011010 | 9 |
| 1010 | 011100 | A |
| 1011 | 110001 | B |
| 1100 | 110010 | C |
| 1101 | 101001 | D |
| 1110 | 101010 | E |
| 1111 | 101100 | F |

例如，编码前的 4 个 Byte 为 {0x01,0x23,0x45,0x67}，则编码后应为 6 个 Byte：{0x38,0xe4,0xe6,0x56,0x39,0xa5}。如表8所示。

表8 4B6B 使用示例

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| 编码前 | 十六进制 | 0x01 | | 0x23 | | 0x45 | | 0x67 | |
| | 二进制 | 0000 | 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 |
| 编码后 | 二进制 | 001110 | 001101 | 010011 | 010110 | 010101 | 100011 | 100110 | 100101 |
| | | 00111000 | | 11010100 | | 11010110 | | 01010110 | |
| | 十六进制 | 0x38 | 0xe4 | 0xe6 | 0x56 | 0x39 | 0xa5 | | |

9.4.1.3 红外光光侧报文结构

报文结构应符合表 9，其中红外光光侧报文直接发送。

表9 红外光光侧报文结构表

| 名称 | 前导标识 | 数据的长度 | 数据校验（CRC） | 数据 |
|----------|--------|--------|--------------------|------------|
| 长度（Byte） | 2 | 1 | 2 | 由数据的长度字段指定 |
| 取值 | 0x410a | 0-255 | 数据部分 CRC-CCITT码 | 由有效载荷直接填入 |
| 备注 | 标识语音通信 | 数据字段长度 | 校验数据完整性 | 有效载荷 |

9.4.1.4 网络侧报文结构

网络侧报文基于 UDP 广播发送，报文结构同表 9。

9.4.1.5 双向型通信终端的接入

9.4.1.5.1 数据包结构

语音通信建立连接、断开连接数据包结构见表 10。

表10 连接数据包结构表

| 名称 | 数据类型 | 终端 id | 灯端 id | 指令 |
|----------|-----------------------|--------------------------|--------------------|---|
| 长度（Byte） | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 取值 | 0x43 | 取值范围：0 - 65535 | 取值范围：0 - 65535 | 请求建立：01 请求断开：02 回复建立：03 回复断开：04 其他：保留 |
| 备注 | 双向型通信 终端连接数 据标识 | 自定义 2Byte 双向 型通信终端 id | 自定义 2Byte 灯端 id | 双向型通信终端发起请求， 服务器或灯端回复 |

建立和断开连接的时序如图 2 所示。

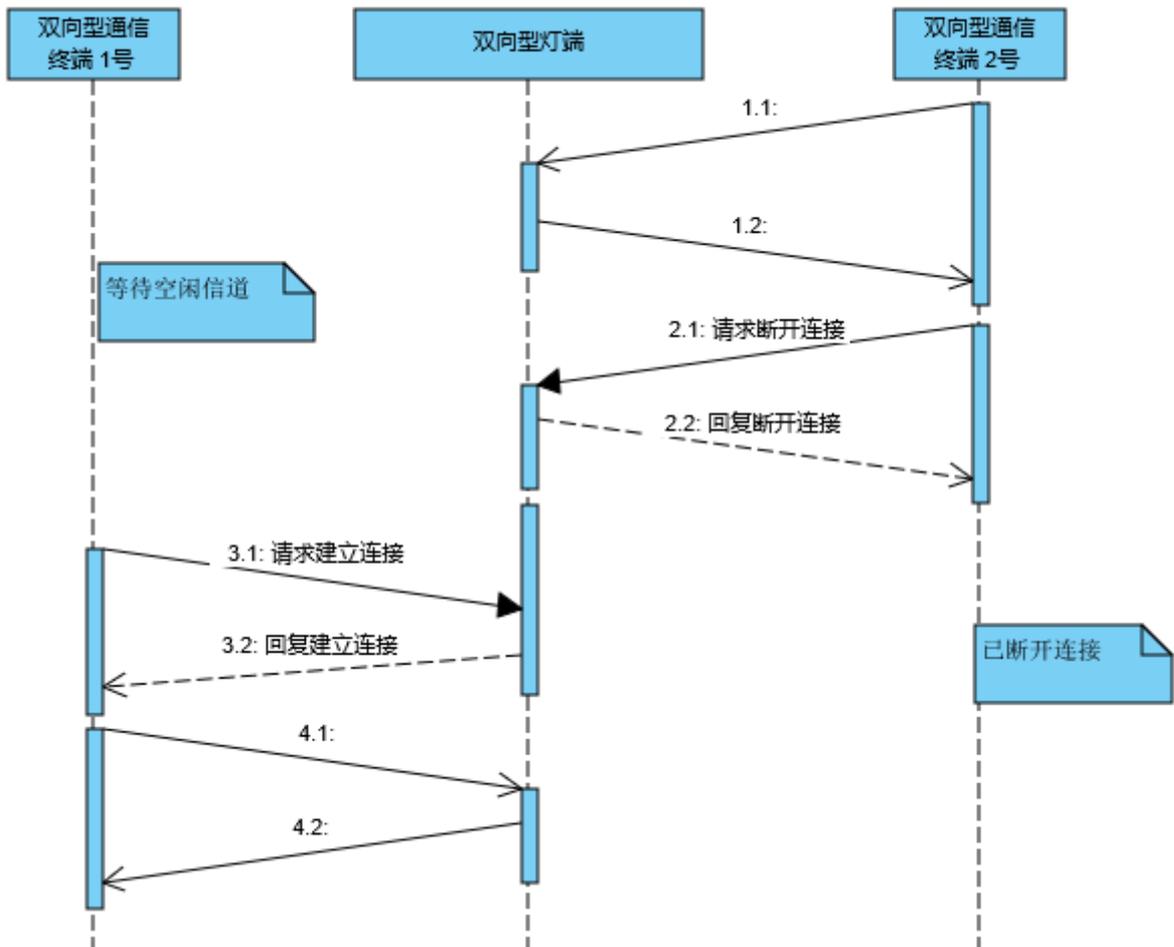


图2 建立和断开连接时序图

9.4.1.5.2 建立连接

语音通信建立连接是指双向型通信终端和双向型灯端建立逻辑数据通路的过程。建立连接始终由双向型通信终端发起，双向型灯端仅需回应连接请求。建立连接过程如图3所示。

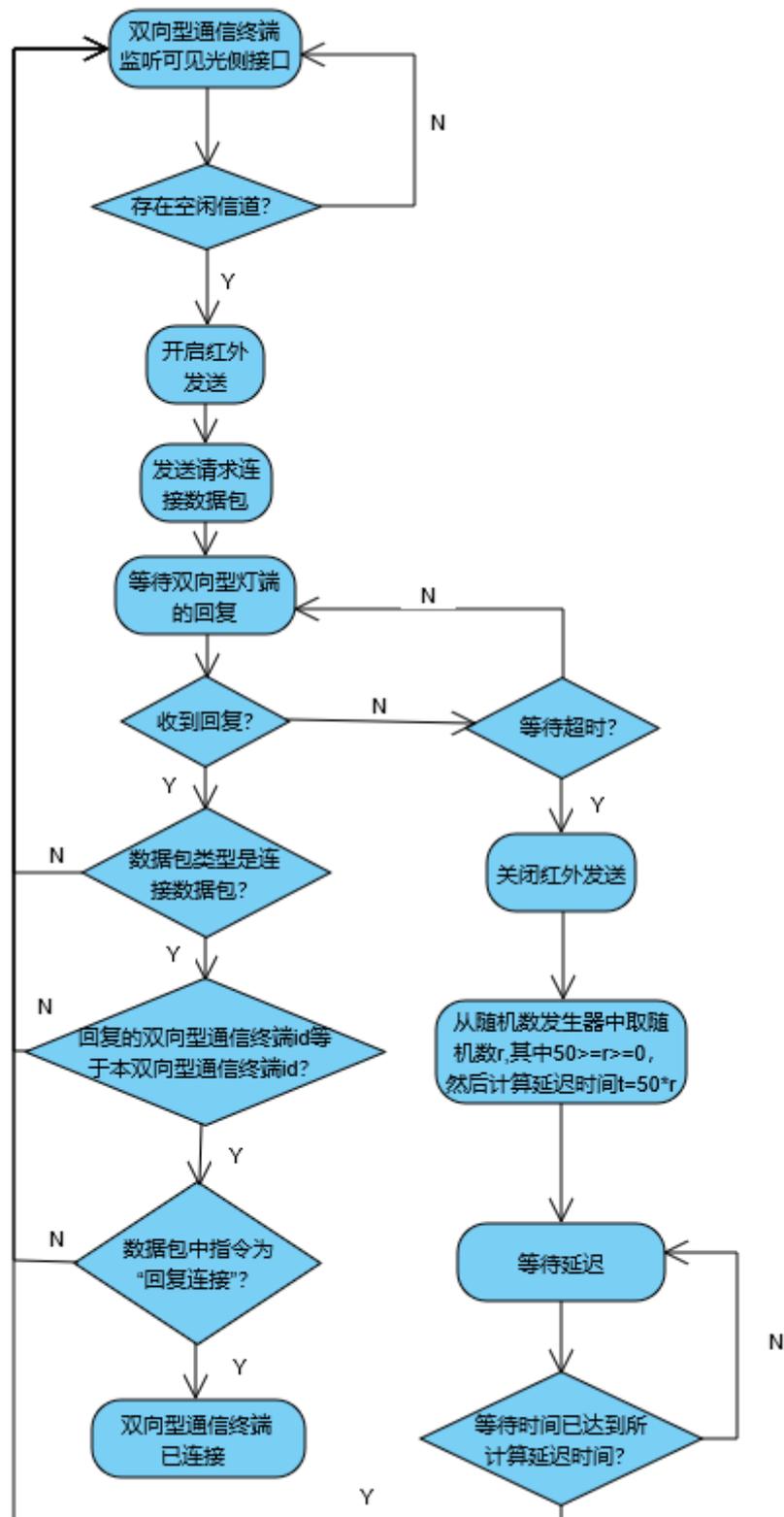


图3 建立连接流程图

9.4.1.5.3 断开连接

语音通信断开连接是指双向型通信终端和双向型灯端断开逻辑数据通路的过程。断开连接由双向型

通信终端和双向型灯端独立进行，可能会存在短暂半断开状态，即通信的一端已经断开，而另一端仍处于已连接状态。半断开状态是一个不稳定状态，会自动变为全断开状态或恢复为已连接状态。双向型通信终端断开连接过程如图 4。

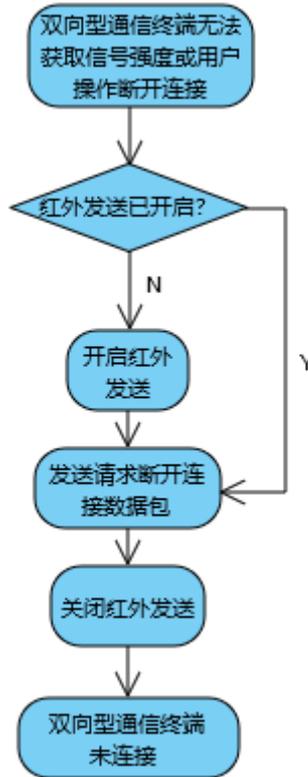


图4 断开连接流程图

9.4.1.6 信号强度

9.4.1.6.1 数据包结构

双向型通信终端获取信号强度数据包结构见表 11。

表11 信号强度数据包结构表

| 名称 | 数据类型 | 终端 id | 灯端 id | 指令 | 数据 |
|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------|
| 长度 (Byte) | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 取值 | 0x53 | 取值范围：0 - 65535 | 取值范围：0 - 65535 | 请求强度：01 回复强度：02 其他：保留 | 信号强度 1-4 |
| 备注 | 双向型通信终端信号强度数据包标识 | 自定义 2Byte 灯端 id | 自定义 2Byte 灯端 id | 双向型通信终端发起请求，灯端负责测量信号强度和回复 | 代表信号强度，分为 4 级 |

可见光光侧无法正常通信时的信号强度时序如图 5。

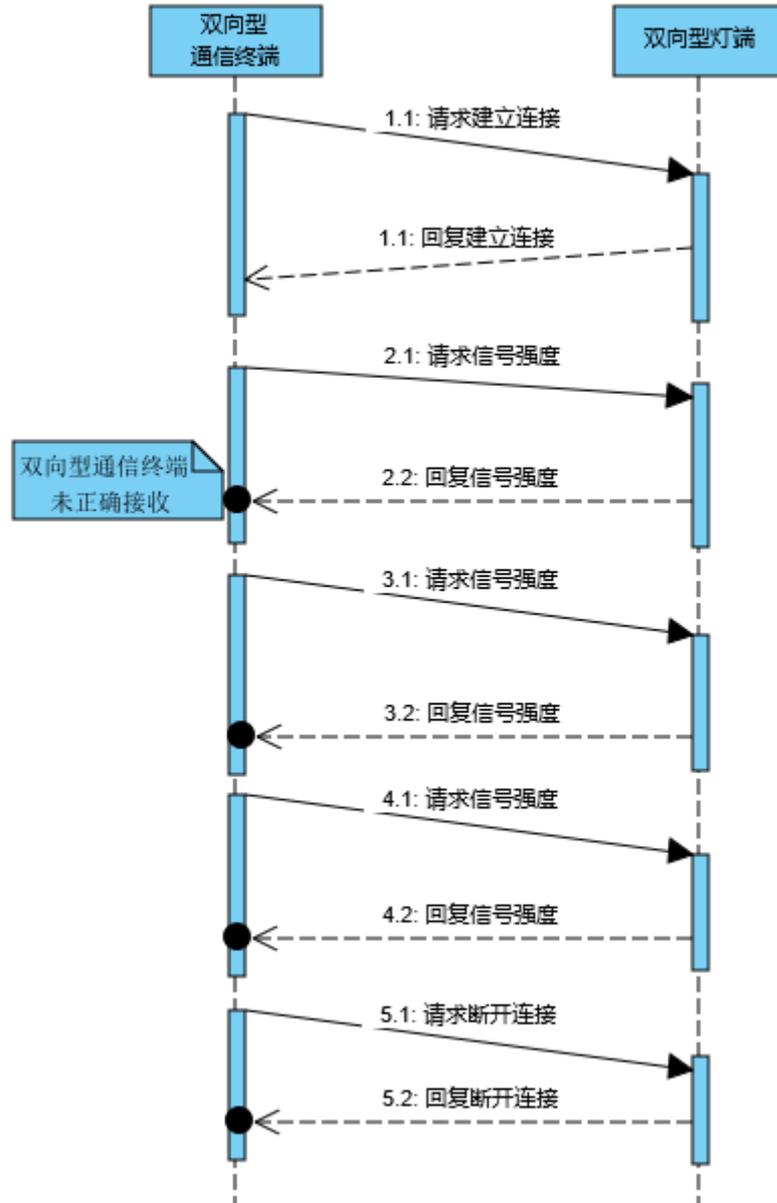


图5 信号强度时序图（可见光光侧无法正常通信）

红外光光侧无法正常通信时的信号强度时序如图 6。

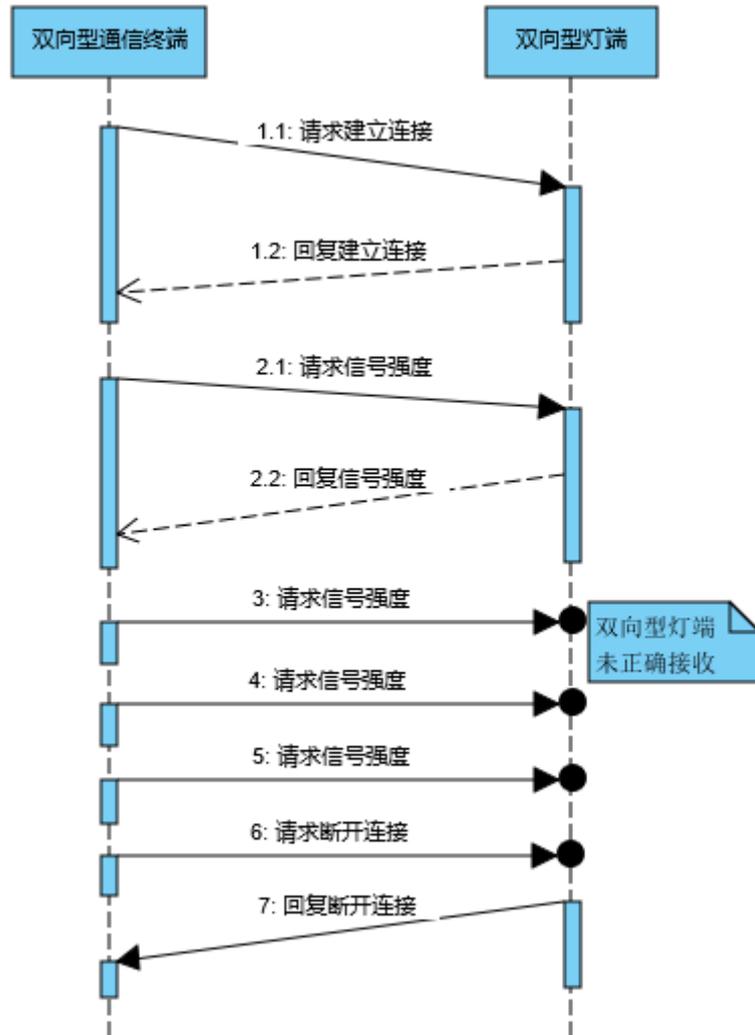


图6 信号强度时序图（红外光光侧无法正常通信）

可见光光侧和红外光光侧均正常通信时的信号强度时序如图 7。

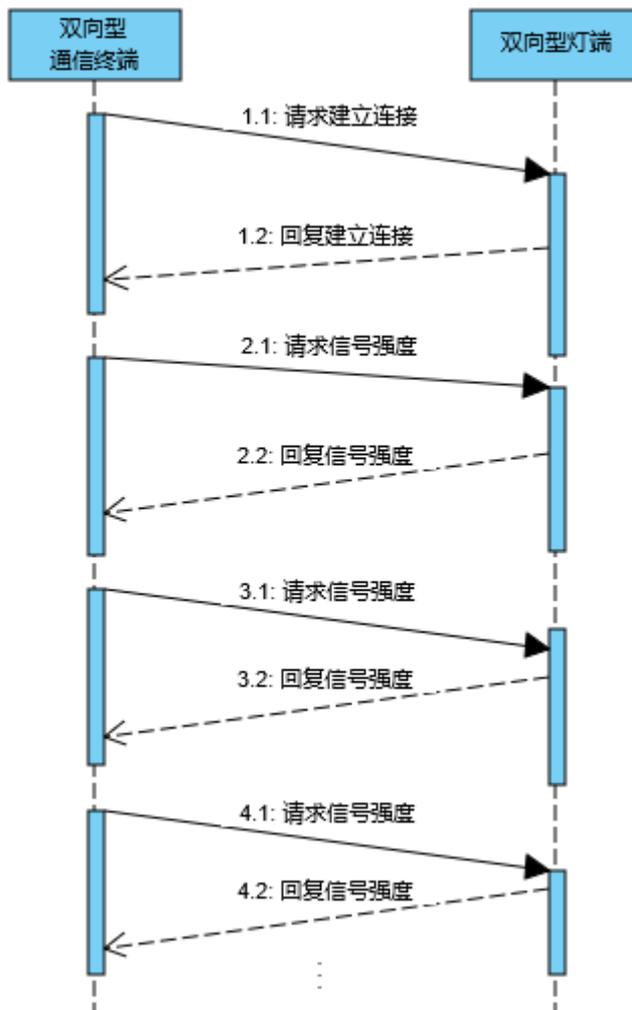


图7 信号强度时序图（可见光光侧和红外光光侧均正常通信）

9.4.1.6.2 信号强度的定义

信号强度代表当前光侧通信链路的强度，分为 0-4 共 5 个级别，其中 0 代表当前光侧通信链路几乎无法继续进行通信，4 代表当前光侧通信链路状态极好能够高质量的完成通信，1-3 表示当前能够进行通信，但距离或角度没有调节到最佳位置。

9.4.1.6.3 信号强度的测量

信号强度由灯端负责测量，通过测量红外光光侧脉冲的时间宽度来获取信号强度。信号强度的定义详见表 12。

表12 信号强度映射表

| 红外光脉冲宽度 (单位 μs) | 信号强度 |
|-----------------------------|------|
| $[0,5) \cup [26,+\infty)$ | 0 |
| $[5,12) \cup [24,26)$ | 1 |
| $[12,17) \cup [23,24)$ | 2 |
| $[17,20) \cup [22,23)$ | 3 |
| $[20-22)$ | 4 |

9.4.1.6.4 信号强度的请求

信号强度的请求由双向型通信终端负责发起，请求时间间隔应不大于 500ms。请求信号强度时，需按照表 11 构造信号强度数据包，然后通过红外光发送。若持续 1s 无法获取信号强度，则断开连接。

9.4.1.6.5 信号强度的回复

信号强度的回复由双向型灯端负责，信号强度应持续对所有红外数据包进行测量，每次收到信号强度请求，立即读取当前信号强度。然后通过可见光发送该数据包。

9.4.1.7 呼叫控制信号

9.4.1.7.1 呼叫控制数据包结构

双向型通信终端开始呼叫、停止呼叫的数据包结构见表 13。

表13 语音呼叫控制数据包结构表

| 名称 | 数据类型 | 终端 id | 灯端 id | 指令 | 数据 | |
|-----------|---------------|-----------------|-----------------|---|---|---|
| | | | | | 频道 | 单呼终端 id |
| 长度 (Byte) | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 取值 | 0x4b | 取值范围：0 - 65535 | 取值范围：0 - 65535 | 请求开始通话：01 请求结束通话：02 回复开始通话：03 回复结束通话：04 禁止通话：05 取消禁止通话：06 其他：保留 | 组呼频道：0-3 单呼频道：254 全呼频道：255 其他：保留 | 取值范围：0 - 65535 |
| 备注 | 双向型通信终端控制数据标识 | 自定义 2Byte 灯端 id | 自定义 2Byte 灯端 id | 表示请求和回复开始通话和结束通话；由双向型通信终端进行请求，如果带服务器则由服务器进行回复，如果不带服务器则灯端负责回复。 | 表示当前控制的频道 | 表示被呼叫的终端 id，本字段仅当频道字段为 254 时才有效，组呼或全呼时本字段可以不存在或填充任意值。 |

发起呼叫和停止呼叫的时序见图 8。

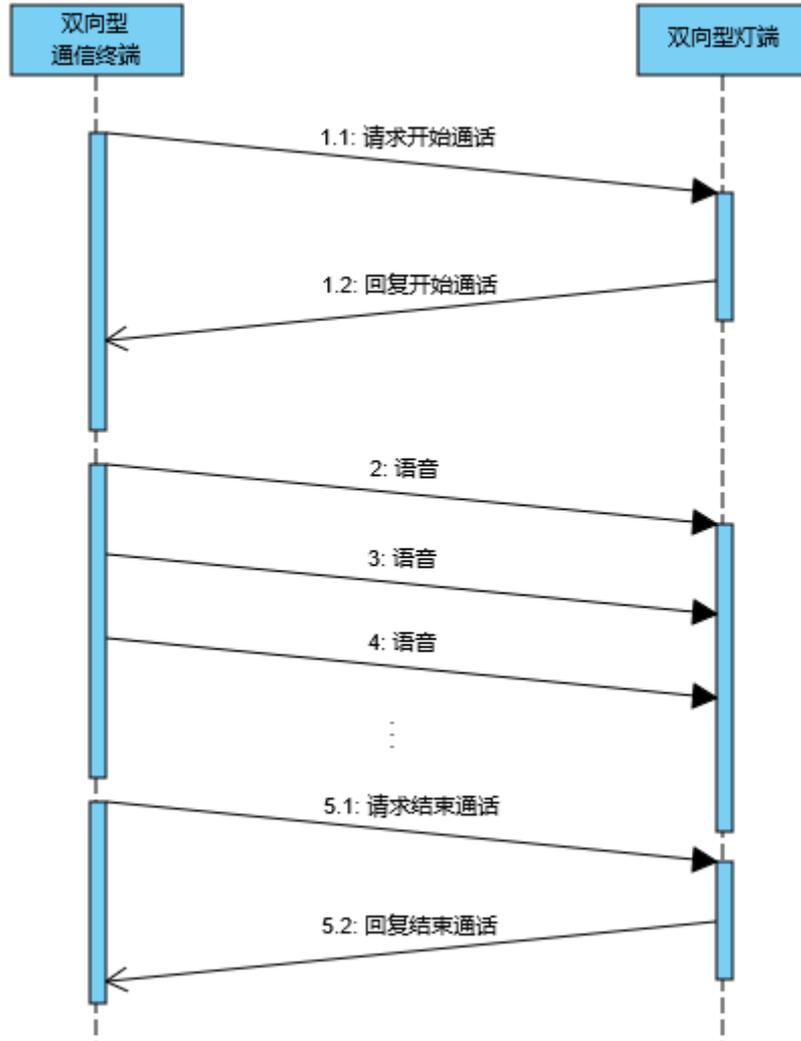


图8 发起呼叫和停止呼叫时序图

9.4.1.7.2 发起呼叫

双向型通信终端负责发起呼叫。已成功建立连接且未被禁止通话的双向型通信终端，当用户按下一键通（Push to Talk, PTT）按钮时应请求呼叫。请求发起呼叫流程如图 9。

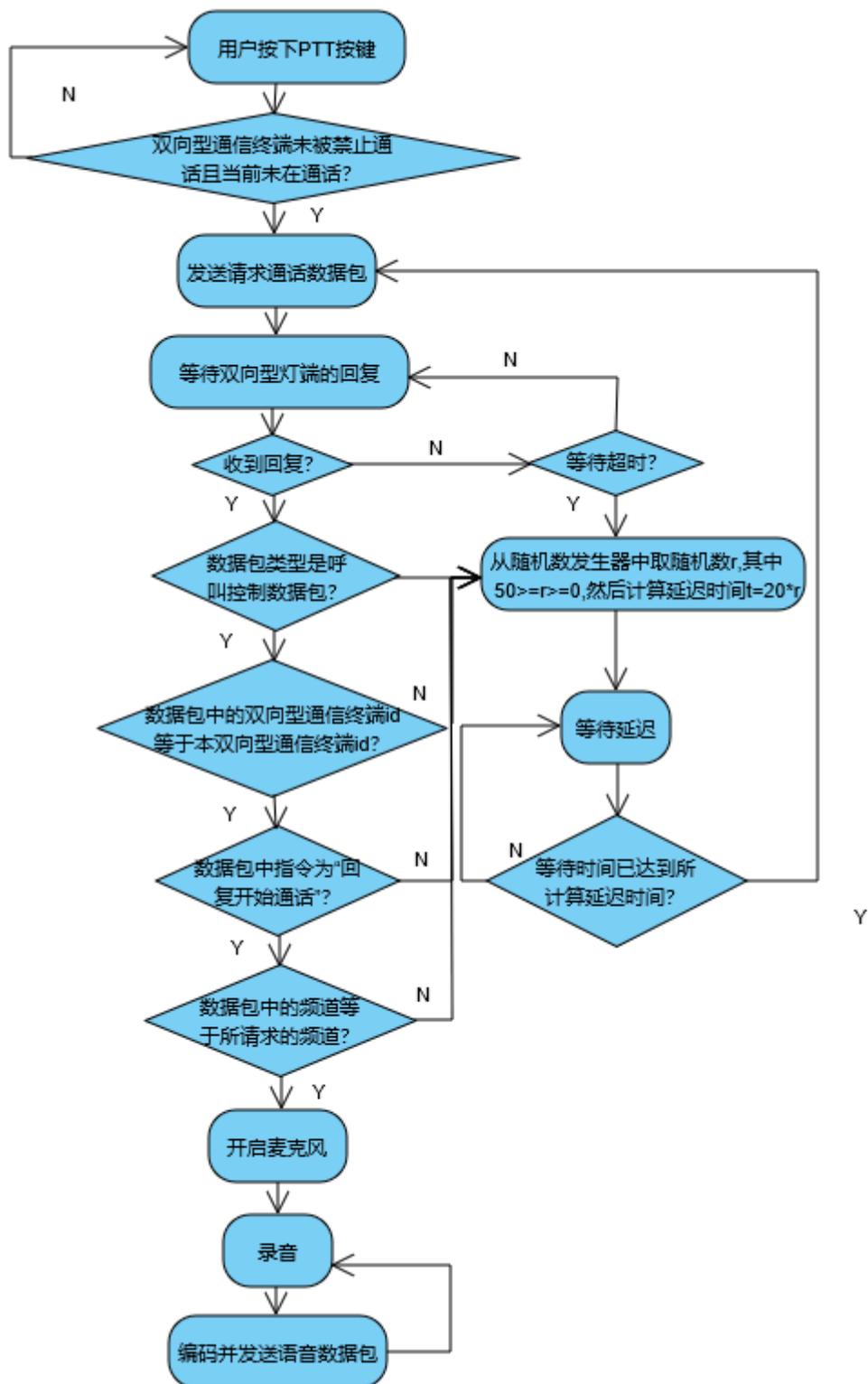


图9 发起呼叫流程图

9.4.1.7.3 结束呼叫

双向型通信终端负责结束呼叫。已成功建立连接且正在通话的双向型通信终端，当用户释放 PTT

按钮时应请求结束呼叫。请求结束呼叫流程如图 10。

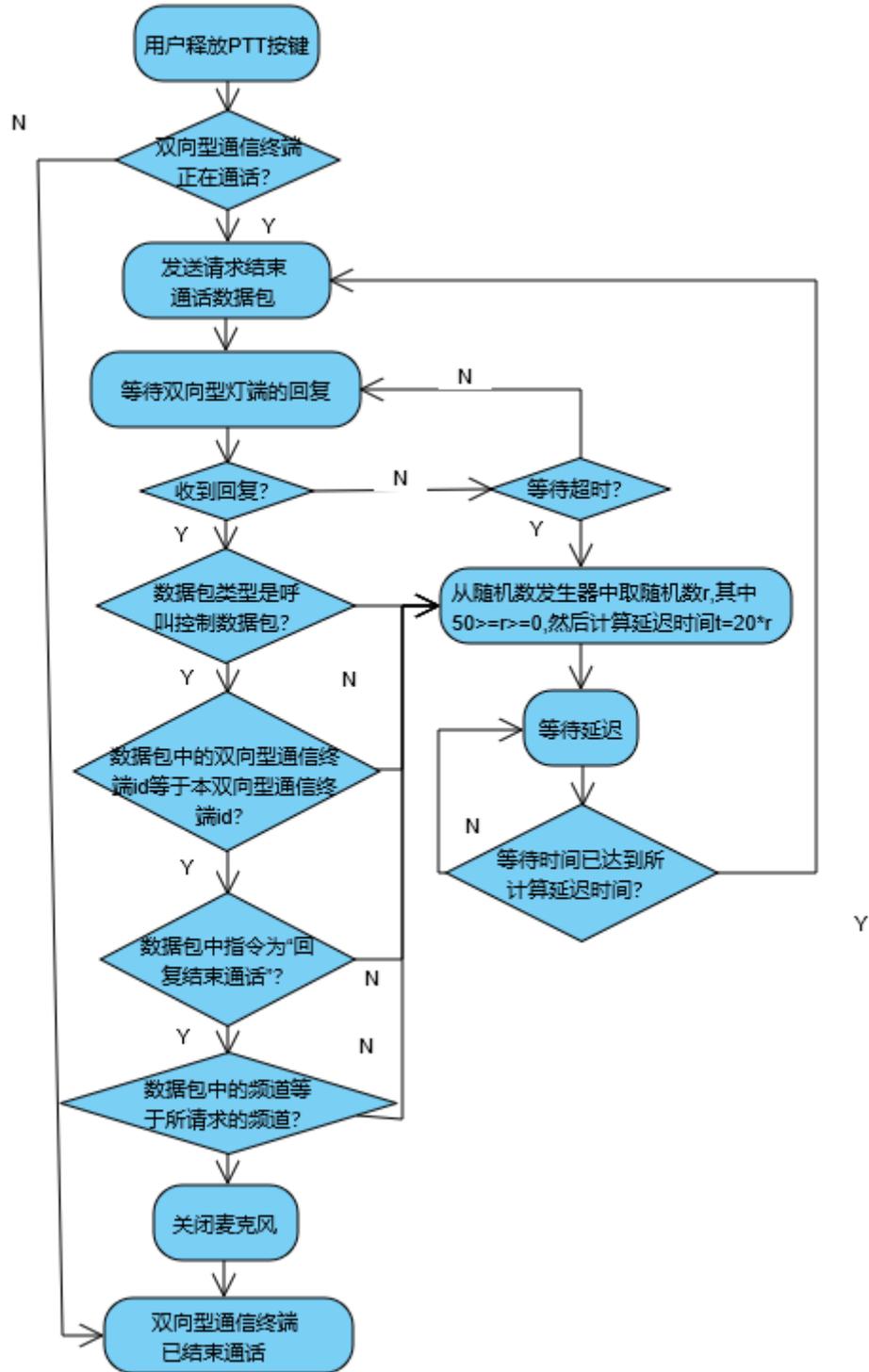


图10 结束呼叫流程图

9.4.1.7.4 禁止呼叫和取消禁止呼叫

管理人员可禁止选定的双向型通信终端的呼叫。双向型通信终端收到禁止呼叫指令后，应不再请求

发起呼叫，如果当前正在呼叫，应立即结束呼叫。双向型通信终端收到取消禁止呼叫指令后恢复正常工作。

9.4.1.8 语音数据包

9.4.1.8.1 语音数据包结构

语音数据包结构见表 14。

表14 语音数据包结构表

| 名称 | 数据类型 | 终端 id | 灯端 id | 频道 | 单呼终端 id | 数据 |
|-----------|-------------------|--------------------------|--------------------|---|---|---------------------|
| 长度 (Byte) | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 40 |
| 取值 | 0x49 | 取值范围: 0 - 65535 | 取值范围: 0 - 65535 | 组呼频道: 0-3 单呼频道: 254 全呼频道: 255 其他: 保留 | 取值范围: 0 - 65535 | 语音数据包 括两个编码 帧 |
| 备注 | 双向型通信终端 语音数据标识 | 自定义 2Byte 双向 型通信终端 id | 自定义 2Byte 灯端 id | 表示当前语音所 在的频道 | 表示被呼叫的终端 id, 本字段仅当频道 字段为 254 时才有效, 组呼或全呼时 本字段可以不存在 或填充任意值。 | 语音数据 |

9.4.1.8.2 语音数据包的发送

语音数据包的发送应满足如下要求:

- 通信终端在通话状态下，连续进行录音和音频编码。
- 编码输出足够填充语音数据包数据字段时，则构造语音数据包，频道和呼叫终端id字段应与所请求通话的对应字段一致。
- 构造完成后通过红外光发送到双向型灯端。
- 双向型灯端接收后转发到网络侧。

9.4.1.8.3 语音数据包的接收

语音数据包的接收应满足如下要求:

- 双向型灯端将对应的语音数据包转发给双向型通信终端。
- 双向型通信终端通过可见光持续接收语音数据包，并进行音频解码和播放。

9.4.2 多媒体传输

多媒体传输推荐使用以下传输协议:

- RTSP协议：应符合IETF RFC2326的规定。
- HTTP协议：应符合IETF RFC7231的规定。
- HLS协议：应符合IETF RFC8216的规定。

9.4.3 定位

定位数据包结构表见表15。

表15 定位数据包结构表

| 名称 | 起始标识 | 数据的长度 | 数据 | 数据和 | 数据校验 (CRC) |
|-----------|------|---------------------|--------------|---------------|------------------|
| 长度 (Byte) | 1 | 1 | 4 | 1 | 2 |
| 取值 | 0xdd | 5 | 0-4294967295 | 数据部分按 Byte 求和 | 数据部分 CRC-CCITT 码 |
| 备注 | 起始标识 | 有效载荷长度：指数据与数据和的长度累加 | 位置 id | 校验数据完整性 | 校验数据完整性 |

10 信道编码

光侧接口使用汉明码作为信道编码。编码以 30Byte 为一个分组，即信息码 240bit；监督码计算按照配偶原则，监督码占 8bit。

11 语音编码

语音编码应满足如下要求：

- 语音信号采样频率是8kHz。
- 语音信号应采用码激励线性预测编码 (Code Excited Linear Prediction, CELP)，编码原理参见附录A。

附 录 A
(资料性附录)
CELP 语音编码简介

A.1 语音预测的源滤波器模型

语音产生的源滤波器模型假设声带是频谱上平坦声音（激励信号）的来源，而声道则相当于一个滤波器，在频域上对讲话的不同声音起到了整形的作用。语音编码使用的是的一个近似模型，应该可以简化问题，这也是为什么大多数的语音编解码器在音乐编码上表现很糟糕。通过它们的激励信号和频谱整形来区分不同的音素。浊音的激励信号具有这些特点，周期性，近似为一个时域的脉冲序列或频域上有规则隔开的谐波。另一方面摩擦音有类似于高斯白噪声的激励信号。所以浊摩擦音的激励信号包括一个谐波部分和一个噪声部分。源滤波器模型通常与线性预测的使用绑定，CELP 模型及是基于源滤波器模型。

A.2 线性预测

线性预测是语音编码技术的基础。背后的主要思路是去预测信号 $x[n]$ ，通过之前的采样的线性组合：

$$y[n] = \sum_{i=1}^N a_i x[n-i]$$

其中 $y[n]$ 是 $x[n]$ 的线性预测，预测错误为：

$$e[n] = x[n] - y[n] = x[n] - \sum_{i=1}^N a_i x[n-i]$$

线性预测分析的目的是找到最佳预测系数 a_i 使得错误函数得到最小值：

$$E = \sum_{n=0}^{L-1} [e[n]]^2 = \sum_{n=0}^{L-1} \left[x[n] - \sum_{i=1}^N a_i x[n-i] \right]^2$$

要求得最小值，可以令其偏导数等于 0：

$$\frac{\partial E}{\partial a_i} = \frac{\partial}{\partial a_i} \sum_{n=0}^{L-1} \left[x[n] - \sum_{i=1}^N a_i x[n-i] \right]^2 = 0$$

对于一个有序的 N 阶滤波器，通过求解 $N \times N$ 的线性系统 $\mathbf{R}\mathbf{a}=\mathbf{r}$ 可以得到滤波器系数，其中：

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R(0) & R(1) & \dots & R(N-1) \\ R(1) & R(0) & \dots & R(N-2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R(N-1) & R(N-2) & \dots & R(0) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} R(1) \\ R(2) \\ \vdots \\ R(N) \end{bmatrix}$$

$x[n]$ 的自相关函数 $R(m)$ 为:

$$R(m) = \sum_{i=1}^{N-1} x[i]x[i-m]$$

可以对这个自相关函数应用一个窗口，这等效于在频域进行滤波，来减小尖锐回响。

A.3 基音预测

在浊音段，语音信号是周期性的，所以可以利用这个特点，通过用增益乘以过去时刻的激励来逼近激励信号 $e[n]$:

$$e[n]; p[n] = \beta e[n-T]$$

其中 T 是基音周期， β 是基音增益。如果 T 远大于 N ，则把这种预测叫做长期预测。

A.4 噪声加权

大多数现代音频系统都会尝试整形噪声使得在大多数频率范围人耳都无法识别。例如人耳对于频谱中音量更大部分的噪声具备更高的忍受能力，反之则越难忍受。为了最大化语音编码效率，在感知加权域中，编码器应最小化噪声平方的平均值。这意味着一个感知加权滤波器 $W(z)$ 被应用到编码器的错误信号中去了。通常， $W(z)$ 被是一个从线性预测系数中得到的零极点加权滤波器，一般用于带宽扩展。

A.5 综合式分析

语音编码器的一个主要准则是综合式分析，意味着编码（分析）通过解码信号的感知优化所执行，在一个闭环中。理论上，最好的 CELP 流是这样得到的：即通过尝试所有可能的比特组合，然后选择产生最好声音的那个。而在实践中，这显然是不可行的，有两个原因：一是需要的复杂度超过了任何当前可用硬件的能力，二是最好声音的选择的过程需要人类监听来获得。为了实现实时的编码，基于有限的计算资源，编码器优化必须调到更小更易行，使用前面提到的感知加权函数来进行序列搜索。