

触发预警，并把处置动作输出为调度建议。

调度建议以任务优先级排序来驱动资源分配，核心采用如下乘性模型。

$$P=S \times V \times R$$

其中， P 表示任务优先级，为无量纲分值； S 为人员安全系数，依据热暴露时长与撤离路径通畅度归一化，为无量纲； V 表示火势蔓延速度，依据温度梯度与烟羽扩展估计，单位为 m/s ； R 为资源可用度，依据水源余量与可调动班组数量归一化，为无量纲。

结合某高层建筑火灾的处置实践，模块在 Mesh 网络回传的温度栅格与消防员轨迹之上识别出楼梯间热斑快速上移的时序模式，并把风险等级上调。指挥席据此把内攻小组改走东西向连廊路径，同时把备用水带与正压风机的投放优先级上调，使 2 名内攻人员的风险暴露时间得到缩短。

4 新型通信技术应用的效果验证与未来展望

4.1 基于模拟极端场景的通信性能测试与案例分析

鉴于极端火场叠加热辐射、浓烟遮挡与电磁噪声，本研究在四川省消防救援总队综合训练基地搭建燃烧舱、烟雾走廊与屏蔽暗室联动的试验平台，把 Mesh 接入域与卫星回传域纳入统一测评。热环境由明火与远红外阵列形成温度梯度，烟场由甘油型烟机维持目标能见距，干扰环境采用扫频与脉冲源对 400 MHz、2.4 GHz 与 5.8 GHz 注入。流程按覆盖探测、链路质量采集与业务承载压测串联推进，覆盖探测生成连通栅格，链路采集记录接收功率、链路开销与路由收敛时间，业务压测配置语音、高清视频与多传感上报的混合负载并标注时延与丢包；切换评估在公网可用与不可用条件下触发地面与卫星双路径选择，观察接入域至回传域的路径决策。

4.2 灭火指挥决策效率提升的量化评估

鉴于极端条件灭火指挥对连续链路 with 快反闭环的依赖，本研究把决策效率评估建立为三维指标体系，覆盖指令响应时间、资源调度准确率、救援时间缩短比例，并把统计口径锚定到同一作战时间线。指令响应时间定义为指挥端发出口令至前线确认的总时长，资源调度准确率依据任务载荷与装备能力匹配矩阵进行判定，救援时间缩短比例以控制关键风险节点所需时长的相对缩减进行计算，从而把通信能力对指挥闭环的影响用可测量的方式表达出来，便于在战术编成与网络配置之间开展双向校准与调整工作^[5]。

4.3 技术优化方向与推广应用前景

鉴于极端火场的能量与电磁双重压力，现有现场 Mesh 暴露续航短与拓扑稳定边界偏紧的问题。穿戴终端与背负台承担多跳转发和视频上行时功耗攀升，无人机中继在高温乱流中耐时下降，热辐射把电池与射频前端推入效率低谷。卫

星通信虽可补齐盲区，但终端价格、天线指向精度以及带宽费用抬高中小队的部署门槛，野外供电与负载重量还限制布设密度，多制式融合带来的路由振荡与 QoS 映射差异进一步加重控制面负担。

表 2 灭火指挥决策效率对比表

指标	传统通信	新型通信	数据来源与说明
指令响应时间	15 min	3 min	案例 1 现场记录与案例 2 复现场景时间戳对齐标定
资源调度准确率	70%	92%	指挥台派单与回执对比，按任务载荷—装备能力匹配矩阵进行判定
救援时间缩短比例	0%	25%	以完成楼梯间控烟与林带隔离带成形所需时长为基准的相对缩减计算口径

面向上述短板，优化路径把低功耗节点与可负担卫星接入当作主线。硬件侧选用高集成 SoC 与功放自适应，叠加热休眠唤醒和占空比调度，把续航时间拉长；空中中继配置高效散热与快换电池，并在车载平台设置直流补给点。边缘侧把语义编码与事件级视频摘要前移，结合链路质量驱动的连接控制，压缩无效上行。卫星端推进平板小型化天线与多星座双模终端，配合可编程波形、差异化队列以及硬件加密加速与轻量身份认证，把成本与可靠性在可接受区间内进行权衡，并把统一运维平台纳入观测与策略下发。

5 结语

研究表明，空地一体 Mesh 与卫星回传的融合架构在热、烟与强干扰条件下可保持指挥链路连续，配合边缘侧语义压缩、QoS 与 AI 事件识别，实现关键业务优先到达与决策闭环收敛。与传统体系相比，响应更快、调度更准、救援效率明显提升。当前瓶颈在续航、拓扑稳定与卫星接入成本。后续将沿低功耗节点、空中中继热管理与快换、事件级视频摘要、小型化多星座终端与统一运维平台推进迭代，并拓展至地震次生火灾与海上平台等场景。

参考文献

- [1] 潘晓军,杨倩兰,李佳栋.可级联转发的灾害应急指挥系统研究[J].广播电视信息,2025,32(10):97-99.
- [2] 安相君.基于Mesh的消防应急通信基站设计与性能评估[J].科技创新与生产力,2025,46(07):104-106.
- [3] 陈启伟.应急广播在偏远地区的覆盖与传播策略研究[J].中国宽带,2025,21(04):86-88.
- [4] 焦立彬,王明,马文学,王建超.基于IMS的智能多媒体通信技术研究[J].无线电通信技术,
- [5] 国家安全生产应急救援队伍应急通信技能提升实训班成功举办[J].中国安全生产科学技术,2025,21(11):158.

Analysis of Working Mode of Infrared Communication in Event of Embedded Technology and Application Development

Zhenpeng Liu

Jinan Engineering Vocational Technical College, Jinan, Shandong, 250200, China

Abstract

Infrared communication is a wireless communication technology that relies on infrared rays for data transmission, enabling communication through a pair of infrared transmitting and receiving devices. This paper first provides a detailed introduction to the functional characteristics and working modes of infrared communication technology, with emphasis on the decisive factor in the infrared communication process—encoding. It then describes the composition of infrared communication equipment in the embedded technology application development competition and the way in which the equipment achieves communication functions. Finally, by incorporating the intelligent street light marker used in the embedded competition, the paper further illustrates the implementation method and specific control effects of infrared communication within the competition context.

Keywords

Infrared communication; Coding modulation; control circuit

红外通信在嵌入式技术应用开发赛项中的工作方式分析

刘振鹏

济南工程职业技术学院机电工程学院, 中国·山东 济南 250200

摘要

红外通信是一种依靠红外线进行数据传输的无线通信技术,由一对红外发送装置和接收装置实现通信功能。本文首先详细介绍了红外通信技术的功能特点和工作模式,在此过程中着重强调了红外通信过程中的决定性因素——编码工作。然后描述了在嵌入式技术应用开发赛项中红外通信设备的组成以及该设备实现通信功能的方式。最后结合嵌入式赛项中的智能路灯标志物进一步说明了红外通信在赛项中的实现方式以及具体控制效果。

关键词

红外通信; 编码调制; 控制电路

1 引言

红外通信是一种无线数据传输技术,顾名思义就是通过红外线传输数据。这种通信技术使用一种点对点的数据传输协议,是之前传统设备之间连线的代换。

红外通信设备由一对红外发射装置和接收装置组成。红外发射装置通常采用红外发射管。红外发射管是由红外发光二极管组成的发光体,其内部具备一个由红外辐射效率高的材料(常用砷化镓)制成的PN结,当PN结处于正向偏压状态时将被注入电流从而激发红外光。红外接收装置通常采用光敏接收管、红外接收管、红外线接收头等设备。这三种设备在结构上比较相似,都具备一个具有光敏特征的PN结,本质上都属于光敏二极管。在嵌入式技术应用开发赛项(以下简称嵌入式赛项)中采用的红外通信设备是红外

发射管和红外接收管,简称红外对管。

2 红外通信工作原理

红外通信必须同时具备发送和接收两部分设备。发送端负责将待发送的二进制信号通过编码调制得到一系列频率为38KHz的间断脉冲串信号并交由红外发射管进行发射。编码工作由红外发送控制电路的核心

芯片来完成;编码之后的二进制信号与频率为38KHz的脉冲信号相与即可得到频率为38KHz的间断脉冲串信号。接收端对接收到的脉冲串信号进行接收、放大、检波、整形等一系列解调操作从而得到能够被红外接收控制电路核心芯片直接识别的遥控编码脉冲。红外接收控制电路核心芯片通过解码操作最终确定接收到的信号内容并采取相应的控制动作。红外通信系统结构图如图1所示(图中默认收发双方控制电路的核心芯片均为单片机)。

红外通信过程中的编码工作极为关键。其目的在于确定“0”、“1”数字信号的表现形式。由前文可知,在红外

【作者简介】刘振鹏(1979—),男,中国山东济南人,硕士,副教授,从事控制理论与控制工程研究。

通信双方之间直接进行传输的信号为 38KHz 的间断脉冲串信号。脉宽为 0.565ms、间隔为 0.56ms、周期为 1.125ms 的组合表示“0”信号；脉宽为 0.565ms、间隔为 1.685ms、周期为 2.25ms 的组合表示“1”

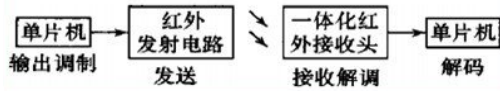


图 1 红外通信过程

信号。由此可见“0”、“1”数字信号均以 0.565ms 的高电平开始，区别在于低电平宽度不同。因此低电平的宽度即为确定“0”、“1”信号的标准：0.565ms 的高电平结束之后如果低电平持续时间不超过 0.56ms，说明该位为“0”，反之则为“1”。

与编码相对应的工作即为解码，在代码的收发过程中解码和编码这两项工作是互为逆过程的。也就是说，如果之前红外发射管发送的原始信号是高电平，那么红外接收管接收并输出的信号就是低电平，反之亦然。因此为了保证解码过程简单方便，在编码的时候应该直接将待发送代码转换为其反码。

3 红外通信在嵌入式技术应用开发赛项中的具体应用

嵌入式赛项采用实操形式考察学生对嵌入式技术的应用能力。该赛项采用了红外通信、ZigBee 通信、无线 Wifi 通信、串口通信等多种通信方式，而参赛选手必须掌握的一项重要技能就是编程控制竞赛平台通过各种通信手段与赛项配备的标志物进行准确无误的数据交互。

嵌入式赛项采用红外发射对管作为红外通信设备。竞赛平台通过红外通信方式与标志物进行数据交互时始终作为数据发送方运行，而标志物则始终以数据接收方的身份工作。也就是说，竞赛平台和标志物相互之间的红外通信始终为单工通信。因此竞赛平台和标志物各自只配备红外发射管和红外接收管即可满足通信要求。

嵌入式赛项红外通信发送和接收控制电路的核心芯片均为 stm32 系列的单片机。在整个红外通信的数据交互过程中，红外发送控制电路中的 32 单片机将待发送的二进制信号编码之后通过红外信号发送管脚输出，输出信号与红外发送控制电路中的 555 定时器产生的 38KHz 的脉冲信号相与得到最终需要发送的间断脉冲串信号，该脉冲串信号最终交由红外发射管进行发送，红外发送控制电路如图 2 所示；而红外接收控制电路对接收到的间断脉冲串信号进行一系列调理工作之后将其转换成 32 单片机可识别的 TTL 电平信号，红外接收控制电路中的 32 单片机将该信号解码之后进行分析并根据分析结果做出相应的控制动作。

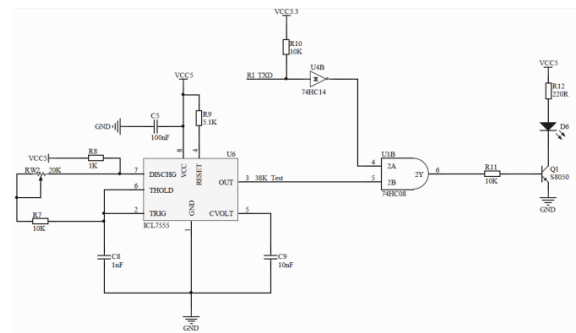


图 2 红外发送控制电路

下面以智能路灯标志物为例进一步说明嵌入式赛项红外通信的工作过程。嵌入式赛项中的智能路灯标志物具备四个光强挡位，不论智能路灯当前处于哪一级光强挡位，竞赛平台都可以通过红外通信控制智能路灯从当前的光强挡位切换到其他任何一级光强挡位。具体的操作过程是这样的：竞赛平台通过自身配备的红外发射管发送三组已经编码调制完成的脉冲串信号（0x00,0xFF,0x0C,0xF3）、（0x00,0xFF,0x18,0xE7）、（0x00,0xFF,0x5E,0xA1）即可使智能路灯在当前光强挡位的基础上分别提升一档、二档和三档，如果当前光强挡位与需要提升的挡位两者之和超过 4 挡的话则减去 4 即为智能路灯最终切换到的挡位。

负责切换智能路灯光强挡位的三组脉冲串信号各由四个字节数据组成，在红外通信工作过程中首先应编程控制红外发送控制电路中的 32 单片机根据不同的切换要求通过红外信号发送管脚发送其中一组字节数据，这一功能由函数 void Infrared_Send(u8 *s,int n) 来实现。该函数包含的程序部分对应的流程图如图 3 所示。调用该函数之前需要首先定义三个数组分别存放三组脉冲串信号各自包含的 4 个字节数据，两个形参 *s 和 n 在函数调用时将分别被某个放置脉冲串信号的数组名称和数组长度所代替。

由前文可知，为保证解码过程简单方便，编码时应直接将待发送代码转换为其反码。因此该函数在执行过程中发送“0”、“1”数字信号时均以其反码形式进行发送。

红外发送控制电路中的 32 单片机输出的编码数据与 555 定时器产生的 38KHz 的脉冲信号进行相与从而完成红外信号的调制工作，调制之后得到的间断脉冲串信号由红外发射管负责发送。这个过程前文已有详细说明，不再赘述。

智能路灯红外接收端接收到红外信号之后首先对信号进行调理，红外接收控制电路中的单片机读取调理之后的红外信号并对其进行解码，最终根据信号的具体要求完成智能路灯的挡位切换工作。

4 结语

红外通信技术特别适合于嵌入式系统低成本、跨平台、点对点高速数据连接，主要应用在设备互联、信息网关等领域。红外通信技术是在世界范围内被广泛使用的一种无线连接技术，被众多的硬件和软件平台所支持。