

# 基于FSAC远程遥控急停系统设计

陈鑫, 黄孝慈, 赵海鑫, 倪晨伟

上海工程技术大学机械与汽车工程学院, 上海

收稿日期: 2024年3月17日; 录用日期: 2024年4月21日; 发布日期: 2024年4月30日

## 摘要

赛车是一项极其危险的运动, 大赛规定每一辆赛车都要有一套安全系统, 包括一个远程遥控急停装置, 其主要功能为在紧急情况下控制车辆及时制动。本文设计并实现了一套基于LoRa通信技术的远程遥控急停系统, 系统由遥控端和接收端组成。通过调查和查阅文献得知, 现有的车辆远程遥控急停系统存在连接不稳定和延迟较高的问题。本文旨在解决遥控系统连接不稳定和延迟较高的问题。并且还具备手动调频, 自动跳频, 以及数据帧内容校验, 提高了系统的抗干扰性能。经实验表明: 系统可实现的通信距离在1.55 KM, 且通信延时在220 ms以内。系统在无人车测试远程制动等场景中具有广泛的应用前景。

## 关键词

远程遥控系统, 嵌入式软件开发, 无线通信系统

# Design of Remote Control Emergency Stop System Based on FSAC

Xin Chen, Xiaoci Huang, Haixin Zhao, Chenwei Ni

School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Mar. 17<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Racing is an extremely dangerous sport. The competition stipulates that every racing car should have a set of safety system, including a remote control emergency stop device, whose main function is to control the vehicle to brake in time in an emergency. In this paper, a remote control emergency stop system based on LoRa communication technology is designed and implemented, which is composed of remote control terminal and receiving terminal. Through investigation and literature review, it is known that the existing vehicle remote control emergency stop system has

the problems of unstable connection and high delay. This paper aims to solve the problems of unstable connection and high delay of remote control system. It also has manual frequency modulation, automatic frequency hopping and data frame content verification, which improves the anti-interference performance of the system. Experiments show that the communication distance of the system is 1.55 KM, and the communication delay is less than 220 ms. The system has a wide application prospect in unmanned vehicle testing remote braking and other scenarios.

## Keywords

Remote Control System, Embedded Software Development, Wireless Communication Systems

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 绪论

### 1.1. 课题背景和意义

随着“无人汽车”发展战略的提出，国内外无人汽车相关产业的发展突飞猛进，无人汽车自然是未来汽车发展的主要方向之一。由于赛车是一项极其危险的运动，无人方程式赛车又要求赛车需要具备“无人驾驶”相关要求，所以大赛规定每一辆赛车都要有一套安全系统，来保证整车行驶运行安全，安全系统中包括一个远程遥控急停装置(简称为 RES)，其主要功能为在紧急情况下控制车辆及时制动。

### 1.2. 本文研究内容

本文研究设计了一个远程无人遥控急停系统，目的是为了当无人驾驶车辆发生故障时可以远程使车辆刹车并停止。本文的主要目的是为了解决现有的车辆远程遥控急停系统存在延迟较高和连接不稳定的问题。对于延迟较高的问题，推测原因是因为当一端发送无线信息时，另一端正在处理其它的任务，从而错过了最佳的接收信息并回信的时机。对于连接不稳定的问题，具体体现是即使遥控端和接收端面进行连接，也会出现连接失败的问题，则可能是无线通信应用层协议的连接机制存在 BUG。

本文的创新点为基于信号量机制，将其与按键触发中断结合使用，同时保留了系统的任务实时性并增加对突发事件的及时响应，解决了高延迟的问题，将 FreeRTOS [1]应用于 STM32F103 级别的芯片，将该芯片的性能发挥极致。还创新地采用 TCP 全连接思想，将连接 - 确认机制应用于该系统的无线通信上，解决了硬件无故障状态的连接不成功现象，增高了连接成功率和连接的稳定可靠性。

## 2. 系统设计与验证

### 2.1. 基于信号量的通知机制

该远程遥控急停系统采用 STM32 系列芯片，使用 CUBEIDE 进行程序设计和代码编写，无线协议为 LoRa 频段[2] [3]，见图 1。为解决延迟较高的问题，考虑使用 FreeRTOS 小型嵌入式操作系统，使得每个功能之间有较为合理的执行时间和重要功能的及时响应。对于该系统的程序，需要进行逻辑梳理和任务拆分。本文着重介绍急停任务的信号量通知机制实现。

当急停按钮被按下时，该系统应该立即响应，发出急停 CAN 信号并闭合继电器来断开车辆低压电路。

经过分析可以知道, 如果将按键扫描作为一个单独的任务由系统调度, 则可能出现按键触发响应不及时的情况, 原因是但是按键扫描的动作并不会一直被触发, 虽然按键扫描任务的优先级是最高的, 其它任务虽然不会抢占急停任务的运行, 但是在 FreeRTOS 运行的时间中, 如果在其它任务运行的一小个时间片中按键被按下, 就会出现响应不及时的情况。

以上便是现存的远程遥控急停系统出现延迟过高问题的可能性之一, 对此我们使用 STM32 的中断和 FreeRTOS 的信号量机制来通知急停任务做出最快的反应[4]。为了实现信号量通知机制, 急停按钮被接到 STM32 的一个外部中断引脚, 当按键被按下后触发中断响应程序, 在中断响应程序中会释放一个信号量。急停任务中则一直等待信号量, 作为最高优先级的任务被挂起在等待队列, 一旦由中断程序抛出了信号量, 该改进的急停任务会因为得到信号量立马进入运行队列执行急停动作, 并将已经运行的队列挂起在就绪队列。

组网方式	传输距离	最大节点数	可调频段
LoRa 通信	5km	2000	470-510MHz
蓝牙通信	0.2km	8	不支持
Wi-Fi	0.1km	256	不支持

Figure 1. Communication mode comparison chart  
图 1. 通信方式对比图

## 2.2. 基于连接确认的连接协议

该系统中使用到的通信协议规定主要指无线信号传输过程的协议[5]。首先, STM32 与 LoRa 模块通过串口协议进行通信, STM32 向 LoRa 模块发送的数据将通过无线信号发送相同的报文内容[6]。由于该系统对连接的双方的可靠连接, 必须确认双方的在线情况, 因为一旦双方中的任意一方因故障失去连接都需要马上触发急停动作来保障安全, 所以需要一种可靠的通信协议。对此, 我们选择灵活引用 TCP 协议的全连接思想, 配合改进的数据校验方式组成该系统的通信协议, 该协议规定了无线信号通信的应用层通信协议。

为确保连接的可靠准确性, 我们采用三次握手机制来确保连接的过程, 见图 2, 第一次握手由遥控端发起握手信号: SYN 信号为 1, 并随机生成一个 seq 信号值  $n$ , ACK 确认信号为 0; 第二次握手由接收端发起: 由标志位 SYN = 1 知道遥控端请求建立连接, 接收端将标志位 SYN 和 ACK (确认)都置为 1,  $ack = n + 1$ , 随机产生一个值  $seq = y$ , 并将该数据包发送给发送端以确认连接请求, 接收端接认定为接收成功。第三次握手在遥控端接收到确认后, 检查 ack 确认信号是否为  $x + 1$ , ACK 是否为 1, 如果正确则将标志位 ACK 置为 1,  $ack = y + 1$ , 并将该数据包发送给接收端, 接收端检查 ack 是否为  $y + 1$ , ACK 是否为 1, 如果正确则连接建立成功, 遥控端和接收端认为建立连接成功, 完成三次握手, 遥控端和接收端之间可以开始传输数据了。

规定帧内容的帧头和帧尾, 完善的通信协议规定有利于增加数据正确性。由于该远程遥控急停系统对安全性要求比较高, 选用循环冗余校验法(CRC), 考虑到更加方便地进行字节流处理以及避免大小端模式可能造成的数据混乱, 使用 CRC-8 校验法, 校验位的位置为帧尾的前一个字节。中间使用五位无符号字符型的内容作为数据位, 数据位决定帧报文的内容传达的意义。

通过定义有效的数据包格式和通信流程, 降低了通信开销, 提高系统性能。这样的连接确认机制, 使得遥控端和接收端可以稳定的进行连接, 解决了无硬件故障下的偶然性连接失败情况。

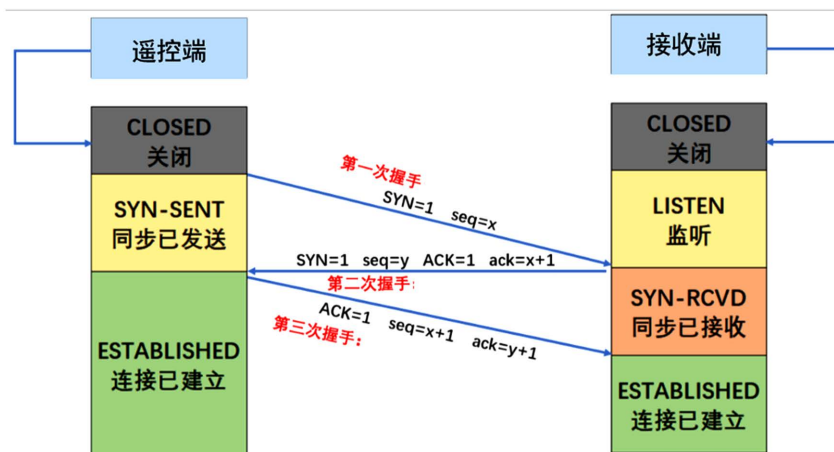


Figure 2. Handshake communication diagram  
图 2. 握手通信简图

### 2.3. 系统验证

对该远程遥控急停系统的功能验证有以下主要内容的验证。1、无线通信距离验证。验证远程遥控急停系统的无线通信距离以及极限无线通信距离。2、验证在正常通信距离下，遥控端的急停按钮从按下到接收端接收到信号并开始动作的时间。3、超长时间工作性的验证。

无线通信距离验证。通过在开阔地方的距离测试，得出极限距离下的无线通信距离为 1.55 KM。在一千米开阔地方进行通信质量验证，得出结论为每 10,000 帧会有 2 帧错误帧，数据内容不匹配，以及 3 帧发送失败的数据帧。通信质量的帧错误率符合  $3\sigma$  准测。所购买的急停系统通信距离仅在 1.1 KM 左右，且连接偶发性出现失败现象。

响应时间验证，通过多次按下急停按钮，并同时计时直到遥控端的继电器响应的的时间，对这些得到的时间值求平均值，得到平均响应时间约为 170 ms，且最大不超过 200 ms，这个时间值符合 FSAC 赛事规程的要求时间值。而购买的急停系统响应时间在 500 MS 左右。

超长时间工作极限性能测试。将遥控端和接收端的锂电池暂时改成由学生电源供电以保证长时供电。让系统处于常联状态下进行持续性工作，不定期的按下急停按钮和启动按钮来检测系统是否死机。经过测试可以得出结论，该远程遥控急停系统可以持续稳定地工作 78 小时左右，但是在经过 24 小时左右的持续工作状态下，其芯片温度达到一个较高的值。在此基础上对该远程遥控急停系统增加散热装置，尝试将其温度稳定在 70 摄氏度以下，再进行长时工作测试，在经过一周的持续工作下仍未有异常状况。实验结果表明：在无散热下 78 小时工作时间满足需求。

## 3. 总结与展望

### 工作展望

基于 LoRa 的远程遥控急停系统在进行改进后，可以实现 1.55 KM 距离的无线通信，控制车辆进行紧急制动，且延迟仅在 220 MS 左右，并且持续工作时间可以达到 78 小时以上。通过结合 FreeRTOS 的信号量机制和按键中断程序，达到以信号量通知中断的及时响应策略，同时也保留了 FreeRTOS 实时任务调度。创新的采用 TCP 协议的全连接思想，将连接确认机制应用于系统的无线通信上，实现了稳定可靠的连接方式，为现存的远程遥控急停系统连接不稳定和延迟较高的问题，本文的方案提供了一种解决思路。

## 致 谢

首先要感谢这个项目的指导老师黄孝慈，在完成本篇论文的过程中，我深感荣幸能够有您这样杰出的导师。在您的悉心指导下，我不仅获得了学术上的丰硕成果，更受益匪浅地学到了为人处事的智慧。感谢您始终给予我的支持和鼓励，让我能够克服困难，不断进步。

同时，特别感谢倪晨伟同学在资料收集方面的辛勤工作。您的勤奋与细致为研究提供了丰富的信息资源，为论文的深入分析奠定了基础。感谢您对团队的付出和支持，使我们能够更全面地理解研究课题。

然后衷心感谢赵海鑫同学在硬件电路设计方面的卓越贡献。您的专业知识和对工程实践的深刻理解为我们的研究提供了坚实的技术支持。在您的帮助下，我们成功克服了诸多技术难题，使项目取得了令人瞩目的成果。

最后，感谢所有参与本研究的同学和团队成员。大家共同的努力和合作使得这项研究取得了圆满成功。在这个过程中，我们相互学习，共同成长，为团队的团结和协作精神而感到骄傲。

## 基金项目

上海市大学生创新创业训练项目(项目编号: cs2301015)。

## 参考文献

- [1] 蒲泽坤, 沈勇, 陈旅超. FreeRTOS 线程执行时间统计方法设计与应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2023, 23(8): 46-49.
- [2] 汪衍凯. 基于 LoRa 无线传感网络的大型室内空间智能照明控制系统[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2023.
- [3] 孙建鹏. 基于 LoRa 无线网络通信技术的输电杆塔倾斜监测系统设计与[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2023.
- [4] 马若飞, 牛栋, 杨柳. 一种基于射频路由的电子对抗系统嵌入式软件框架设计[J]. 火控雷达技术, 2023, 52(2): 33-40. <https://doi.org/10.19472/j.cnki.1008-8652.2023.02.006>
- [5] 吴良顺, 张斌, 应忍冬. 实时响应的嵌入式系统虚拟化微内核架构[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(7): 219-221+239. <https://doi.org/10.14016/j.cnki.1001-9227.2023.07.219>
- [6] 高飞, 刘吉, 武锦辉, 等. 基于 LoRa 的远程多路起爆系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2023, 42(6): 79-85. <https://doi.org/10.19652/j.cnki.femt.2304885>