

# 便携式 CIR 检测装置研究

王永刚

中国铁路北京局集团有限公司唐山电务段, 中国·河北唐山 063000

**摘要:** 论文通过对当前机车综合无线通信设备功能、使用场景深入分析, 提出实现高效、便捷、安全、稳定、易维护、低成本的机车综合无线通信设备应急故障处理过程中的检测需求, 并给出装置的系统设计方案。论文介绍了该装置的无线电台通信子系统、GSM-R (铁路数字移动通信系统: GSM-Railway) 通信子系统、GNSS (Global Navigation Satellite System) 定位子系统、控制子系统和人机交互子系统的硬件、软件设计方案。

**关键词:** 机车综合无线通信设备; CIR 检测装置; QT; linux; 嵌入式; MVC 架构; ORM 框架

## Research on Portable CIR Detection Device

Yonggang Wang

Tangshan Signal and Communication Section of China Railway Beijing Group Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063000, China

**Abstract:** Through in-depth analysis of the functions and usage scenarios of current locomotive comprehensive wireless communication equipment, this paper proposes the detection requirements for achieving efficient, convenient, safe, stable, easy to maintain, and low-cost emergency fault handling of locomotive comprehensive wireless communication equipment, and provides a system design scheme for the installation. The paper introduces the hardware and software design schemes of the wireless radio communication subsystem, GSM-R (Railway Digital Mobile Communication System: GSM Railway) communication subsystem, GNSS (Global Navigation Satellite System) positioning subsystem, control subsystem, and human-machine interaction subsystem of the device.

**Keywords:** locomotive comprehensive wireless communication equipment; CIR detection device; QT; linux; embedded system; MVC architecture; ORM framework

## 1 概述

近年来中国轨道交通呈现爆炸式发展, 以高铁为首的长途铁路轨道交通, 截至 2023 年底营业里程已经达到 4.5 万公里, 而覆盖城区短途交通的城市轨道交通也已经超过 1 万公里, 居世界第一。机车综合无线通信设备 (CIR) 则是专用于列车上提供通信服务的设备。为适应轨道交通新的发展需求, CIR 经过多年的技术发展, 已经全面进入小型化的、集成化、系统化、自动化、智能化和高效化时代。对 CIR 的性能、状态的及时检测、验收与维护是机车综合无线通信设备正常工作的安全保障, 便携式 CIR 检测装置则是为实现这些保障而研发的专用设备。为解决 CIR 在应急故障处置过程中的检测需求, 便携式 CIR 检测装置需要具备如下特点。

便携性: 易携带, 可做到随时随地进行检测。

通用性: 兼容所有设备, 做到一机检测所有。

高效性: 通过自动化, 智能化, 集成化, 使用简易从而达到高效性, 提升检测效率。

稳定性: 装置本身维护简易化, 从而减少维护成本和维护专业性要求。

## 2 系统需求及分析

机车综合无线通信设备 (CIR) 负责列车、车站、调度

中心三者之间和列车及列尾二者之间的通信功能, 以保证列车安全行驶。调度命令信息由调度中心或车站将路票、调车作业等各种调命令发送到列车上, 实现对列车的调度。报警信息是指列车防护报警、列车接近预警等, 它们的传输是通过 800MHz 无线电台组成的网络完成。同时, 在列车尾部部署有设备用于收集列尾的风压、电压等信息和风压控制功能, 列尾设备与列车头部署的 CIR 也是通过 800MHz 电台组成的无线网络进行传输。除上述数据业务外, 还支持 450MHz 无线网和 GSM-R 无线网两种方式的语音呼叫和通话业务。CIR 是一个支持多种无线网接入, 提供多种数据、语音业务传输的综合无线通信系统设备, 由于其的复杂性和重要性, 对其各项功能进行检测也将会是一项重要且艰巨的工作 (见图 1)。

## 3 系统方案设计

对 CIR 的功能、应用场景和检测需求分析后可以总结便携式 CIR 检测装置的主要功能, 为更好地实现上述多项复杂功能, 在进行系统设计时, 我们以分层的方式来进行。如图 2 所示总共将系统分为交互层、服务层、抽象层以及物理 & 数据链路层。

交互层定义为与用户直接沟通的相关内容, 将以触摸

屏实现显示和输入，以减少输入设备使得在获得优秀的可视化显示下最小化装置，提升其便携性。服务层定义作为所有检测功能应用实现，重点需要特别考虑其运行的效率和健壮性，以实现高度集成之后具有优秀的运行效率和稳定性。抽象层完成物理 & 数据链路层各模块的到服务层之间的连

接，将下层各模块进行抽象提供统一，简洁的接口供服务层调用。物理 & 数据链路层为系统提供与 CIR 的 GSM-R 网，450MHz 电台网，800MHz 电台网三个网无线网络接入的通信能力，还需要为上层提供强大的运算、显示、音频处理及通用接口等硬件能力。

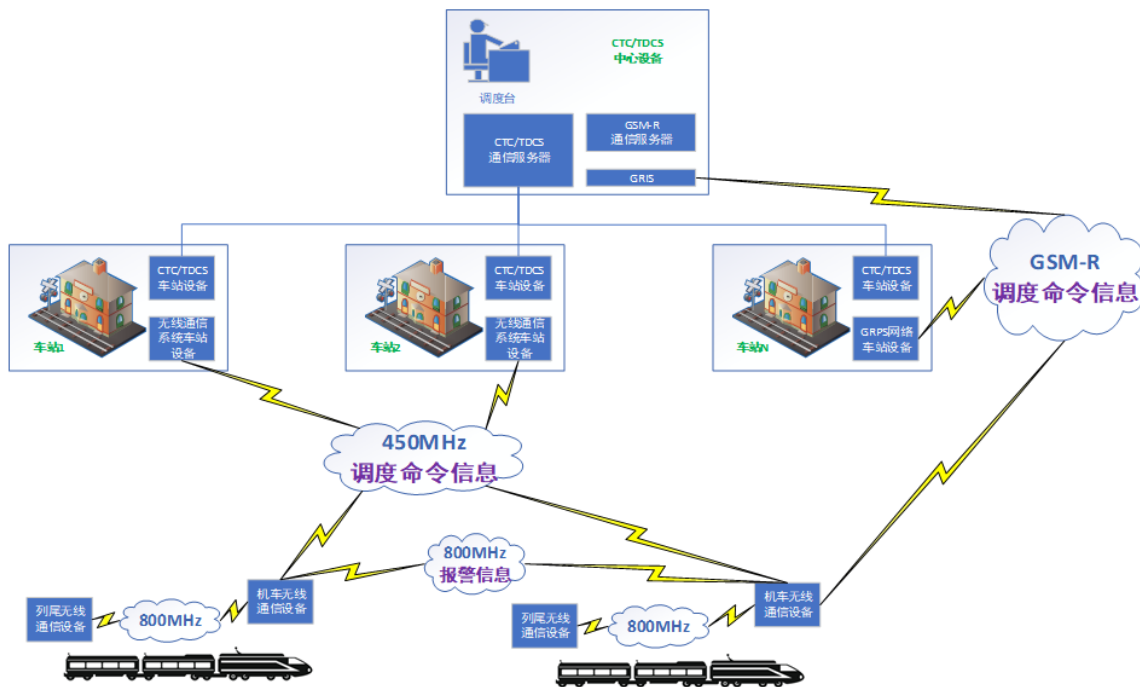


图 1 CIR 主要应用场景

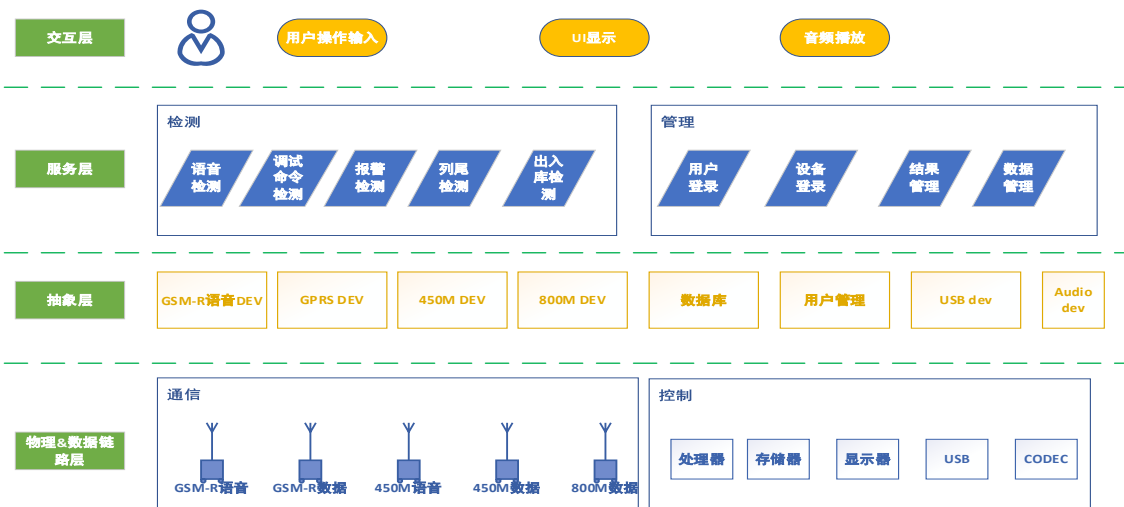
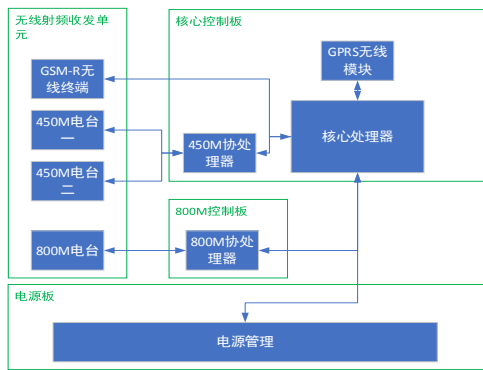


图 2 系统分层

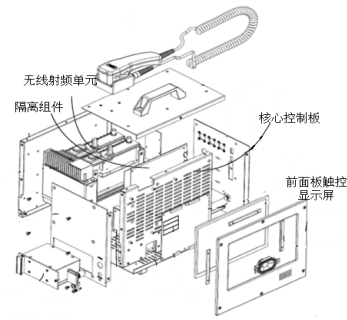
### 4 硬件与结构设计

这部分设计主要体现在物理 & 数据链路层，在设计时须以集中化、小型化为核心目标，同时考虑各单元相互干扰问题。本层由核心控制板、800MHz 控制板，电源板三块独立的硬件板组成。主要的控制均集成到了核心控制板上，该控制板需要具备强大的计算处理能力，硬件方案上选择以全

志工控级处理器的 A40i 为核心的控制平台。在结构上通过隔离组件将装置分为两个独立的腔体空间，分别为前面板与隔离组件之间形成的腔体为低频的控制腔体，核心控制板放置在此空间内；后面板与隔离组件之间为高频的无线射频腔体，各电台，无线终端放置在此空间内。两腔体之间通过预留在隔离组件上的过线孔，进行信号传输（见图 3）。



硬件板示意框图



隔离设计结构示意图

图 3 示意框图

### 5 软件设计

系统的软件由两协处理器和核心处理器组成。其中，协处理器主要是完成电台收、发控制和数据的数据链路层处理这些实时性要求在 10us 级的处理，其他所有的功能均在核心板软件中完成时限（见图 4）。



图 4 软件组成框图

#### 5.1 协处理器软件设计

450M 和 800M 协处理器软件功能基本一致，只是处理器平台不一样，主要差异在平台驱动不同，因此对该部分

的软件设计合并一起介绍。软件主要实现的功能为收到核心板的发送任务，将数据进行 FEC 编码，FSK 调制后通过 DAC 转换成模拟信号交由电台射频单元进行载波调制后发送和反向处理的接收过程，以及对服务于语音业务亚音频的处理。为保证调制信号的准确性，发（收）采用了 DMA 精准控制 DAC（ADC）的方式来完成，以保证其数模之间互换的频率准确性。结合功能和实时性要求软件未加入系统，采用前后台架构开发，主循环任务处理实时性要求不高的事件，后台中断为 10us 一次的高实时性任务，该任务用于实时完成采集数据的解调和解码运算（见图 5）。

#### 5.2 基于 MVC 架构的应用程序设计

应用程序被分成了装置抽象，服务、交互三部分。各通信单元设备是在设备抽象进行统一封装使其对服务层提供统一的接口（见图 6）。

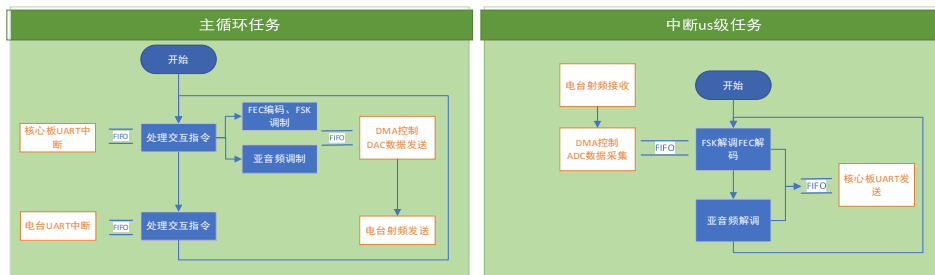


图 5 协处理器软件框架

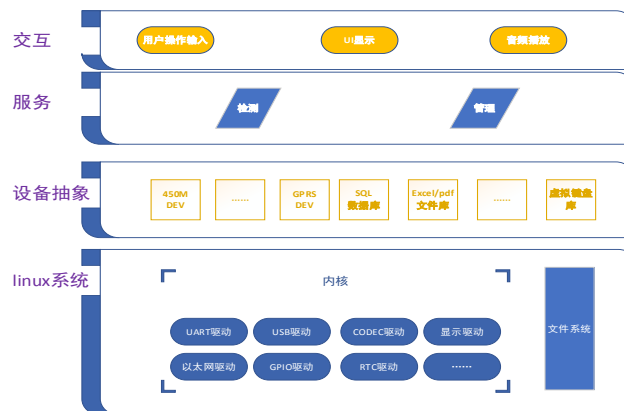


图 6 核心板软件框架

所有的检测功能实现均在服务，因此服务与交互两部分的信息存在着大量的信息传递。引入 MVC 模型架构，即将程序分为模型（Model）、视图（View）和代理（Delegate，也称为控制 controller）三部分，各部分通过明确的接口相互通信，共同协作完成应用程序的功能（见图 7）。

模型（Model）：负责应用程序的数据管理和业务逻辑。将处理的结果与数据库关联起来，同数据库通信并为架构中的其他部分提供接口。

视图（View）：负责应用程序数据的显示。为用户可视化 UI 部分，不处理业务逻辑。

代理（Delegate）：负责接收和处理用户通过视图提供的操作界面进行的操作输入，并作出响应。并在模型与视图之间起到桥梁作用，管理二者之间的通信。

### 5.3 基于 ORM 框架的数据库设计

便携式 CIR 检测装置小型化，集成化的设计需求要求数据库方案也有同样的要求。具备轻量级、无需配置、跨平台、SQL 支持、可扩散、无服务器等众多嵌入式特性的

SQLite 是一个优异的解决方案。SQLite 实现了一个自包含的无服务器、零配置、事务性的 SQL 数据库引擎。SQLite 的代码在公共领域，因此可以免费用于任何目的，无论是商业目的还是私人目的。

对数据库进行增、删、改、查时加入 ORM 框架来完成。ORM（Object-Relational Mapping，对象关系映射）框架是一种软件技术，用于将数据库的数据映射到对象上，使得开发者可以使用面向对象的方式来处理数据库操作，而无需直接编写 SQL 语句。ORM 框架的主要目标是简化数据库编程，提高代码的可读性和可维护性，同时也减少了数据库平台依赖性（见图 8）。

如图 8 所示，通过 ORM 框架将类 BeanMapper 的机车号（locomotiveNum）、通道类型（channels）等所有属性和增、删、查等行为与数据库的数据关联起来。模型（Model）只需要采用面向对象的方式，使用类 BeanMapper 的属性和行为即可完成对数据库的所有操作，从而使得这部分功能设计变得简单、易懂、易用降低开发的复杂度。

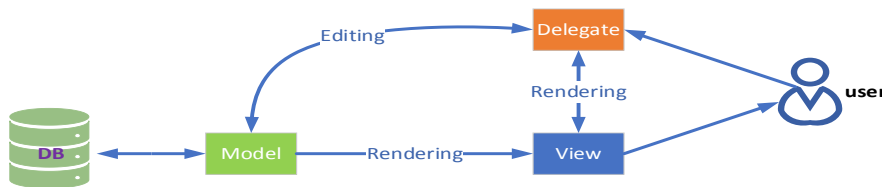


图 7 MVC 架构示意图

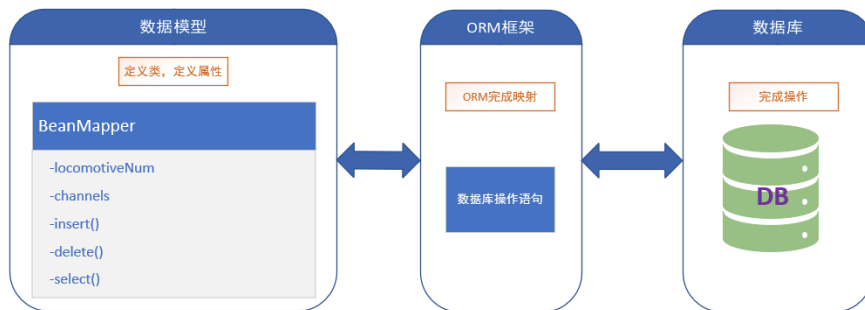


图 8 ORM 框架示意图

## 6 结语

便携 CIR 检测装置通过简明的分层系统方案设计，高度集成化、小型化、充分解决抗干的硬件、结构联合设计使得其真正做到了手提式的便携运用。同时，得益于 MVC、ORM 架构的软件设计技术，使得因高度集成后软件功能庞大、软件设计难度高、运行效率高等难点迎刃而解。最终使得便携 CIR 检测装置具备便携性、通用性、高效性、稳定性的优点，极大的解决了 CIR 全面进入小型化的、集成化、系统化、自动化、智能化、高效化时代发展的新需求与检测效率、便捷性不足的矛盾冲突。便携 CIR 检测装置还降低了对操作，维护人员的技术要求。为 CIR 提供高效、

优质、可靠的应急故障处置过程中的检测服务，从而保证 CIR 正常工作，确保列车的安全、正常、高效运行。

### 参考文献：

- [1] QCR651.1-2018 机车综合无线通信设备第1部分:技术条件[S]. 中铁总公司,2018.
- [2] TBT 3231-2010 GSM-R数字移动通信系统应用业务调度命令信息无线传送系统[S].铁道部,2010.
- [3] GBT 28792-2012 列车无线调度通信系统技术条件[S].国家质量监督检验检疫总局/国家标准化委员会,2012.

基金项目：中国铁路北京局集团公司科研课题（项目编号：2024BD03）。