

WIFI-6应用于CBTC系统冗余性及可靠性研究

赵祝樑 吴 阳

上海电气泰雷兹交通自动化系统有限公司 上海 201206

摘 要: 信号系统的通信制式大都采用了802.11标准中WLAN的解决方案。而随着国家的发展, WLAN的商用化越来越普及, CBTC系统的无线部分面临着民用无线干扰、频谱资源有限等一系列挑战, 对CBTC系统的冗余性和可靠性带来影响。本文介绍了WLAN中的WIFI-6技术在2.4GHz和5.8GHz两个频段无线网络架构下, 对信号系统网络的冗余性及可靠性分析, 并给出从轨道交通DCS设计、调试及改造等方面的合理应用建议。

关键字: CBTC; WIFI-6; 冗余性; 可靠性

Research on the redundancy and reliability of CBTC system with WIFI-6

ZHAO Zhuliang WuYang

Shanghai Electric Thales Traffic Automation System Co., LTD Shanghai 201206

Abstract: The communication system of the signal system mostly adopts the WLAN solution in the 802.11 standard. With the development of the country and the increasing commercialization of WLAN, the wireless part of the CBTC system is facing a series of challenges such as civil wireless interference and limited spectrum resources, which have an impact on the redundancy and reliability of the CBTC system. This article introduces the WIFI-6 technology in WLAN and analyzes the redundancy and reliability of the signal system network under the wireless network architecture of the 2.4GHz and 5.8GHz frequency bands. It also provides reasonable application suggestions for rail transit DCS design, debugging, and transformation.

Key words: CBTC; WIFI-6; Redundancy; reliability

CBTC系统中列车在固定线路上运行, 通过TAG进行定位, 列车与轨旁设备则通过无线网络实现双向通信, 轨旁及中央设备给列车发出指令, 从而提高列车在区间的运行效率, 提高运能。

CBTC系统由联锁子系统、列车控制子系统、ATS子系统、以及数据通信子系统等组成。其中数据通信子系统是一个相对独立的子系统, 他负责将各个子系统的端到端传输, 以保证CBTC系统整体的高安全性和高可靠性。

随着无线网络的发展, 轨道交通周边的无线环境越来越复杂, 对传统2.4GHz单频段的无线设备造成一定干扰, 也发生过乘客携带的2.4GHz移动设备导致车地通信被阻塞情况。所以使用双频的WIFI-6技术更为适合复杂的无线环境。

1 WIFI-6 应用于 CBTC 系统的冗余性

1.1 有线网络硬件冗余

硬件设备冗余是整个WIFI-6通信系统冗余的基础。如硬件冗余在信号系统中, 往往需要做到设备级的冗余。如轨旁和车载的2×2冗余方式。这些冗余方式的应用使整套系统在保证单个设备高可靠性的基础上又增强了可用性。而

WIFI-6作为数据传输终端到终端的通道, 其冗余性也极为重要, 需要保证某个设备单点故障不会导致系统不可用, 所以在终端硬件上也需要实现冗余。

1.1.1 控制中心硬件冗余

在CBTC线路中, 控制中心的设备包含了列车控制调度, 与外部接口及信号工区设备维护的功能。DCS网络最核心的设备都位于控制中心, 关键的核心设备也都被放置在控制中心内。而这些设备发送的信息都将通过中央核心服务器进行处理并传送到各个终端上。

控制中心冗余设备如下:

AC双机热备: 在中央新增2台AC无线控制器。无线网络控制器用于轨旁无线设备和车载无线设备的集中管理控制。基于模块化、高兼容性、可扩展的硬件构架, 提供WLAN接入管理、控制能力、网络健康诊断能力。相较于2.4GHz无线设备, 无线设备状态可视化以及运维便利性进一步提升。

中央核心服务器及工作站双机热备: 中央核心服务器, 在硬件上配置了2台热备冗余的服务器, 每台服务器都配置冗余电源, 硬盘也采用了Raid的冗余模式, 保证单块硬盘故

障不会导致服务器数据丢失。而工作站则采用热备的方式，并通过网卡teaming的方式实现网络的冗余。

数据通信骨干网：数据通信骨干网主要由WIFI-6骨干网、ATP骨干网和ATS骨干网组成。每个骨干网通过环形结构连接，任一网络发生故障，均不会影响数据正常。

信号系统与第三方外部系统接口也采用冗余的通道，并通过冗余的防火墙与信号系统通信。

1.1.2 车载硬件冗余

当前主流的CBTC车载构架为2×2002安全计算机。车载无线通信设备将为车载VOBC和经由无线接入点传输的轨旁ATC子系统提供不间断的双向传输通信。

车载网络分为车头网络和车尾网络，两个网络互不相通，可避免出现一个网络故障导致两个车载网络同时出现故障的可能性。安装在车头和车尾车载无线通信设备分别为两个车载网络提供车地无线通信。为防止单一频点被干扰，故需要使用2个不同的频段（2.4GHz和5.8GHz）来保证任一车载无线设备或车载网络设备的单点故障均不影响车地无线通信。

1.1.3 轨旁硬件冗余

轨旁的WIFI-6 AP将采用星型方式与轨旁的AP汇聚交换机相连。相较于环型的AP环连接方式，其优势在于没有环网风暴导致的故障场景。

通信层面普遍采用网络IP化构架，采用网卡Teaming及应用层Active-Standby等冗余技术，配合冗余的本地接入网及骨干网，能有效克服信号设备及网络的单点故障。

1.2 WIFI-6无线网络冗余

WIFI-6 AP沿线路安装，大约每200m一个。实际距离要取决于详细线路测量所确定的地形、隧道结构、地方标准及天线类型等。每个AP无线装置通过单模光缆连接至轨旁汇聚交换机。AP天线的布置方法需同时考虑直线区间及轨道弯道情况，以及长站间距离。轨旁AP的覆盖原则为相邻的AP需要覆盖列车运行2个方向，并且每个AP的信号覆盖范围需要覆盖到左右2相邻的2个AP。这种重叠覆盖保证了轨旁无线信号的冗余，如果一个AP或者隔一个AP交替发生故障，都能确保连续的无线覆盖。

2 WIFI-6 应用于 CBTC 系统的可靠性

在WIFI-6应用于CBTC系统时，需充分考虑其可靠性。本章主要针对这一特定场景进行可靠性分析，重点分析其区别于常规硬件可靠性之处，包括其数据协议及加密的可靠性，WIFI-6数据传输的可靠性，车地无线通信的可靠性。最后根据无线WIFI-6应用于CBTC的实际情况进行了可靠性指标分析。

2.1 数据协议及加密的可靠性

2.1.1 IPSec信息安全加密协议

IPSec的全称是互联网安全协议，通过对IP协议的分组进行加密和认证来保护IP协议的网络传输协议簇，是适合开

放网络一个协议。

IPSec的数据包封装步骤如下：

- 1、在原IP报文最后添加IPSec信息。
- 2、将数据包连同尾部信息进行合并，并进行加密。
- 3、将得到的加密数据添加ESP数据包包头。
- 4、将ESP 数据包包头和加密数据进行合并，做一个摘要算法，得到一个度量值，将这个值添加到ESP报文的尾部。这样就得到了一个完整的ESP数据报文。

在CBTC网络中，加密设备被部署在无线接口处，轨旁和列车的通信端口设置加密设备，并在控制中心设置数字证书服务器，给所有加密设备发放证书，从而来保证在网络中传输的数据报文的完整性、保密性。

如图1所示，图中绿色标注为安全的子系统。灰色标注的是乘客或者非安全人员可能接触到的区域，故认为这些区域为非安全区域。加密设备部署在与无线系统接口的边界位置，用于加密车地之间的CBTC业务数据，保护CBTC业务的完整性以及保密性。

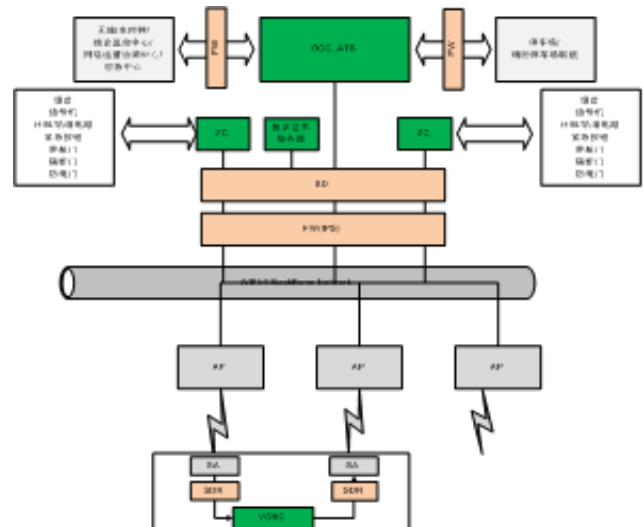


图1 CBTC系统通信架构示意图

2.1.2 应用层通信协议

有2种通信安全协议的标准定义定义在了铁路信号标准中：RSSP-I协议和RSSP-II协议，其中RSSP-II协议广泛运用于无线移动闭塞的外围系统接口间，而RSSP-I协议广泛运用在铁路列控中心的外围系统接口间。

下表为这三种通信协议的对比表：

对比项目	RSSP-I	RSSP-II
身份识别内容	隐含在时间戳内	通过消息识别
冗余取舍技术	共用一个序列号	分别使用不同的序列号
序列号与时戳之间的关系	必须同步	可以异步
安全码	CRC64	MAC
传输层	UDP、TCP、RS-422	TCP
适用环境	适用于封闭传输	适用于开放传输
性能	1ms	10ms
交互过程	可单向有效	双向对等
交互要求	基于周期交互	可基于非周期
缓存要求	无	无

WIFI-6应用于CBTC系统时,建议应用层遵循RSSP-I协议标准,应用数据通过通过IPsec加密,无线传输时使用WIFI-6无线加密,从而充分确保CBTC业务数据的安全可靠。

2.2 WIFI-6无线链路切换机制的可靠性

对于WIFI-6的无线链路切换机制,为了保证CBTC列车无线通信单元的“无缝”切换,切换机制做了如下优化:

- 无线通信单元配置两条无线链路,分别关联到不同的轨旁AP上
- 无线通信单元通过切换策略,主动选择“最优”无线链路作为传输通道,实现软切换
- 无线通信单元两条无线链路,选择一条链路作为主用链路,承载业务传输,另一条为备用链路
- 无线通信单元当主链路质量到达软切门限,触发软切换流程,业务转移到备用链路承载,主备链路角色互换
- 由于轨旁AP为线性布放,且两个AP重叠覆盖,两条链路质量交替变化,主用链路到达切换门限时,备用链路质量优于主用链路
- 假如某种异常,无线通信单元只有一条无线链路,软切不成功,当主用链路质量到达硬切门限执行硬切换

故若是普通PC/Phone终端无线切换,无线切换时延约1.5s,优化后配置优化后切换时延约130-300ms,通信中断=切换延时+地面交换机端终端MAC口漂移时延。

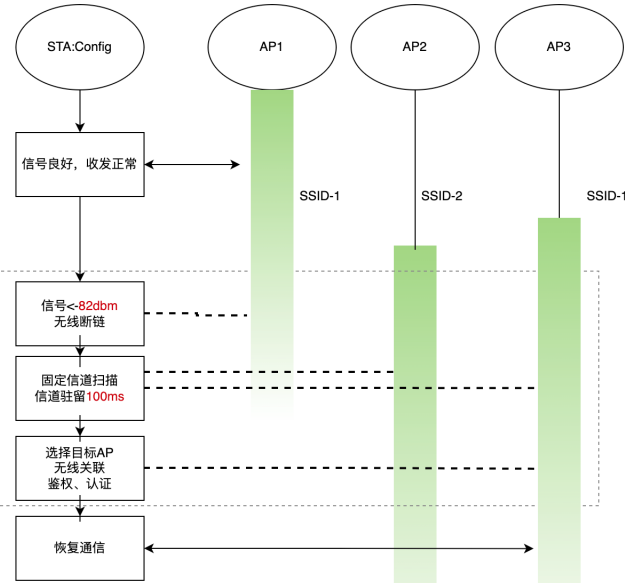


图2 优化后WIFI-6切换机制

3 可靠性指标分析

WIFI-6应用于CBTC系统中,需考虑CBTC实际的应用情况,并且根据现场使用设备情况,来计算可靠性指标。如下列举了可靠性指标中参数的含义与计算说明:

MTBF:平均故障间隔时间,一般可以通过一百万小时除以相应的故障率计算而得;对于信号系统,若故障不影响运营,此故障将在停运后处理,一般按照18小时为单位。

可用性可以通过如下公式计算而得,其中MTTR为平均故障修复时间,对于信号系统通常按照0.5小时进行考虑(不考虑路上的时间)

$$MTBF_{1002}(T) = \frac{(MTBF)^2}{T}$$
 可用性 = $\frac{MTBSAF}{MTBSAF + MTTR} \times 100\%$

实际无线WIFI-6应用于CBTC系统时,一般为A/B双网架构,图3描述了双网WIFI-6通道的可靠性框图:

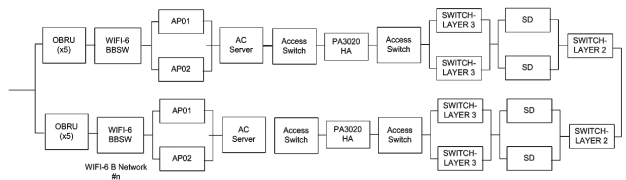


图3 双网WIFI-6可靠性框图

按照9个控区考虑,计算可得:

DESCRIPTION	UNIT QTY	UNIT SAF (fpmh)	SAF	COMMENTS
描述	单位数量	单位故障率	(fpmh)	注释
WIFI-6双网通道	2	2.86472	0.00148	9个控区
DCS骨干网SAF	1	0.03501	0.03501	
DCS总故障率			0.03649	fpmh
MTBSAF			27404768.4	小时
可用性			100.00%	

其中可用性的计算步骤如下:

可用性 = $\frac{MTBSAF}{MTBSAF + MTTR} \times 100\% = \frac{27404768.4297}{27404768.4297 + 0.5} \times 100\% = 99.999998\%$

在TD-LTE-M规范中,对无线TD-LTE的可用性要求为不低于99.99%,根据如上计算可知:WIFI-6大于LTE-M的可用性,完全满足车地无线通信的要求。

4 展望与结束语

从当前中国轨道交通行业的发展趋势来看,冗余性与可靠性是保障运营的重要基础,通过对WIFI-6技术情况,做了冗余性和可靠性的研究分析;结果说明WIFI-6满足CBTC对冗余性及可靠性的要求,若配合今后运营商5G网络共同使用,将会对无线通信的冗余性和可靠性更高。

参考文献

[1]谢凡. 城市轨道交通CBTC系统的数据传输子系统的研究[D].北京交通大学,2007.
[2]杨明. CBTC系统中安全通信协议的设计与仿真研究[D].浙江大学,2012.
[3]孙志浩. CBTC系统安全通信协议的研究[D].西南交通大学,2014.
[4]王志骏. CBTC数据通信系统冗余性与可靠性研究[D].同济大学,2015.