

一种无线闭塞中心处理有条件紧急消息的安全方法

屈永正, 刘振玉, 宋 岩

(湖南中车时代通信信号有限公司 北京分公司, 北京 100070)

摘 要: CTCS-3 和 ETCS-2 都是基于无线通信系统、实现车-地信息双向传输的列车控制系统。作为 CTCS-3 级或 ETCS-2 级列车控制系统的地面控制中心, 在无线通信受到干扰时, 无线闭塞中心 (RBC) 若未收到列车对有条件紧急消息 (CEM) 的确认, 则会重复发送有条件紧急消息。这样, 一旦列车转入不处理有条件紧急消息的模式, 将与列车的交互进入死锁状态, 无法继续正常控制列车运行。文章通过对产生此问题的原因进行分析, 提出一种特定消息应答机制和普通应答机制相结合的 CEM 确认方法, 从而避免 RBC 进入死锁状态。仿真实验表明, 该方法可解决现有 CTCS-3 系统无法退出 CEM 处理流程的问题。

关键词: 无线闭塞中心; 有条件紧急消息; 行车许可; CTCS-3 系统; ETCS-2 系统; 列车控制系统

中图分类号: U284

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2020)06-0090-05

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2020.06.016

A Safety Method of Conditional Emergency Message Processing for Radio Block Center

QU Yongzheng, LIU Zhenyu, SONG Yan

(Beijing Branch, Hunan CRRC Times Signal & Communication Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: Both CTCS-3 and ETCS-2, the train control systems are based on wireless communication system to realize bidirectional transmission between the train and the radio block center. As the ground control center of CTCS-3 and ETCS-2 level train control system, if wireless communication is disturbed, RBC does not receive the acknowledgement of the conditional emergency message, and RBC will repeatedly send the conditional emergency message. Once the train turns into the mode of “not handing CEM”, RBC and the train will enter the deadlock status, and RBC cannot continue to control the train normally. By analyzing the causes of this problem, this paper proposed a CEM confirmation method combining specific message response mechanism and common response mechanism, so as to avoid RBC entering deadlock status. Simulation results show that this method can solve the defect that existing CTCS-3 cannot exit CEM processing flow.

Keywords: radio block center; conditional emergency message; movement authority; CTCS-3; ETCS-2; train control system

0 引言

无线闭塞中心 (radio block center, RBC) 作为 CTCS-3/ETCS-2 级列车控制系统 (简称“列控系统”) 的地面控制中心, 通过无线网络 (GSM-R) 与列车进行双向数据交互。由于交互频率较慢 (周期配置值一般为 6 s), 加之无线通信的传输延迟, RBC 收到的列车位置与列车实际的位置不一致。当地面计算机联

锁设备 (computer based interlocking, CBI) 报告列车前方进路 / 闭塞分区被占用时, RBC 无法判断该占用是否是由于进路 / 闭塞分区后方列车正常驶入所导致。为解决这一问题, 欧洲列车控制系统 (European train control system, ETCS) 规范^[1-2]定义了有条件紧急消息 (conditional emergency message, CEM), 它包含了指定的停车位置。一旦 RBC 判断列车前方进路 / 闭塞分区被占用, 便向列车发送 CEM, 由列车根据自身位置进行判断: 如果列车已越过 CEM 所指定的停车位置, 说明前方进路 / 闭塞分区的占用是由该列车的驶入而导致的, 列车则拒绝该 CEM 并继续遵照已收到的行车

收稿日期: 2020-01-20

作者简介: 屈永正 (1981—), 男, 硕士, 工程师, 从事 ETCS 列控系统无线闭塞中心研发工作。

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFB1200602)

许可行车；反之，说明列车前方存在异常占用情况，列车须在 CEM 指定的停车位置前停车。在 ETCS-2 级列控系统中，RBC 与列车之间的消息交互采用应答机制，包括普通应答和特定应答两种方式。普通应答是指 RBC 通过设置发送消息中确认标识（M_ACK）字段的取值，告知列车收到此消息后是否需应答。如需应答，列车则回复确认消息（M146）进行应答。特定应答是指列车收到某条消息后通过 ETCS 规范中定义的特定消息进行应答。CEM 的应答方式属于特定应答，即列车通过紧急消息确认消息（M147）对收到的 CEM 进行应答，从而保证了车地双方对 CEM 处理的一致性。但是，由于 RBC 与列车之间采用无线通信方式，当无线通信受到干扰时，RBC 无法收到 CEM 的应答消息 M147，此时会出现车地对 CEM 处理不一致的情况。即 RBC 认为列车未收到 CEM，继续重复发送 CEM；而列车认为已经回复过消息 M147，即便收到 CEM 也不再回复应答消息，RBC 与列车进入死锁状态，RBC 不能继续正常控制该列车。

CTCS-3 作为我国最先进的列控系统，是 ETCS-2 列控系统的中国本地化实现，其关于 CEM 的定义和使用完全依据 ETCS 规范^[2]，所以对 CEM 的处理同样也存在上述问题。本文通过对 RBC 与列车进入死锁状态的原因进行分析，提出一种 RBC 处理 CEM 的安全方法。该方法采用特定消息应答机制和普通应答机制相结合的 CEM 确认方式，不仅适合 ETCS-2 列控系统，而且还能解决现有 CTCS-3 列控系统 CEM 处理中的问题。

1 CEM 产生的场景

由于列车位置报告的延时，当 CBI 报告列车前方进路 / 轨道区段 / 闭塞分区被占用时，RBC 无法判断该占用是否是由后方列车正常驶入所导致，此时 RBC 需向列车发送 CEM，以确认列车是否进入该进路 / 轨道区段 / 闭塞分区。本文从前方进路、轨道区段及闭塞分区被占用 3 种情况来分析 CEM 产生的场景。

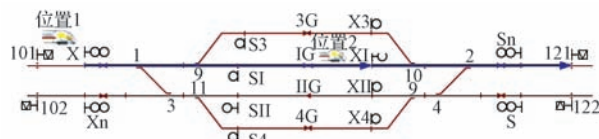
1.1 进路为“正在通过”

列车前方紧邻进路状态由“正常 / 引导 / 调车”变为“正在通过”时，由于列车位置信息更新较慢，此时 RBC 不确定列车是否驶入前方进路，所以需向列车发送 CEM。如图 1 所示，其中位置 1 表示列车在进路外方，位置 2 表示列车驶入进路：

（1）列车位置 1。列车未驶入进路，CBI 办理接车进路 $X \rightarrow S1$ 和发车进路 $XI \rightarrow Sn$ ，CBI 向 RBC 发送

“ $X \rightarrow X3$ 和 $XI \rightarrow Sn$ 进路状态为正常”信息；RBC 向列车发送的授权持续到轨道区段 121 的终点。

（2）列车位置 2。列车驶入股道 IG，CBI 向 RBC 发送“ $XI \rightarrow Sn$ 进路状态为正在通过”信息；RBC 需向列车发送 CEM，CEM 所示的停车点为股道 IG 的终点。



(5) SB 模式

若列车报告 SB（待机）模式，此时列车需关闭驾驶台，并会主动进入注销流程，所以 RBC 收到此模式的位置报告后注销列车，故不存在问题。

(6) SR 模式

若列车报告 SR（越行）模式，根据 ETCS 规范 4.8.4 节，在 SR 模式下，列车不处理 CEM，收到后直接丢弃，不向 RBC 回复 M147。这就造成 RBC 一直重复发送 CEM，列车虽一直发送位置信息却无法收到 RBC 发送的行车许可。只有无线断开 RBC，删除列车连接，列车重新建立无线连接并注册成功后，RBC 才能向列车发送行车许可。可见，该模式存在 RBC 与列车进入死锁状态、RBC 不能继续正常控制列车的问题。

2.3 CTCS-3 异常分析

在 RBC 未收到 M147 且列车接受 CEM 时，CTCS-3 对 CEM 的处理方法存在缺陷。根据 CTCS-3 规范^[3]，列车共有 9 种模式，分别是 SB, SH, FS, OS, CO, SL, TR, PT 和 IS。

若列车报告 FS/CO（引导）/TR/PT 模式，RBC 若未收到 M147，则会继续发送 CEM；列车收到 CEM 后，会回复 M147，直至 RBC 收到 M147 进行 CEM 的正常处理流程，不存在异常问题。

若列车报告 IS/SH/SL 模式，RBC 注销列车（因为这 3 种模式是隔离、休眠、调车，所以 RBC 可以注销列车），故不存在问题。

若列车报告 SB（待机）模式，分析同上，不存在问题。

若列车报告 OS（目视）模式，根据 CTCS-3 规范^[3] 4.6.4 节中表 11（根据模式接受信息），在 OS 模式下，列车不处理 CEM 消息，又据 CTCS-3 级列控系统无线闭塞中心技术规范^[4] 第 5.10.4 节：若 RBC 向车载设备重复发送“紧急停车”消息过程中收到车载设备处于冒进（TR）或冒后（PT）模式的消息，则 RBC 应停止发送紧急消息。由此可见，在重复发送紧急消息过程中，列车模式转入 OS 模式，RBC 则继续重复发送紧急消息。所以，当 RBC 向列车发送 CEM 时，一旦由于司机选择越行而进入 OS 模式，RBC 将重复发送 CEM，列车收到后直接丢弃且一直发送位置信息；RBC 收到列车的位置信息后继续重发 CEM，列车与 RBC 之间将进入死锁状态。只有在列车与 RBC 间无线连接断开、RBC 删除列车连接、列车重新建立无线连接并注册成功后，RBC 方可继续控制该列车，但这将

影响控车效率。

3 安全处理方法

据上分析，CEM 被重复发送，该问题的关键在于：RBC 丢失 M147 后，列车一旦转入 SR 或 OS 模式（ETCS-2 级列控系统中 SR 模式对应 CTCS-3 级列控系统 OS 模式^[5]），列车将不再处理 CEM，RBC 也无法得知列车是否收到 CEM。为使 RBC 知道列车是否收到 CEM，在采用特定应答（M147）的同时，还采用普通应答机制，即将 CEM 的确认标识 M_ACK 设置为 1^[6]。此时即便列车不处理 CEM，当其收到 CEM 后也会回复 M146；RBC 收到 M146，认为列车已收到 CEM，则进入 CEM 的撤销流程，最终退出 CEM 的处理。因此，CEM 安全处理应遵照以下 4 条原则，处理流程如图 5 所示。

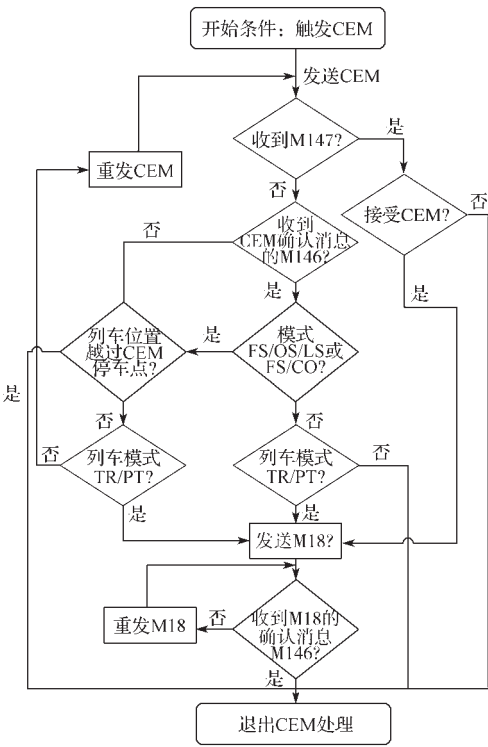


图 5 CEM 安全处理方法

Fig. 5 Safe handling method of CEM

(1) RBC 收到 M147，若列车接受 CEM，则进入 CEM 撤销流程；若列车拒绝 CEM，则删除 CEM，继续向列车发送行车许可。

(2) RBC 收到 CEM 的 M146 但未收到 M147，则根据此后列车位置报告中的模式进行处理。如果列车报告的模式非 FS/OS/LS/TR/PT（CTCS-3 系统中 FS/CO/TR/PT 模式），则直接清除 CEM，退出 CEM 的处理流程；如果列车报告的模式为 FS/OS/LS（CTCS-3 系统中 FS/CO 模式），则继续重发 CEM；如果列车报告的模式为

TR/PT，则发送 M18 进入 CEM 撤销处理流程。

（3）如果未进入 CEM 撤销处理流程且列车的位置已越过 CEM 终点，而列车报告的模式是 TR/PT，则删除 CEM，继续发送行车许可；否则，进入 CEM 撤销处理流程。

（4）如果收到 M147，则不再处理 CEM 的确认消息 M146。

根据 CTCS-3 级列控系统无线报文定义及运用原则^[7]，CEM 的 M_ACK 设置为 0，即不要求列车对 CEM 进行确认。如果采用本文的安全处理方法，将 CEM 的 M_ACK 设置为 1 即可解决 CTCS-3 级列控系统中 CEM 处理的问题。

4 结语

本文通过对 ETCS-2/CTCS-3 列控系统对 CEM 处理异常情况的分析，提出一种 RBC 处理 CEM 的安全方法，即在原有 M147 作为 CEM 应答的同时，设置 CEM 的 M_ACK 为 1，要求列车必须对收到的 CEM 进行 M146 消息确认。针对产生 CEM 的各种场景，编写大量的测试用例，在仿真环境中对本方法进行了验证，全部通过。因此，利用该方法可解决无线干扰丢包时，RBC 因丢失 M147 而无法判定列车是否收到

CEM，进而造成列车与 RBC 对 CEM 处理不一致产生的死锁问题。

参考文献：

[1] ERA UNISIG EEIG ERTMS USERS GROUP.ERTMS/ETCS Requirements Specification: Subset-026 V3.6.0[S]. [S.l.]: European Rail Traffic Management System,2016[2019-12-12].https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-2-ets-b3-mr1-gsm-r-b1.

[2] ERA UNISIG EEIG ERTMS USERS GROUP.ERTMS/ETCS Requirements Specification: Subset-026 V2.3.0[S]. [S.l.]:European Rail Traffic Management System,2008[2019-12-12].https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-1-ets-b2-gsm-r-b1.

[3] 国家铁路局 . CTCS-3 级列车运行控制系统系统需求规范 [M]. 北京 : 中国铁道出版社 , 2016.

[4] 北京全路通信信号研究设计院有限公司 . 无线闭塞中心技术规范 : TB/T 3330-2015[S]. 北京 : 中国铁道出版社 , 2015.

[5] 程剑锋, 胡裕祥, 马铁刚 .CTCS-3 级与 ETCS-2 级列控系统控车模式差异性分析 [J]. 铁道通信信号, 2003, 46(6): 13-16.

[6] 屈永正 . 一种针对地面有条件紧急消息的安全处理方法 : CN201811140179.5[P]. 2018-09-28.

[7] 北京全路通信信号研究设计院有限公司 . CTCS-3 级列控系统无线报文定义及运用原则 :O/TXY 29-2013[S]. 北京 : 北京全路通信信号研究设计院有限公司 , 2013.



“智能运维技术及其应用” 专刊征稿启事

运维是保障系统稳定运行的重要手段。当前主流运维技术已从自动化运维向智能运维方向发展，利用人工智能和大数据等技术，自动地从海量运维数据中学习、总结规则并作出决策，来辅助甚至部分替代人工决策，从而进一步提升运维质量和效率。

为更好地报道智能运维技术在轨道交通、新能源等领域的现状及其发展前景，《控制与信息技术》期刊拟在 2021 年下半年推出“智能运维技术及其应用”专刊，内容涉及智能分析决策、基于物联网的运维数据平台、大数据实时处理技术、云计算、人工智能、智能诊断管理系统、全生命周期成本分析研究等。现诚挚邀请相关技术领域的专家、学者及工程技术人员投稿（http://ctet.csrzic.com）。来稿请注明“智能运维专刊投稿”，投稿截止日期为 2021 年 5 月 31 日。欢迎大家踊跃投稿！