

基于 CPN 的切换模式下行车许可生成过程研究

张爱玲¹, 徐智², 宗岩³, 康健¹

(1. 兰州交通大学 自动化与电气工程学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 兰州铁路局 电务段, 甘肃 兰州 730070;

3. 兰州交通大学 电子与信息工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:文中针对高铁列控行车许可存在的规范化设计问题,根据 CTCS-3 级列控系统 RBC 行车许可的生成机制,设计了一种基于 Petri 网理论的行车许可生成的模型,并运用 CPN-Tools 仿真工具动态仿真了 CTCS-3 级列控系统下的 RBC 切换模式的行车许可生成过程,观察相邻 RBC 交接时列车运行过程中的通信机制及信息传输,最后通过分析模型的一些性能验证了该模型的正确性。为行车许可模块的设计提供一种规范的正确的软件设计方法,减少软件开发过程中存在的一些缺陷,使列车运行更安全更可靠。

关键词:CTCS-3 级;行车许可;RBC 交接;CPN 建模

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)04-0157-04

Research on Generation of Train Movement Authority in Scene of Handover Mode Based on CPN

ZHANG Ai-ling¹, XU Zhi², ZONG Yan³, KANG Jian¹

(1. School of Automation and Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;

2. Lanzhou Railway Administration, Lanzhou 730070, China;

3. School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract:In this paper, design a model of generation of movement authority based on Petri net, aiming at the question existing at standardized design of movement authority in high-speed train control system and according to mechanism of generation process of movement authority in CTCS-3 control system. Finally using CPN tools simulates the process of movement authority under the RBC handover mode, which is one of the CTCS-3 train control system's operational scenes. Observe operation process of communication mechanism and message transmission through simulation. Finally verify the correctness of the principle movement authority generation by analyzing its performance. This for the movement authority module provides a standardized method of software design and reduce some defects which exists at software development process, so that the train operation is safer and more reliable.

Key words:CTCS-3 system; movement authority; RBC handover; CPN modeling

0 引言

近年来,我国铁路得到了不断的发展,提高列车运行速度的同时,也对列车运行的效率和安全性要求更高,尤其是近年来列车事故的不断发生,使得我们更加需要不断研制出更可靠更安全的列控系统。它作为我国铁路技术体系和现代化装备的重要组成部分,是保证高速列车安全、可靠、高效的核心技术之一。近

年来,在我国不断创新,引进国外新技术消化吸收的情况下,研发出了具有适合中国特色的列控系统,但是根据我国铁路的基本国情,列控系统仍然需要不断完善与研究,必须对列控系统的规范进行形式化分析和验证,为系统设计和实现打下更好的基础^[1]。

行车许可(Movement Authority)描述了列车在 CTCS-3 级区域内运行,并在运营条件正常的情况下,列车获得运行的凭证^[2]。它包括一些区段信息,为列车的运行提供安全可靠的依据。文中以 Petri 网为理论依据,以 CPN Tools 为仿真平台,建立具有符合规范性的 MA 生成过程模型,仿真分析模型的合理性,验证模型的正确性^[3]。

收稿日期:2011-08-26;修回日期:2011-11-28

基金项目:铁道部重点项目(2009X001-B)

作者简介:张爱玲(1985-),女,甘肃白银人,硕士,主要研究方向为交通信息工程及控制。

1 行车许可的生成过程

行车许可 (Movement Authority) 的生成过程共分为五个阶段^[4]:

第一阶段是列车串路径,列车在运行之前,对要行驶的路径区段进行排序,当列车运行时,搜索路径上的各类静态和动态信息,并且周期更新,为计算 MA 做准备。

第二阶段是列车定位,列车搜索最近相关应答器组的位置,计算车头与车尾距最近相关应答器组的偏移量,根据偏移量进行模糊定位列车所处的位置,以便给 RBC 发送列车位置报告。

第三阶段是更新路径。RBC 在形成行车许可之前,为了满足行车许可实时性的要求,保证行车许可的准确性符合故障安全原则,必须不断更新来自其它一些设备及数据库的信息并进行相应处理,例如:来自联锁的路径信息,列控中心的区间占用信息,临时限速服务器的临时限速信息、车载的列车位置报告、列车参数等,为 MA 的计算提供实时性依据。

第四阶段是 MA 生成阶段,当列车当前所处的区段为占用状态时,依据路径信息和数据库信息判断列车所处的运营场景,根据不同的场景选择不同的 MA 计算流程。

第五阶段是 MA 的发送阶段,当前周期发送 MA 后,RBC 需要车载回复确认信息,证明有被确认的 EOA (End of Authority),下一周期计算 MA 并未发送时,会产生新的没有确认的 EOA,依据已被确认和未被确认的 EOA 位置的相对关系,来判断是否发送 MA 或者 CEM (Conditional Emergency Stop)。

2 着色 Petri 网

Petri 网建模方法是形式化建模方法的一种,是一种系统的、数学和图形的描述和分析工具^[5]。它不仅具有吸引人的图形化和直观表示,而且具有形式化的数学定义,具有良好定义的语义和语法^[6]。既可以描述系统的静态结构,又可以描述系统的动态行为。并以其模型的直观图形表示和方便的模型分析能力在线路设计、网络协会、软件工程、人工智能、形式语义、操作系统等诸多领域获得广泛应用^[7]。近年来,国内开始重视列控系统规范的研究,形式化的需求规范描述在铁路方面的应用也越来越多,利用该建模方法来增强对系统的理解,验证研究模型的合理性、需求与现实之间的一致性^[8]。

3 基于 Petri 网的形式化建模

CPN 仿真工具是基于 Petri 网理论开发出一款

较成熟的 Petri 网工具,通过仿真可以观察各状态之间的转换和信息交互过程^[9],文中采用自上而下的设计思路,首先对行车许可的整个生成过程建立一个全面的顶层模型,通过顶层模型可以简化整个网络;其次,利用顶层网络中的替代变迁,将其关联到其它子模型中。

3.1 顶层模型

图 1 为行车许可生成过程的顶层模型。通过顶层模型,可以直观地看到行车许可生成的信息交互过程,图中的是替代变迁,指变迁发生时指向它的内部模型的处理过程,在替代变迁所代替的子网中,可以将模型细化,添加详细的过程完成内部功能^[10]。顶层模型中共有四个替代变迁,主要描述了基于功能需求的四个主要子模块,该模型从初始状态 Start 开始,给定一个初始触发值“LRBG is effective”,使模型能够运行。当相关应答器有效时,才能进行串路径,串路径成功后,当 RBC 接收到线路信息、区段信息等后,计算列车车尾、车头距最近应答器组的偏移量,通过偏移量的计算可以定位列车所处的位置,列车根据定位信息,判断列车当前所处的运营场景,处于正常运行状态、RBC 交接状态、等级转换状态还是临时限速状态,当列车处于不同的运营场景时,根据不同的状态进入不同场景下的 MA 计算流程。文中仅对这些不同场景中的一个场景,即相邻两个 RBC 交接情况下的 MA 生成过程进行分析建模,计算 MA 后,判断发送条件是否满足,当成功发送后,列车收到 MA,根据 MA 进行安全控车,列车循环进入下一个 MA 计算流程。

3.2 RBC 切换时 MA 的计算模型

相邻 RBC 交接时,为实现列车在两个 RBC 之间安全交接控车,需要分析相邻 RBC 之间的信息交互过程。混合 MA 的计算是顶层模型的其中一个替代变迁 (Computer MixMA),详细地描述了相邻两个 RBC 切换时的 MA 计算流程及动态过程。表 1、表 2 为图 1 和图 2 运行仿真图中的库所及变迁说明,模型仿真运行如图 2 所示。

表 1 库所说明

库所	说明
Start	模型初态
Train Path	列车串路径
Train Location	列车定位
Meet Conditions	满足发送条件
RBC1	移交 RBC
RBC2	接管 RBC
Train	列车

当列车在移交 RBC (RBC1) 管辖范围内运行时,列车正常地接收来自移交 RBC 计算并发送的 MA,进

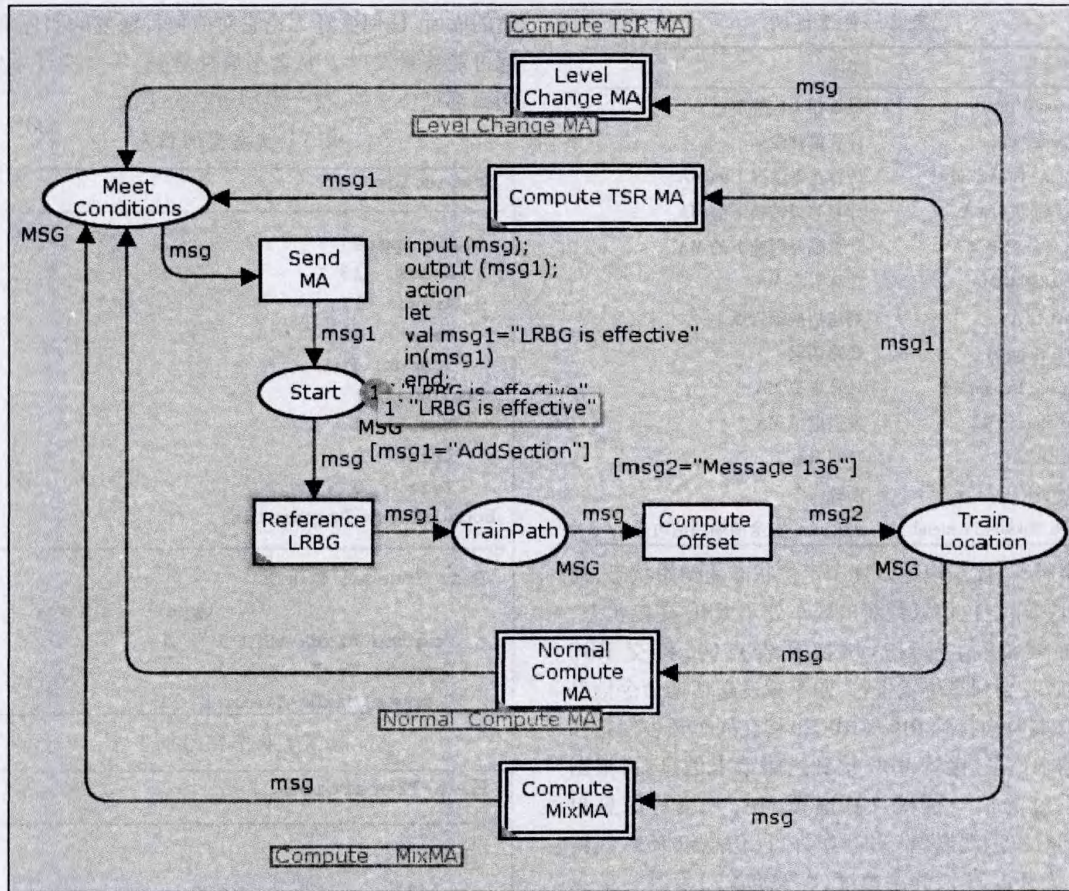


图1 行车许可生成过程的顶层模型

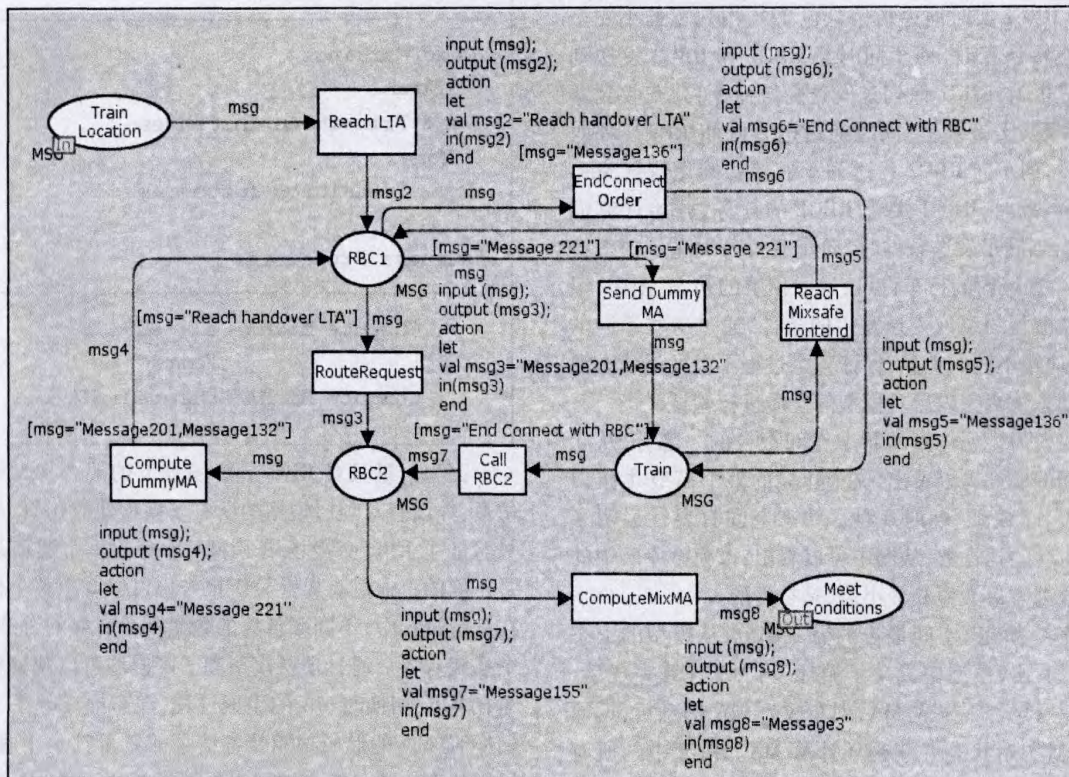


图2 混合 MA 计算的模型仿真运行图

表 2 变迁说明

变迁	说明
Reference LRBC	最近相关应答器组
Compute Offset	计算偏移量
Compute Normal MA	计算正常情况下的 MA
Level Change MA	计算等级转换下的 MA
Computer TSR MA	计算临时限速下的 MA
Compute MixMA	计算混合 MA
Reach LTA	到达切换预告点
Route Request	线路请求
Compute DummyMA	计算虚拟 MA
Send DummyMA	发送虚拟 MA
Call RBC2	呼叫 RBC2
EndConnect Order	断链命令
Reach Mixsafe Frontend	列车最小安全前端到达边界

行正常控车,该子模型以列车定位状态为初始状态,列车根据列车定位信息判断出列车处于 RBC 交接状态,列车继续前行,当到达切换预告点时,移交 RBC (RBC1)收到列车位置报告,向车载发送切换命令信息包 131,同时向接管 RBC (RBC2)移交列车预告信息和进路请求信息,接管 RBC 接到进路请求信息后,根据联锁系统的信号授权计算虚拟 MA,并填写信息包 221,同时发送虚拟 MA 和行车许可(信息包 15)、线路坡道(信息包 21)、静态速度(信息包 27)及其它信息许可附加信息包,当 RBC2 管辖范围内的进路发生变化时,RBC2 实时地更新信息包 221,当列车最小安全端到达转换点时,列车同时给 RBC1 和 RBC2 发送列车位置报告,RBC1 像列车发送断链命令,列车收到断链命令后,实施断链,同时通过电台呼叫 RBC2,呼叫成功后,列车向 RBC2 发送列车通信初始化信息 Message155,此时,RBC2 接管 RBC1 的任务,开始计算混合 MA,当满足发送条件时,向车载设备发送延伸至接管 RBC 区域内的行车许可,返回顶层的初态,图中,根据切换流程约束该变迁发生的条件,通过这些不同的条件,应答不同的消息,保证整个过程不会发生状态混乱。动态仿真完以后对模型的性质进行验证^[11]。

表 3 为模型仿真的状态空间报告的一部分,从状态空间的统计可以看出,文中建立的整个模型共有 13 个节点,17 条弧,耗时 0 秒。状态空间有界性说明了库所包含的托肯数,从图中可以看出,该模型库所中的标识数都有最大值和最小值,是有界的。

表 4 为状态空间报告的另一部分,从模型的家态性可以看出,模型中设计了循环,当 MA 计算完成后,满足一定条件下发送 MA,列车收到 MA 信息后,返回初态,从初始状态继续循环计算 MA。模型中的所有变迁都具有活性,没有死锁、死标识,证明模型中的每个状态都能够达到。所有变迁都具有活性,对所有可

达的库所,任何变迁无论它对应何种激发的颜色集,它都可能被激发^[12]。从公平属性看到,各个变迁发生的频率都是公平的,整个模型也是公平的。

表 3 状态空间信息

Statistics..		

State Space..		
Nodes:	13..	
Arcs:	17..	
Secs:	0..	
Status:	Full..	
Scc Graph..		
Nodes:	1..	
Arcs:	0..	
Secs:	0..	
Boundedness Properties..		

Best Integer Bounds..		
	Upper	Lower..
Compute_MixMA'RBC1 1	1	0..
Compute_MixMA'RBC2 1	1	0..
Compute_MixMA'Train 1	1	0..

表 4 状态空间报告

Home Properties..	

Home Markings..	
All..	
Liveness Properties..	

Dead Markings..	
None..	
Dead Transition Instances..	
None..	
Live Transition Instances..	
All..	
Fairness Properties..	

Compute_MixMA'Call_RBC2 1..	
Fair..	
Compute_MixMA'ComputeMixMA 1..	
Fair..	

因为这里只对 RBC 交接场景下的混合 MA 进行仿真,并没有对顶层模型的所有子模型建立仿真,所以只验证了 RBC 交接场景下 MA 计算的整个通信过程是正确的。通过有界性分析报告也可以看出整个模型在运行过程中,不同颜色集的数量都是有界的,证明整个系统有界。通过顶层模型和子网模型可以观察到列车在 RBC 切换时 MA 的生成过程,动态地反映了 RBC 切换时,MA 的形成功能及各信息的流量都是正确的。运用状态空间分析方法看出系统运行每一步时的状态

- [10] Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 第 2 版. 北京:电子工业出版社,2007.
- [11] Hong Z Q. Algebraic feature extraction of image for recognition[J]. Pattern Recognition, 1991, 24(3):211-219.
- [12] Hu M. Visual pattern recognition by moment invariant[J]. IRE Transactions on Information Theory, 1962(8):179-187.
- [13] 潘 泉,程咏梅,杜亚娟,等. 离散不变矩算法及其在目标识别中的应用[J]. 电子与信息学报,2001,23(1):30-34.
- [14] Miao Z. Zernike moment-based image shape analysis and its application[J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21(2):169-177.
- [15] Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Texture features for image classification[J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1973, 8(6):610-621.
- [16] Tamura H, Mori S, Yamawaki T. Texture features corresponding to visual perception[J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1978, 8(6):460-473.
- [17] Rosenfeld A, Thurston M. Edge and curve detection for visual scene analysis[J]. IEEE Transactions on Computer, 1971, 20(5):512-519.
- [18] 李弼程,郭志刚,文 超. 图像的多层次模糊增强与边缘检测[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(4):77-83.
- [19] Klema V C, Laub A J. The singular value decomposition: its computation and some applications[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1980, 25(2):164-176.
- [20] Laine A, Fan J. Texture classification by wavelet packet signatures[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(11):1186-1191.
- [21] Pittner S, Kamarthi S V. Feature extraction from wavelet coefficients for pattern recognition tasks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(1):83-88.
- [22] Arivazhagan S, Ganesan L. Texture classification using wavelet transform[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(9-10):1513-1521.
- [23] Sengur A, Turkoglu I, Ince M C. Wavelet packet neural networks for texture classification[J]. Expert Systems with Applications, 2007, 32(2):527-533.
- [24] Jr D M. The role of optics in applying correlation function to pattern recognition[J]. J Opt Soc Am, 1962, 52:454-459.
- [25] Pal S K. Fuzzy image processing and recognition: uncertainty handling and applications[J]. International Journal of Image Graphics, 2001, 1(2):169-195.
- [26] Pal S K, Shankar B U, Mitra P. Granular computing, rough entropy and object extraction[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(16):2509-2517.
- [27] Li C, Huang J Y, Chen C M. Soft computing approach to feature extraction[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2004, 147(1):119-140.
- [28] 边肇祺,张学工. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.

(上接第 160 页)

都符合设计的要求,模型中的各状态都能达到。

4 结束语

文中对 CTCS-3 级列控系统 RBC 行车许可的生成过程进行研究,并对其中的一个运营场景 RBC 切换模式下 MA 的计算进行形式化建模,利用 CPN 仿真工具进行动态仿真,观察列车在运行过程中的信息交互过程,验证了 MA 计算流程的正确性,满足了设计的要求及功能需求,实现了需求与设计之间的一致性,进一步为设计人员提供了理论依据,对列控系统的开发具有一定意义,使列控系统更安全更可靠。

参考文献:

- [1] 唐 涛,徐田华,赵 林. 列车运行系统规范建模与验证[M]. 北京:中国铁道出版社,2010.
- [2] 张曙光. CTCS-3 级列控系统总体方案[M]. 北京:中国铁道出版社,2009.
- [3] 王雪辉,魏 臻. 基于时间 Petri 网的企业铁路作业系统模型的研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(2):92-102.
- [4] 耿 鹏. 基于安全状态机的 RBC 系统行车许可模块的建模与验证[D]. 北京:北京交通大学,2009.
- [5] 梁 楠,王海峰. 基于 SPN 的 CTCS-3 级列控系统 RBC 实时性能分析[J]. 铁道学报, 2011, 33(2):67-71.
- [6] 上官伟,蔡伯根,王 艳,等. 基于 UML 与 CPN 的 CTCS-3 级列控系统建模与验证方法研究[J]. 铁道通信信号, 2010, 46(5):6-11.
- [7] 王亚菊,吴江娇. CTCS-3 级列控系统 RBC 切换过程分析[J]. 铁道通信信号, 2010, 46(4):12-16.
- [8] Fanti M P, Gina A, Seatzu C. Monitor design for colored Petri nets—an application to deadlock prevention in railway networks[J]. Control Engineering Practice, 2006, 14(4):1-30.
- [9] Giua A, Seatzu C. Liveness enforcing supervisors for railway networks using ES2PR Petri nets[C]//Workshop on Discrete Event Systems. Zaragoza, Spain: [s. n.], 2002:361-366.
- [10] Zaitsev D A, Shmeleva T R. A Parametric Colored Petri Net Model of a Switched Network[J]. Network and System Sciences, 2011, 4(3):65-76.
- [11] 刘林钢,姜 浩. 基于时间约束 Petri 网的一致性验证算法[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(1):58-62.
- [12] 曹 源,牛 儒,唐 涛,等. 基于 SPN 的越区切换模型分析[J]. 铁道学报, 2009, 31(4):104-107.