

文章编号:1671-1637(2014)02-0090-07

## 基于 DSPN 的高速磁浮运控系统越区切换模型

曹源<sup>1</sup>, 张玉琢<sup>2</sup>, 马连川<sup>1</sup>, 孙雅晴<sup>3</sup>, 穆建成<sup>4</sup>

(1. 北京交通大学 轨道交通运行控制系统国家工程研究中心, 北京 100044; 2. 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044; 3. 上海自仪泰雷兹交通自动化系统有限公司, 上海 201206; 4. 国家铁路局 科技与法制司, 北京 100891)

**摘要:**考虑 38 GHz 毫米波通信中断与信道占用因素, 依据磁浮运控系统越区切换流程建立了确定与随机 Petri 网 (DSPN) 模型, 对单一移动终端 (MT) 和冗余 MT 两种结构进行了比较, 研究了基站间距和列车运行速度对单一 MT 和冗余 MT 两种结构越区切换可靠性的影响。研究表明: 冗余 MT 越区切换性能明显优于单一 MT, 后者的停车概率约为前者的  $3 \times 10^4$  倍; 越区切换成功率随列车运行速度的提高而降低, 随基站间距的减小而降低; 在极端情况下, 即列车以  $500 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  运行, 且相邻基站间距为 500 m, 冗余 MT 和单一 MT 越区切换成功率只有 98.50% 和 97.85%。研究结论为磁浮运控系统车地通信子系统的服务质量优化与移动小区设置提供了依据。

**关键词:**列车运行控制系统; 越区切换; 确定与随机 Petri 网; 高速磁浮; 车地通信; 可靠性  
中图分类号: U283 文献标志码: A

### Handoff model of operation control system of high-speed maglev based on DSPN

CAO Yuan<sup>1</sup>, ZHANG Yu-zhuo<sup>2</sup>, MA Lian-chuan<sup>1</sup>, SUN Ya-qing<sup>3</sup>, MU Jian-cheng<sup>4</sup>

(1. National Engineering Research Center of Rail Transportation Operation and Control System, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 3. Thales Saic Transportation System Limited Company, Shanghai 201206, China; 4. Department of Science-Technology and Law, National Railway Administration of the People's Republic of China, Beijing 100891, China)

**Abstract:** Considering the factors of the communication outage of 38 GHz millimeter wave and channel occupancy, deterministic and stochastic Petri nets model (DSPN) was developed based on the handoff process of maglev operation control system. The structures of single mobile terminal (MT) and redundant MT were compared. The effects of base station interval and train running velocity on the handoff reliabilities of single MT and redundant MT were investigated. Investigation result indicates that the handoff performance of redundant MT is significantly higher than that of single MT, the parking probability of single MT is approximate  $3 \times 10^4$  times of that of redundant MT. The handoff success rate reduces with the increase of train running velocity and the decrease of base station interval. In the special case, in which the train running velocity is  $500 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  and the base station interval is 500 m, the handoff success rates of redundant MT and single MT are only 98.50% and 97.85% respectively. Research result provides basis for the QoS optimization of train-ground communication subsystem in maglev operation control system and mobile cell setting. 3 tabs, 7 figs, 19 refs.

收稿日期: 2013-12-08

基金项目: 国家 863 计划项目 (2012AA112001); 国家自然科学基金项目 (51305021, U1334211); 中国铁路总公司科技研究开发计划项目 (2013X013-D)

作者简介: 曹源 (1982-), 男, 河南开封人, 北京交通大学讲师, 工学博士, 从事列车运行控制系统研究。

**Key words:** train operation control system; handoff; DSPN; high-speed maglev; train-ground communication; reliability

**Author resume:** CAO Yuan(1982-), male, lecturer, PhD, +86-10-51688537, ycao@bjtu.edu.cn.

## 0 引 言

由于磁悬浮轮轨与地面脱离,传统的轨道电路失效,因此,车地无线通信系统传输列车运行控制的安全数据的任务更加艰巨,必须保证列车在  $500 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  的高速运行状态下实时、大容量的通信需求<sup>[1]</sup>。然而,由于磁悬浮列车运行速度较高,小区半径较小,因此,会频繁发生越区切换。若采用硬切换方式进行越区切换,则会造成通信的短时中断,影响车地之间安全数据的传输。此外,越区切换的成功率与列控系统的可靠性和高效运行关系紧密,越区切换失败会触发列车的紧急制动而造成停车。越区切换可靠性反映了车地通信系统性能,越区切换成功率和停车概率是衡量越区切换可靠性的重要指标。

国内外对磁浮的研究主要集中在悬浮、牵引动力及列车控制领域<sup>[2-3]</sup>,对车地通信系统,尤其是采用 38 GHz 毫米波通信方式的车地通信系统研究较少。对于越区切换的研究也大都针对 GSM-R、WLAN 的切换性能,研究内容包括越区切换算法<sup>[4]</sup>、切换中断时间<sup>[5]</sup>等。Petri 网是一种强大的离散系统建模工具,较适于越区切换流程的建模,因此,在列控系统建模领域的应用研究也开展得越来越广泛。Zheng 等根据 CENELEC 系列标准文件及安全指南,对磁浮列车超速安全防护过程进行了 Petri 网建模分析,实现基于全局安全目标来量化可容忍风险<sup>[3]</sup>;Xu 等对列控系统数据传输过程进行建模,计算了数据帧丢失概率<sup>[6]</sup>;Dutta 等给出了常用无线网络通用模型,具有很强的适用性<sup>[7]</sup>;Thomsen 建立了 GSM 网络越区切换模型,分析了 GSM 协议的状态可达性<sup>[8]</sup>,但模型没有进一步研究越区切换的可靠性;张友兵等结合数据传输与越区切换的碰撞建模,分析了不同条件下的碰撞概率<sup>[9]</sup>;曹源等建立了 GSM-R 采用硬切换方式切换的模型,计算了越区切换成功率<sup>[10]</sup>。以上研究中越区切换方式均为硬切换方式,即采用单一移动终端(Mobile Terminal, MT)切换,没有考虑基于冗余 MT 的软切换方案<sup>[11]</sup>。

本文对单一 MT 与冗余 MT 两种结构的越区切换过程进行建模,对比分析 2 种情况下的越区切换成功率与失败导致的停车概率,并给出了 2 种情

况下越区切换成功概率与列车运行速度及相邻基站间距的关系,为磁浮运控系统的车地通信子系统服务质量(Quality of Service, QoS)的优化与移动小区设置提供了依据。

## 1 越区切换过程

磁悬浮的越区切换过程由中央控制系统、分区控制系统和车载运行控制系统共同协调完成,各子系统之间通过通信子网有机联系在一起。单一 MT 和冗余 MT 切换场景见图 1。单一 MT 越区切换具体步骤如下。

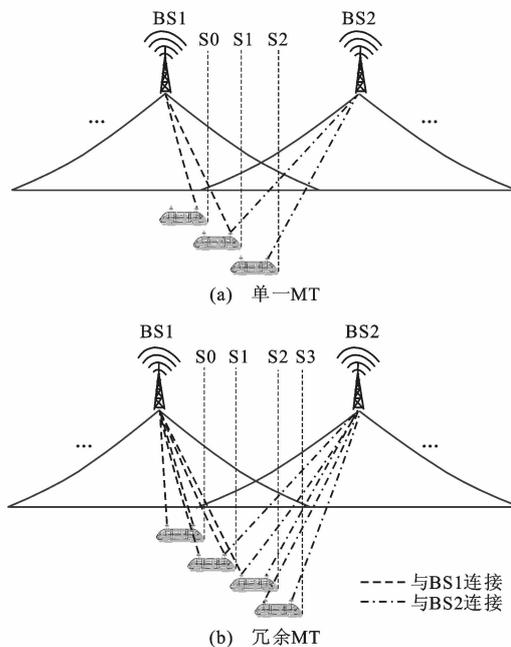


图 1 越区切换场景

Fig. 1 Handoff scenarios

Step 1: 列车进入基站 BS1 和 BS2 覆盖边界,用 S0 表示。

Step 2: 触发切换,车载前端无线电请求断开与基站 BS1 的连接,并开始与基站 BS2 建立连接,该位置用 S1 表示。

Step 3: 车载前端无线电已经与基站 BS2 建立连接,此时,车载末端无线电请求与基站 BS1 断开,并开始与基站 BS2 建立连接,该位置用 S2 表示,此时完成越区切换。

冗余 MT 切换在单一 MT 越区切换步骤的基础上多了一项,即车载末端无线电成功切换到与基站

BS2 连接,该位置用 S3 表示,此时完成越区切换<sup>[12-13]</sup>。

## 2 越区切换模型的建立

确定与随机 Petri 网(Deterministic and Stochastic Petri Nets, DSPN)是一般随机 Petri 网的扩充,具有并行、不确定性、异步描述能力和分析能力等优点。允许时间变迁的实施延时既可以是常数,也可以是指数分布的随机变量,适用于周期性通信或数据传输<sup>[14]</sup>。本文中库所  $P$  与各类变迁  $T$  等的图形表示见图 2,其中库所代表系统中的局部状态,变迁表示事件本身,库所中托肯表示条件满足或状态的到达。若所有的前提条件都含有托肯值,包括满足瞬时变迁的哨函数,那么一个事件就可以触发,即变迁允许触发。变迁的发生与系统的状态有关,因此, Petri 网模型可以用来描述系统的静态结构和动态行为<sup>[15]</sup>。

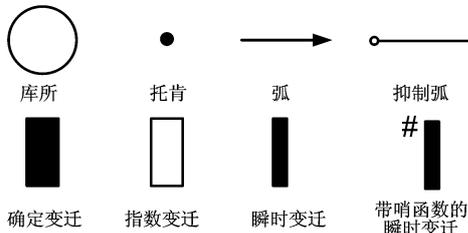


图 2 DSPN 中的元素  
Fig. 2 Elements of DSPN

### 2.1 单一 MT 越区切换模型

单一 MT 切换 DSPN 模型见图 3。本文中不同库所和变迁的意义见表 1。

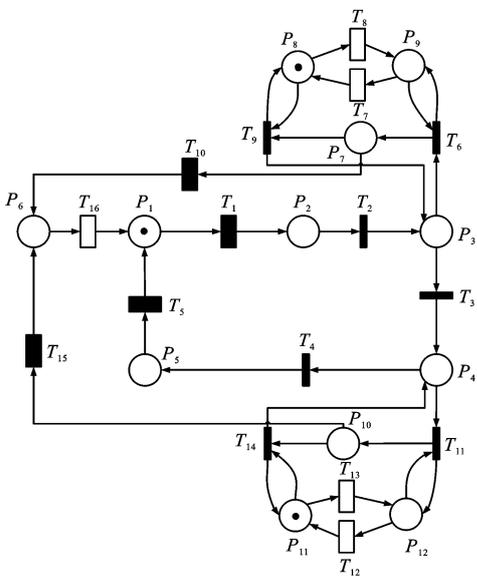


图 3 单一 MT 越区切换 DSPN 模型  
Fig. 3 Handoff DSPN model of single MT

表 1 库所与变迁的意义

Tab. 1 Significances of places and transitions

符号	意义	符号	意义
$P_1$	正常行驶状态	$P_2$	到达切换边界状态
$P_3$	触发准备状态	$P_4$	信号正常状态
$P_5$	待触发切换状态	$P_6$	停车状态
$P_7$	无线连接中断状态	$P_8$	无线连接正常状态
$P_9$	无线连接故障状态	$P_{10}$	信道占用超时状态
$P_{11}$	信道空闲状态	$P_{12}$	信道占用状态
$P_{13}$	MT2 到达切换边界状态	$P_{14}$	MT2 信号正常状态
$P_{15}$	MT1 或 MT2 待触发切换状态	$P_{16}$	MT1 切换待触发与 MT2 尚未触发状态
$P_{17}$	MT1 切换完成与 MT2 切换待触发状态	$P_{18}$	判断整体切换是否成功
$P_{19}$	MT2 无线连接正常状态	$P_{20}$	MT2 无线连接故障状态
$P_{21}$	MT2 无线连接中断状态	$P_{22}$	MT2 信道占用状态
$T_1$	越区切换等待周期	$T_2$	断开与 BS1 的连接,并开始呼叫 BS2
$T_3$	信号连接正常	$T_4$	信道空闲
$T_5$	切换执行时间	$T_6$	检测到信道中断
$T_7$	信道中断恢复周期	$T_8$	信道中断周期
$T_9$	检测到信道中断恢复	$T_{10}$	信道中断超时
$T_{11}$	检测到信道占用	$T_{12}$	信道释放周期
$T_{13}$	信道占用周期	$T_{14}$	检测到信道释放
$T_{15}$	信道阻塞恢复超时	$T_{16}$	系统重启延时
$T_{17}$	MT2 信号连接正常	$T_{18}$	MT2 检测到信道中断恢复
$T_{19}$	MT2 检测到信道中断	$T_{20}$	MT2 信道中断恢复周期
$T_{21}$	MT2 信道中断周期	$T_{22}$	MT2 中断恢复超时
$T_{23}$	MT2 信道空闲	$T_{24}$	MT2 检测到信道占用
$T_{25}$	MT2 检测到信道释放	$T_{26}$	MT2 信道阻塞恢复超时
$T_{27}$	MT1 切换可触发与 MT2 尚未触发	$T_{28}$	MT1 正常切换执行的延时
$T_{29}$	MT1、MT2 均正常切换情况下, MT2 执行的延时	$T'_5$	MT1 连接超时, MT2 正常切换执行的延时

初始时刻,列车处于正常行驶状态  $P_1$ ,经过确定变迁  $T_1$ 后,到达越区切换边界状态  $P_2$ ,表示收到足够大强度的信号电平,等待触发切换。之后经瞬时变迁  $T_2$ 立即进入触发准备状态  $P_3$ 。此时进行无线连接检查,无线连接正常与故障的状态分别用  $P_8$ 、 $P_9$ 表示。如果无线连接故障,即  $P_9$ 中托肯值为 1,则进入无线连接中断状态  $P_7$ ,并等待回复,超出恢复时限,经  $T_{10}$ 到达停车状态  $P_6$ 。如果无线连接正常或在恢复时限内恢复,则通过变迁  $T_3$ 进入信号

正常状态  $P_4$ 。继续进行信道检测,信道空闲与占用的状态分别用  $P_{11}$ 、 $P_{12}$  表示,与无线连接检查类似,信道占用时进入状态  $P_{10}$ ,若超出恢复时限,经  $T_{15}$  到达停车状态  $P_6$ 。此时认为越区切换失败,会引起列车紧急制动。当无线连接与信道均无误时,进入待触发切换状态  $P_5$ ,经过切换执行时间  $T_5$ ,完成越区切换过程。由于磁悬浮的基站间隔  $d$  较小,计算越区切换等待的时间  $t_{wait}$  应考虑切换执行的时间  $t$ ,表示为

$$t_{wait} = d/v - t$$

式中: $v$  为列车运行速度。

### 2.2 冗余 MT 越区切换模型

冗余 MT 是指在列车前端和末端各设立一个无线电,分别用 MT1、MT2 来表示。这种切换方式属于软切换<sup>[16]</sup>,正常情况下不会出现硬切换中可能出现的短暂断开连接时间,因为当 MT1 因信道中断而未能连接上 BS2 时,只要 MT2 成功连接上 BS2,就不会造成切换失败。

冗余 MT 越区切换的 DSPN 模型见图 4,库所和变迁的含义见表 1。车载前端无线电 MT1 的切换重复单一 MT 越区切换的过程,若信道占用超过等待时间,则直接认定列车越区切换失败。若无线连接中断超过等待时间或前端无线电 MT1 切换成功时,都会启用车载末端无线电 MT2,断开与 BS1 的连接,并开始呼叫下一基站 BS2,如果此时无线连接中断或信道阻塞超出等待时限,则认为越区切换失败,导致停车。当无线连接与信道均无误时,MT2 才能正确连接到 BS2,完成越区切换。

MT1 切换按单一 MT 越区切换的流程进行,从  $P_1$  开始,依次经历库所  $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 。与单一 MT 越区切换不同,图 3 中的待触发切换状态  $P_5$  和切换执行时间  $T_5$  在图 4 中分别用  $P_{15}$ 、 $T'_5$  代替,对应的意义也发生变化。MT2 的切换流程从库所  $P_{13}$  开始进行无线链路检查,从库所  $P_{14}$  进行信道占用检查。

若 MT1 无线连接中断等待超时,会在判断整体切换成功与否的库所  $P_{18}$  中进行标识。之后根据

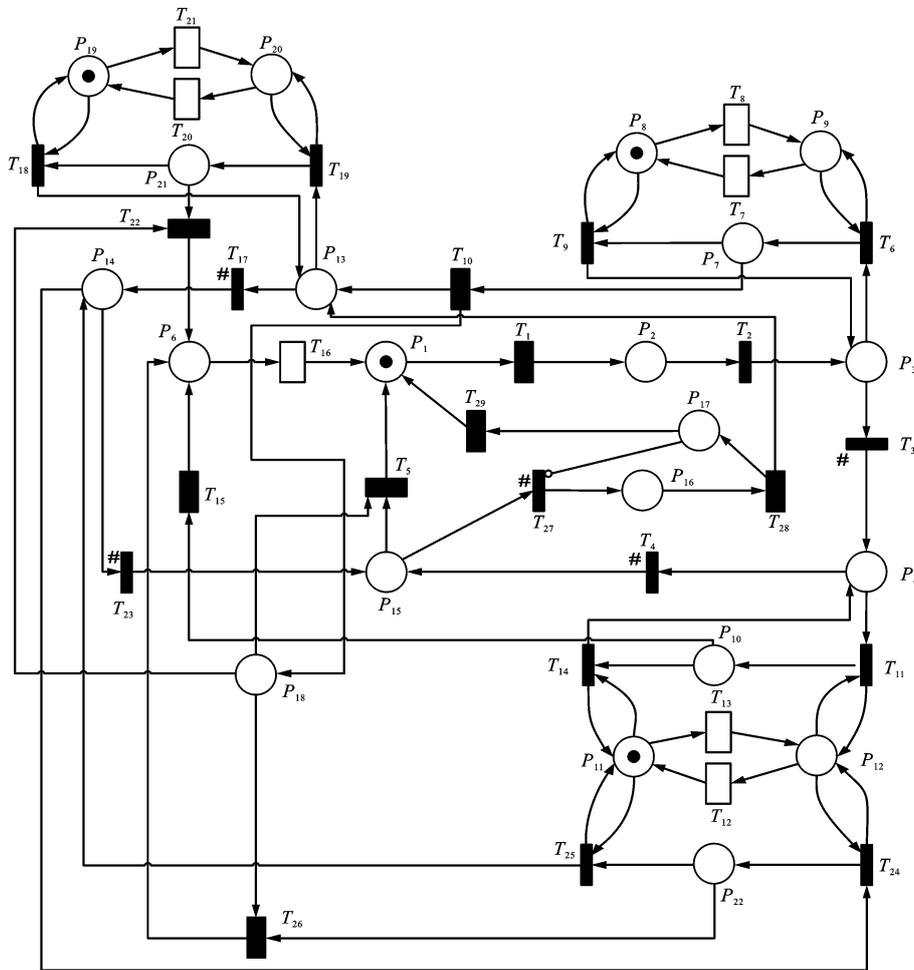


图 4 冗余 MT 越区切换 DSPN 模型  
Fig. 4 Handoff DSPN model of redundant MT

标识结合 MT2 越区切换的状态判断列车整体越区切换的结果,分为以下 2 种情况。

(1)当  $P_{18}$  中托肯数为 1 时,MT2 无线中断状态  $P_{21}$  等待超时与信道占用状态  $P_{22}$  等待超时均会直接造成越区切换失败而导致停车。若 MT2 无线连接检测和信道检测均正常,则进入状态  $P_{15}$ ,通过变迁  $T'_5$  完成越区切换。

(2)当  $P_{18}$  中托肯数为 0 时,即 MT1 无线连接检测正常,且信道检测正常(若有占用等待超时,则通过变迁  $T_{26}$  直接进入停车状态  $P_6$ ),会进入状态  $P_{15}$ ,这时变迁  $T_{27}$  激发,通过  $T_{28}$  完成切换。MT2 切换结果不会对列车越区切换造成影响,故切换时间用  $T_{29}$  来表示。

### 3 模型分析

图 3、4 中模型的参数详见表 2、3,根据相关文献<sup>[10,12,17-19]</sup>与上海磁浮线的现场测量数据,可得到各参数的取值。

表 2 指数变迁和确定变迁取值

Tab. 2 Values of exponential transitions and deterministic transitions

变迁	数值/s	变迁	数值/s
$T_1$	$t_{wait}$	$T_8, T_{21}$	36 000 000
$T_7, T_{20}$	0.373	$T_{10}, T_{22}$	0.373
$T_{13}$	10	$T_{12}$	68
$T_{15}, T_{26}$	70	$T_5, T_{28}, T_{29}$	0.05

表 3 瞬时变迁的哨函数

Tab. 3 Guard functions of immediate transitions

变迁	哨函数	变迁	哨函数
$T_3$	库所 $P_8$ 中托肯数大于 0	$T_{17}$	库所 $P_{19}$ 中托肯数大于 0
$T_4, T_{23}$	库所 $P_{11}$ 中托肯数大于 0	$T_{27}$	库所 $P_{18}$ 中托肯数等于 0

本文采用德国柏林工业大学开发的 DSPN 建模工具 Time Net 4.0,将参数值赋予模型,进而评价与验证越区切换的性能。根据不同的运行速度和基站间距对应不同的越区切换等待时间  $t_{wait}$ ,可以计算出对应越区切换成功率和停车概率,从而得到越区切换可靠性与列车运行速度和基站间距的关系。

图 5 为列车运行速度分别为 400、500  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  时,单一 MT 与冗余 MT 的越区切换成功率与基站间距的关系。可以看出:冗余 MT 结构的越区切换性能显著优于单一 MT 结构;基站间距相同时,随列车速度的提高,越区切换成功率降低;列车速度相同时,随基站间距的增大,越区切换成功率逐渐提高。

在最极端的情况下,即列车以 500  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  的

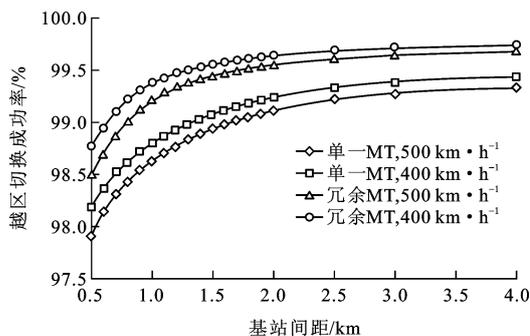


图 5 越区切换成功率与基站间距的关系

Fig. 5 Relationship between handoff success rate and base station interval

速度运行,且相邻基站间距为 500 m 时,单一 MT 和冗余 MT 结构的越区切换成功率分别为 97.85%、98.50%。为了提高越区切换成功率,列车要低速运行,或采用其他技术(如中继技术)增加相邻基站间距,以提高列车越区切换的性能。为保证冗余 MT 越区切换成功率在 99% 以上,当列车以 500  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  运行时,相邻基站间距要达到 800 m 以上。

图 6 为基站间距分别为 500、800 m 时,单一 MT 和冗余 MT 的越区切换成功率与列车运行速度的关系。可以看出:相邻基站间距相同时,随列车运行速度的提高,越区切换成功率降低;列车运行速度相同时,随基站间距的增大,越区切换成功率逐渐提高。为保证冗余 MT 越区切换成功率在 99% 以上,当相邻基站间距为 500 m 时,列车必须以低于 320  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  的速度运行;当相邻基站间距为 800 m,列车以 500  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  的速度运行时,冗余 MT 切换成功率可达到 99% 以上。

图 7 为单一 MT 和冗余 MT 两种情况下,越区切换导致的停车概率与相邻基站间距的关系,可以看出:基站间距一定时,随列车运行速度的提高,停

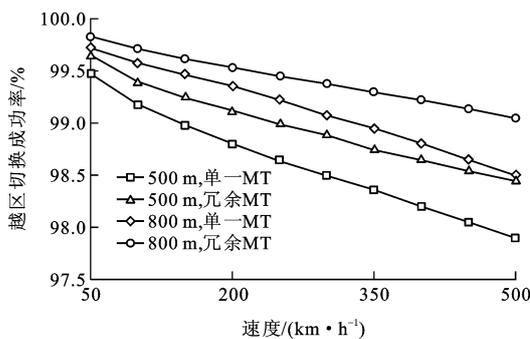


图 6 越区切换成功率与列车运行速度的关系

Fig. 6 Relationship between handoff success rate and train running velocity

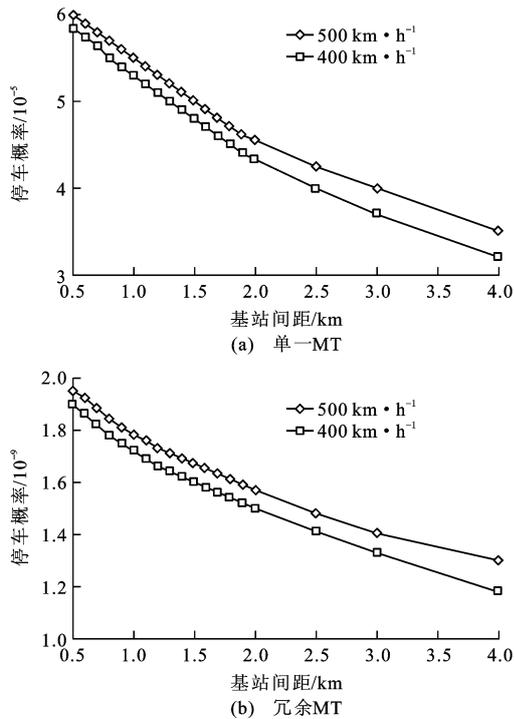


图 7 停车概率与基站间距的关系

Fig. 7 Relationship between parking probability and base station interval

车概率逐渐增大;列车运行速度一定时,随基站间距的增大,停车概率逐渐减小。可见,冗余 MT 结构的越区切换性能远远优于单一 MT 结构,后者的停车概率约为前者停车概率的  $3 \times 10^4$  倍。

## 4 结 语

越区切换的可靠性对磁浮运行控制系统的安全高效运行具有重要意义。本文利用 DSPN 建立了单一 MT 和冗余 MT 这 2 种场景越区切换过程的模型,并比较了 2 种场景下越区切换的成功率和停车概率与基站间距和列车运行速度的关系。研究表明,冗余 MT 越区切换的可靠性明显高于单一 MT 越区切换的可靠性,采用冗余 MT 结构是未来越区切换的发展方向。本文根据不同的基站间距和列车运行速度计算了越区切换成功率和停车概率。计算结果表明:越区切换可靠性随列车运行速度的提高而降低,随基站间距的减小而降低,在恶劣条件下更为明显,尤其是以列车运行速度为  $500 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  且基站间距为 500 m 的极端情况下,冗余 MT 和单一 MT 越区切换成功率只有 98.50% 和 97.85%。本文研究为磁浮运控系统车地通信子系统越区切换的 QoS 优化以及无线小区设置提供了参考。

## 参 考 文 献 :

### References :

- [1] 杨 光,唐祯敏. 几种典型轨道交通运行控制系统的比较研究[J]. 铁道学报, 2009, 31(1): 82-87.  
YANG Guang, TANG Zhen-min. Analysis of similarities and differences of operation control systems among several typical modes of rail traffic[J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31(1): 82-87. (in Chinese)
- [2] HOSSEINI M S, VAEZ-ZADEH S. Modeling and analysis of linear synchronous motors in high-speed maglev vehicles[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2010, 46(7): 2656-2664.
- [3] ZHENG Wei, XU Hong-ze. Safety requirements parameter derivation for maglev train propulsion and protection systems based on stochastic Petri nets[C]// IEEE. 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Zhangjiajie; IEEE, 2009: 507-510.
- [4] ZHU L, YU F R, NING B, et al. Handoff management in communication-based train control networks using stream control transmission protocol and IEEE 802. 11p WLANs[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2012, 211: 1-16.
- [5] 陈黎洁,唐 涛,吕继东. CBTC 越区切换中断时间分析[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(5): 125-129.  
CHEN Li-jie, TANG Tao, LU Ji-dong. Analysis on the interruption time for CBTC handover [J]. China Railway Science, 2010, 31(5): 125-129. (in Chinese)
- [6] XU Tian-hua, TANG Tao, GAO Chun-hai, et al. Dependability analysis of the data communication system in train control system[J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2009, 52(9): 2605-2618.
- [7] DUTTA A, LYLES B, SCHULZRINNE H, et al. Generalized modeling framework for handoff analysis[C]// IEEE. The 18th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Athens; IEEE, 2007: 1-5.
- [8] THOMSEN J M. Analysis of GSM handover using colored Petri nets[D]. Aarhus: University of Aarhus, 2003.
- [9] 张友兵,张 波,唐 涛. 列控数据传输与 GSM-R 越区切换发生碰撞的建模与分析[J]. 铁道学报, 2013, 35(5): 47-53.  
ZHANG You-bing, ZHANG Bo, TANG Tao. Modeling and analyzing of data transmission colliding with GSM-R handover in train control system[J]. Journal of the China Railway Society, 2013, 35(5): 47-53. (in Chinese)
- [10] 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): 3-4.  
CAO Yuan, NIU Ru, TANG Tao, et al. Analysis of handover model based on stochastic Petri net[J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31(4): 3-4. (in Chinese)
- [11] LUO Wan-tuan, ZHANG Rui-qiang, FANG Xu-ming. A COMP soft handover scheme for LTE systems in high speed railway[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2012, 211: 17-25.

- [12] 张仿琪. 毫米波无线通信系统在高速磁浮交通中的应用[D]. 上海: 复旦大学, 2011.  
ZHANG Fang-qi. The application of millimeter communication system in high-speed maglev[D]. Shanghai: Fudan University, 2011. (in Chinese)
- [13] PLATTNER A. A millimeterwave communication system for maglev application[C]// IEEE. 1994 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. San Diego: IEEE, 1994: 745-748.
- [14] YANG Yu-sheng, ZHANG Chun-xi, QIU Hai-tao. Modeling and performance evaluation of IEEE-1394b isochronous data transfer with DSPN [C] // IEEE. 2010 2nd International Conference on Advanced Computer Control. Shenyang: IEEE, 2010: 152-156.
- [15] 郑 伟. 磁悬浮列车跨系统运行 Petri 网模型[J]. 交通运输工程学报, 2012, 12(2): 112-118.  
ZHENG Wei. Petri net model of maglev train running across different control systems[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2012, 12(2): 112-118. (in Chinese)
- [16] 李 伟. 基于有色 Petri 网的无线闭塞中心子系统切换建模与验证[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.  
LI Wei. The modeling and verification of RBC handover based on colored Petri nets [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009. (in Chinese)
- [17] 徐田华, 唐 涛. 列车控制系统中数据通信子系统的帧丢失概率[J]. 中国铁道科学, 2008, 29(3): 110-114.  
XU Tian-hua, TANG Tao. Frame loss probability of data communication subsystem in train control system[J]. China Railway Science, 2008, 29(3): 110-114. (in Chinese)
- [18] ZIMMERMANN A, HOMMEL G. A train control system case study in model-based real time system design [C] // IEEE. Proceedings of the International Parallel and Distributed Processing Symposium. Nice: IEEE, 2003: 1-8.
- [19] LONG Zhi-qiang, LU Zhi-guo, HUAN Shang, et al. Analysis and design in safeties and reliabilities of the suspension system of maglev train [C] // IEEE. Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation. Hangzhou: IEEE, 2004: 1819-1823.

### Journal of Traffic and Transportation Engineering(English Edition)

Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) is a new bimonthly English journal, which is organized by Ministry of Education of China and sponsored by Chang'an University, Southeast University, and Southwest Jiaotong University.

#### Aim & scope

As an academic journal, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) provides a platform for exchange and discussion of novel and creative ideas on theoretical and experimental researches of traffic and transportation. It publishes high-quality peer-reviewed papers of traffic and transportation in the context of civil engineering, industry, materials, information, fuel, economy, and society, as well as the interaction of fields related with traffic and transportation.

The scope of this journal includes road and railway engineering; transport vehicle engineering (such as automobile, train, ship, aircraft, and so on), including its component, operation and maintenance; planning and management of traffic and transportation; traffic information engineering and control.

#### Editorial board

In editorial board, there are 11 academicians of Chinese Academy of Engineering, Canadian Academy of Engineering, and American Academy of Engineering, Zhi-yun SHEN, Kong-hui GUO, Wen-hao LIANG, Chang-wen MIAO, Meng-shu WANG, Ying-ren ZHENG, Yan-liang DU, Jian-guo NIE, Xu-hong ZHOU, Said Easa, and Man-Chung TANG; famous foreigner scholars, Steven Chien, James Tsai, David A Noyce, Lee D Han, Cheng-min FENG, Gang-len CHANG, William G Buttler, Richard Kim, Musharraf Zaman, Zhan-ping YOU, Bruno Briseghella, Wei-hsing HUANG, Hai-bo CHEN, Kevin Cullinane, Honor'e Pierre Yin, Hervé Di Benedetto, et al.

#### Inviting editorial board members

To build an international platform for communication of scientists, our journal is longing for great support of experts, scientists, and scholars in the field of traffic and transportation from all over the world to join in our editorial board. If you or someone you know may have interest in our journal, please contact us at JTTE@chd.edu.cn or JTTE2014@126.com without any hesitation.

#### Call for papers

Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) is calling papers! There are four columns in this journal; road and railway engineering, transport vehicle engineering, planning and management of traffic and transportation, and traffic information engineering and control. All the manuscripts related with traffic and transportation are welcome and appreciated. Please send your manuscript to JTTE@chd.edu.cn or JTTE2014@126.com. Submitted papers will go through normal peer review process.

**Contact:** Yue-jie HAN, editor of Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)

**Tel:** +86-29-82334388

**E-mail:** JTTE@chd.edu.cn; JTTE2014@126.com

**Address:** Periodical Office, Chang'an University, Southern Middle Section of the Second Circular Road, Xi'an, Shaanxi, P. R. China

**Post Code:** 710064