

# ARCNET 列车控制网络令牌传递算法的改进

张新有 魏俊超

(西南交通大学信息科学与技术学院 成都 610031)

**摘要** 对基于 ARCNET 网络协议的列车控制网络的特点进行了分析。针对 ARCNET 协议在列车控制网络中的不足,即节点的退出会引起较长的网络重构时延,提出了一种新的令牌传递的机制,即双地址令牌传递(Double Address Token Passing, DATP)。节点使用两个下一跳节点代替原来的一个下一跳节点,从而避免了节点退出网络时带来的后继节点难以快速查找的缺点。分析及仿真结果表明,该机制在保持原有网络优点的同时,提高了网络令牌传递效率,增加了系统吞吐量,从而改进了列车控制网络的性能。

**关键词** 列车控制网络, ARCNET 协议, 令牌, 双地址令牌传递

**中图分类号** TP393.1, TN915.04

**文献标识码** A

**DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.8.009

## Improvement of Train Control Network Token Passing Algorithm Based on ARCNET

ZHANG Xin-you WEI Jun-chao

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract** The features of train control network based on ARCNET are analyzed in detail in the paper. Aiming at the specific problems of ARCNET protocol used in train control network, the paper proposed a new token transmission mechanism, named DATP (Double Address Token Passing). The nodes save two next node addresses instead of one node address used in traditional ARCNET. This mechanism can avoid the disadvantage of successor node being difficult to be found quickly when the current node leaving network. Analysis and simulation show that the new token transmission mechanism increases token transmission efficiency and node's throughput while keeping the original advantage of ARCNET, which can improve the performance of the train control network.

**Keywords** Train control network, ARCNET protocol, Token, Double address token passing

## 1 引言

根据铁路列车运行特点,列车控制网络应该满足以下性能要求:

1) 数据传输可靠。列车控制数据的正确传输和系统命令的正确执行尤为重要,这对列车控制网络数据传输的可靠性提出了严格的要求。

2) 响应及时迅速。列车中有多种车载设备、数据处理节点、传感器以及其他设备,如何保证这些设备之间的数据快速传输(TCN 标准中规定节点之间的响应时间应在 1~2.5ms 之间<sup>[1,2]</sup>)以及迅速响应列车控制系统发出的指令,是衡量列车控制网络的重要性能指标之一。

3) 最大数据发送时间确定。列车控制网络必须能够在预先确定的时间内完成信息的传输(TCN 中规定过程数据发送的周期为 25ms<sup>[1,2]</sup>, ARCNET (Attached Resource Computer Network) 中规定控制信息发送的周期在 10ms 之内<sup>[3]</sup>), 这样才能够计算出在网络负载重、流量较大的情况下节点间传递信息数据所需的最大时间,使得数据在传递时间上是可预测的,从而保证系统的实时性。

ARCNET 是一种基于令牌传递(Token Passing)协议的

总线网络,该网络具有高可靠性、及时性、确定性、可扩展性、错误自检等特点,非常适合实时控制领域,是一种理想的现场总线技术<sup>[4-6]</sup>。我国的 CRH2 型高速“和谐号”动车组就采用了改进后的 ARCNET 协议。

为使 ARCNET 总线网络适用于高速列车控制网络,许多研究工作对 ARCNET 进行了性能分析和改进。文献[7, 8]对 ARCNET 网络的性能进行了详细的分析,指出了 ARCNET 网络能够满足网络负载较轻的数据通信需求,但当网络发生节点意外退网时,其令牌传递方法会造成节点间令牌传递延时的增加。文献[9]为提高网络令牌传递效率,提出在网络中的活动节点保存其逻辑邻居的节点地址信息(NID),从而构成活动节点地址信息索引表。文献[10]在 ARCNET 网络中设置节点空闲缓冲区询问帧(FBE),避免了因目的节点缺少足够的空闲存储区而造成的数据丢失,从而降低了消息重发概率。在对 ARCNET 协议中传统令牌传递方法存在的缺点进行分析的基础上,本文提出一种新的令牌传递机制——双地址令牌传递(Double Address Token Passing, DATP),并利用 OPNET 仿真软件对传统令牌传递方法和 DATP 方法进行仿真。对网络令牌循环传递时间和节点间链路吞吐量进行了分析,结果表明 DATP 方法在有节点退网的

到稿日期:2015-07-16 返修日期:2015-11-25 本文受国家自然科学基金-联合资助基金项目(U0970122),中央高校基本科研业务费专项资金科技创新项目(SWJTU09CX040)资助。

张新有(1971-),男,副教授,主要研究方向为分布式网络、新型网络体系结构、网络测试, E-mail:xyzhang@swjtu.edu.cn;魏俊超(1986-),男,硕士,主要研究方向为网络技术开发、网络安全。

情况下仍然可以保持较高的令牌传递效率,提高了系统吞吐量,对改善 ARCNET 协议在列车控制网络中的应用具有较高的参考价值。

## 2 ARCNET 协议的工作原理

针对 ARCNET 在列车网络中的应用,考虑到列车控制网络中节点数量相对较少以及变化相对稳定的特点,本文引入了两个节点地址表:全节点地址表 ANT(All Nodes Table)以及活动节点地址表 ONT(Online Nodes Table)。ANT 表示网络中所有可能入网节点的地址信息表。ONT 表示所有位于当前逻辑环上的活动节点地址信息表,可根据该表确定令牌在活动节点之间传递的顺序。

### 2.1 网络逻辑环的初始化

为了更好地说明逻辑环的初始化过程,设定两个节点定时器,分别为 TI 消息响应定时器和 TS 网络令牌恢复定时器。TI 表示接收到数据的节点做出响应的最大时长,定时器 TS 的值表示如下:

$$TS_{id} = TP - Q \times ADDR_{id}, 1 \leq id \leq n \quad (1)$$

其中,  $TP$  和  $Q$  是与网络状态、结构相关的时间参数,  $ADDR_{id}$  表示节点  $id$  地址值(设网络中有  $n$  个节点);  $TP$  的最小值不应小于令牌循环一周所需要的最长时间。网络中每个节点的  $TP$  和  $Q$  取值相同,但是每个节点的  $TS_{id}$  不同。

在网络逻辑环的初始化过程中,一旦检测到节点进入网络,便启动节点的  $TS_{id}$  定时器。具有最大地址的节点  $N_i$  首先成为第一个加入到网络的节点,  $N_i$  将按地址递增的顺序索引 ANT 表中的每个节点  $M_i$ , 也就是向 ANT 表中的每一个节点发送入网询问帧。根据被询问节点的回应来判断是否存在节点需要加入到当前的逻辑环,并最终生成 ONT 节点地址表。询问结束后,将 ONT 表广播至网络中的每一个活动节点,逻辑环基本上初始化完成。之后该节点产生网络中首个令牌,创建成功后网络进入正常的令牌传递过程。网络逻辑环的具体初始化过程如图 1 所示。在实际的 ARCNET 列车控制网络中,可设置某些特殊节点的地址,以控制令牌环中第一个节点的产生。

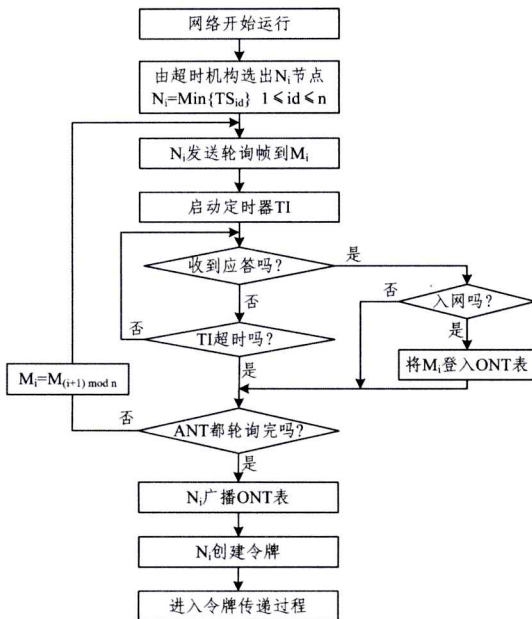


图 1 网络逻辑环的初始化过程

### 2.2 节点加入网络和退出网络

当一个节点要加入网络时,在标准传输速率 2.5Mbps 下,若节点加电后 840ms 内没有接收到来自其它节点的令牌帧(Invitation to Transmit, ITT),那么当前节点将马上发出网络重构脉冲,迫使网络上的活动节点停止所有的消息发送,从而造成网络中的令牌丢失,进而导致整个网络中的节点重新初始化<sup>[11]</sup>(重构时间大约 20~30ms)。重新配置后的网络形成新的逻辑环,这样新的节点就成功地加入到网络中。初始化完成后,每个节点不断更新其后继逻辑邻居节点的地址信息,确保后继节点的准确性。

对于节点退出网络的情况,不需要对整个网络的逻辑结构进行重新配置。这是由于 ARCNET 网络中每个节点都保留有其后继逻辑邻居节点的 id 地址,因此当其前驱逻辑邻居节点向其发送令牌时,故障节点不会对其前驱逻辑邻居节点进行响应,其前驱逻辑邻居节点等待 74us 超时时间后,将会把 NID 地址的值增加 1,然后继续发送令牌帧,一直持续到能够接收到响应帧,即直到发现新的逻辑邻居节点为止,这样故障节点也就退出了网络,新的令牌环网络继续正常运行。图 2 示出 4 个节点的网络中节点 110 退网后令牌的传递过程。

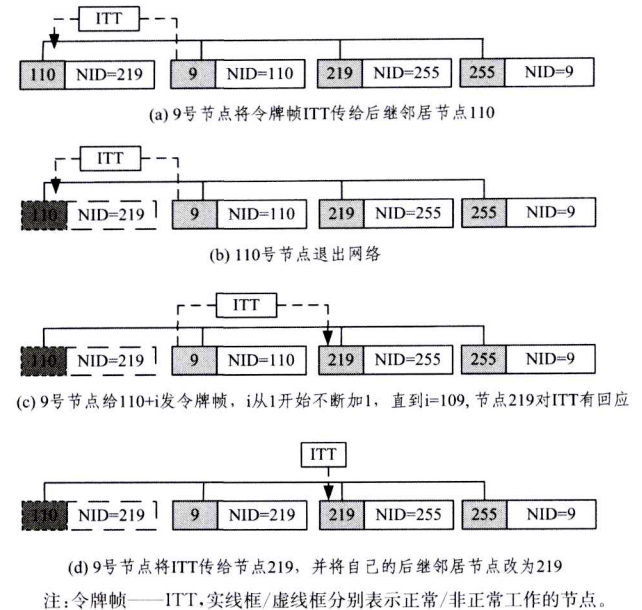


图 2 节点 110 号退网后令牌的传递过程

### 2.3 消息的接收和发送

采用 ARCNET 协议的列车控制网络数据传输速率通常为 2.5Mbps,数据帧中的用户数据长度为 0~507 字节,支持短帧和长帧两种数据帧格式,其中短帧格式用户数据长度为 0~253 字节,长帧格式用户数据长度为 256~507 字节。

在 ARCNET 网络中,只有持有令牌的节点才有机会发送数据帧。因此,当前节点若持有令牌且有数据要发送,则首先将一个空闲缓冲区询问帧——FBE (Free Buffer Enquiry) 发送到目的节点,询问目的节点是否存在充足的缓冲空间来接收数据。若目的节点存在足够的空间,则向源数据节点回应一个 ACK 确认帧,否则发送一个 NAK 否认帧。源数据节点若接收到 ACK 确认帧,则开始向目的节点发送包含消息数据的消息帧——PAC(Packet),否则将令牌帧传递给其后继逻辑邻居节点。若消息数据被目的节点接收到,并且数据 CRC 校验成功,则其再次向源数据节点发送一个 ACK 消息确认帧,通知源数据节点消息成功发送;否则不回应任何消息

帧,从而造成源数据节点等待超时,使得源数据节点认为发送消息不成功,将令牌帧传递给其后继逻辑邻居节点。原数据帧的传输等到下次持有令牌帧时再发送。假设某时刻节点110持有令牌,节点间传输消息数据的详细过程如图3所示。

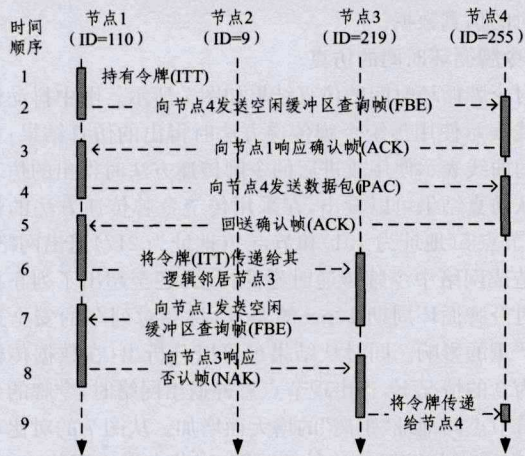


图3 令牌传递以及数据包发送过程

ARCNET 协议支持向网络上的所有活动节点发送广播消息,接收到广播消息的节点不需要发送 ACK 确认帧。

### 3 ARCNET 令牌传递方法的改进:DATP

根据调查,ARCNET 网络故障大部分是由于节点故障造成的<sup>[5]</sup>,故障节点退出网络也将会影响到令牌在节点间的顺利传递(见图2)。设计一个高效、安全的令牌传递方法,实现令牌在故障节点退出网络瞬间的平滑快速传递,对实时性和可靠性要求严格的列车控制网络显得尤为重要。

#### 3.1 DATP 工作原理

如2.2节所述,传统 ARCNET 网络中令牌传递过程是通过识别当前节点所保存的后继逻辑节点地址来实现的,所以一旦遇到后继逻辑节点因为异常故障退出网络的情况,就不能保证令牌在节点之间的实时、顺利传递。因此仅仅保存后继逻辑节点地址不能满足突发情况下节点安全快速退出网络,这就要求高效的令牌传递方法必须能快速查找到退网节点的后继逻辑节点的节点地址,同时要周期性更新每个节点的地址表。针对两个非相邻逻辑节点或者更多非连续节点退出网络的情况,本文提出了一种新型的令牌传递方法——双地址令牌传递方法(Double Address Token Passing, DATP)。

与传统令牌传递方法不同的是,DATP 令牌传递方法中每个节点保存有后继逻辑邻居节点的地址 NID 以及下一个逻辑邻居节点的地址 NNID。当一个故障节点退出网络后,处于逻辑环的前驱逻辑节点向它发送令牌时,故障节点不会对其前驱逻辑邻居节点进行响应,令牌发送者将其 NNID 值改变为 NID,然后将令牌的目的 ID 值作为新的 NID 的节点,直到收到响应。同时收到令牌的节点发现其前驱节点发生变化,将其 NID 发回给它的新前驱逻辑节点,新前驱逻辑节点更新地址表信息(添加新的 NNID),故障节点的退网从而完成。DATP 令牌传递方法的具体操作过程如图4所示。

从图4可以分析出,由于某种原因导致节点110退出网络,当节点9将令牌传递给其逻辑邻居110时,节点9在TI时间内收不到节点110对其发送的询问帧的响应。这时节点9将根据 NNID 的值,把令牌传递给节点219,节点219由于此时仍然为活动节点,因此对节点9进行响应。同时节点219记录新的前驱节点并将自己的 NID 的地址255传递给节

点9,节点9之后将自己逻辑邻居节点值 NID 更新为219,并将 NNID 的值更新为255,从而节点110的退网过程也就顺利完成了。对比图2和图4发现,与传统令牌传递方法相比,DATP 令牌传递方法减少了令牌重传的次数,同时缩短了查找新的逻辑邻居节点的时间,并且到达了节点间令牌的平滑传递以及节点地址表同步更新的目的。

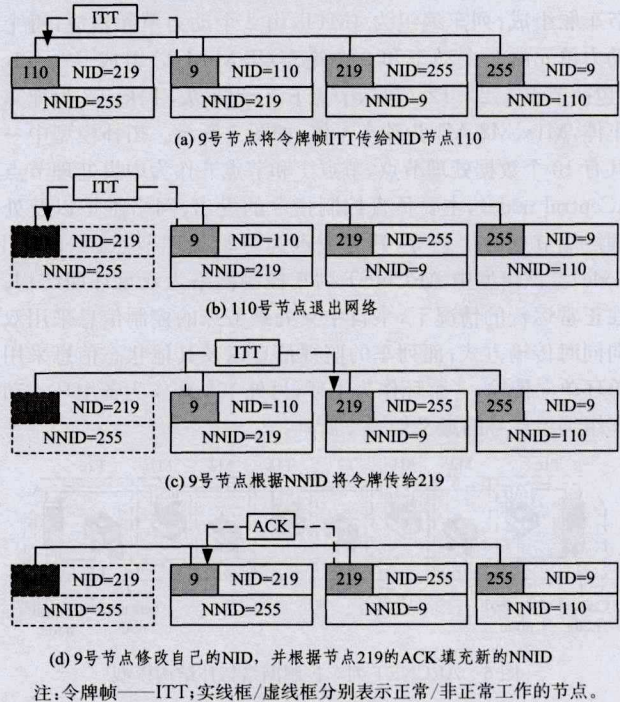


图4 DATP 情形下节点退网时令牌的传递过程

#### 3.2 基于 DATP 的 ARCNET 网络维护

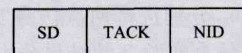
要适应 DATP 机制,维护环上节点间的正确关系,传统的 ARCNET 网络还需做以下修改。

- 1)网络初始化时,ONT 广播到所有节点,各节点即可初始化自己的 NID 和 NNID 域,同时记录各自的前驱节点。
- 2)当逻辑环上某节点的前驱节点发生变化时,该节点将自己的 NID 告知自己的前驱节点,同时发送 ONT 广播消息,以维护环上节点关系的一致性。

如图4所示,节点110发生故障后,9号节点首先检测到110退网,因而将 ITT 传给其 NNID 节点219,节点219发现自己的前驱节点发生变化(由110变为9),则在对 ITT 的确认帧中将自己的 NID 捎带给9号节点,节点9更改自己的 NID 和 NNID 域,如图4(d)所示。与此同时,某节点发现其前驱节点变化时,要发送一个 ONT 广播消息给环上各节点,相关节点修改自己的 ONT 和自己的后继节点,如255号节点的 NNID 仍为110,收到 ONT 后,255号节点据此修改自己的 NNID 为219。此时环上节点顺序更新完毕。

3)修改原 ITT 帧,更改一个 DID(目的 ID)为 SID(源 ID)。

4)增加令牌确认帧 TACK(Token Positive Acknowledgement)。传统的 ARCNET 网络只有一种确认帧 ACK(0x86),为实现 DATP 方法,增加一种专门用于 ITT 传递的确认帧 TACK(0x87),用于对 ITT 的确认。TACK 帧格式如图5所示。



SD=Starting Delimiter; TACK=TACK Frame(value=0x87);  
NID=Next Identifier

图5 TACK 帧格式

可以看出, TACK 仅对传统的 ACK 增加一个 NID 字段。当节点的前驱节点变化时, TACK 在对 ITT 帧的确认过程中传回节点的 NID 字段。

#### 4 基于 OPNET 的 ARCNET 列车控制网络模型

在 ARCNET 列车控制网络的拓扑结构模型中, 列车由 8 节车厢组成, 列车编组为 4M4T, 由 2 个动力单元组成, 每个动力单元由 2 个动车和 2 个拖车 (T-M-M-T) 组成<sup>[12]</sup>。T1c (包括节点 1, 2)、T2c (包括节点 6, 7) 为车头, T1k、T2 为拖车车体, M1s、M2、M1 为动车车体, 如图 6 所示。拓扑模型中一共有 10 个数据处理节点, 节点 1 和节点 6 作为中央处理节点 (Central node), 主要负责控制指令的发出、网络维护以及处理终端节点的信息等, 其它节点为终端处理节点 (Terminal node)。该模型中 ARCNET 列车控制网络为双重环网结构。在正常运行的情况下, 来自中央处理节点的控制信息采用双向同时传输方式; 而列车的监视信息以及其他状态信息采用单环单向传输, 一个环作为主环, 另外一个环作为备用环。动车组编组代号的含义如表 1 所列。

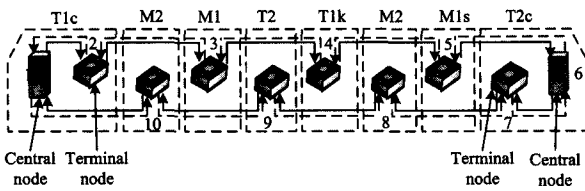


图 6 ARCNET 列车控制网络拓扑结构模型

表 1 动车组编组代号的含义

车辆代号	代号含义	类型举例	符号意义及说明
T	拖车 (Trailer coach)	T1c, T2c, T1k, T2	—
M	动车 (Motor coach)	M1, M2, M1s	—
c	带驾驶室 (cabin)	T1c, T2c	带驾驶室的拖车 (Driving Trailer Coach)
k	带餐车 (kitchen)	T1k	带餐车的拖车 (Stand Corner Coach)
s	头等车 (special)	M1s	头等车(动车) (First Class Coach)

车厢 T1c 和 T2c 中节点之间的距离设定为 20m, 其余每个终端节点之间的距离设定为 50m。

#### 5 网络仿真结果及分析

本节的目的是采用 Opnet 工具仿真传统 ARCNET 令牌传递方法和 DATP 方法在性能上的差异<sup>[12,13]</sup>。结合实际应用, 设网络范围为 125m×125m, 网络拓扑类型为 Ring 双环类型, 节点数量为 10 个; 链路数据传输率默认值为 2.5Mbps, 数据传送方式为半双工。设置网络的中心坐标为 (60, 60), 工作半径为 45m。同时为了仿真网络的实时性和链路的吞吐量, 需要收集网络中各个节点的负载统计量以及网络令牌的 Delay 统计量。采用 DES 仿真, 数据的传输误码率设置为 0, 仿真时间设置为 500s, 分别进行两次仿真实验。仿真实验 1 的结果如图 7 所示, 仿真实验 2 的结果分别如图 8 和图 9 所示。图 7—图 9 分别是在相同的仿真场景下, 采用两种方法的令牌循环时间以及节点间链路吞吐量效率的对比。

为了模拟不同节点随机退出网络以及节点间地址“距离

差”在节点退网时对令牌传递的影响, 将 10 个节点的地址分别设置为: 10, 12, 23, 31, 101, 121, 152, 185, 217, 255; 同时为了说明节点退网时两种令牌传递方法对网络性能的影响, 分别采集了仿真运行时间在 150s 和 350s 时刻节点 5 和节点 9 退网时的仿真数据。

##### 5.1 令牌循环时间的仿真

对令牌循环时间的仿真结果如图 7 所示。图中抖动较大的曲线表示使用传统令牌传递方法时得出的仿真结果; 抖动较小的曲线表示使用改进后的令牌传递方法时得出的仿真结果。从仿真结果可以看出, 在采用传统令牌传递方法的情况下, 当节点 5 (地址为 101) 和节点 9 (地址为 217) 退出网络时, 都会造成网络中令牌传递时延的抖动, 甚至超出了列车控制网络对令牌循环周期 10ms 的要求, 将会对列车的安全运行产生严重的影响。同时从结果也可以分析出, 在数据传输误码率为 0 的情况下, 当出现节点意外退出网络时, 令牌的延时会随着节点间地址“距离”的增大而增加。从图 7 的对比可以看到, 在采用 DATP 方法的情况下, 当节点退出网络时, 无论后继逻辑节点的地址与其邻居节点的地址相差多大, 都不会造成网络中令牌循环时间的抖动, 可以实现节点退网时令牌循环时间的平滑过渡, 很好地满足了列车控制网络对令牌循环时间的要求。

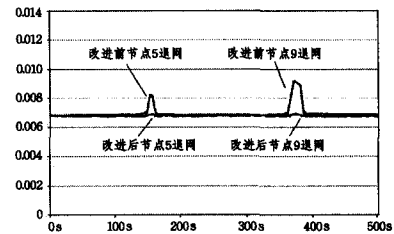


图 7 令牌循环时间比较

##### 5.2 节点间链路吞吐量的仿真

在得出采用 DATP 节点退网时令牌循环时间仿真结果的基础上, 图 8、图 9 分别对比了在数据传输误码率为 0 的情况下, 节点 5 和节点 9 退网时节点间的链路吞吐量。

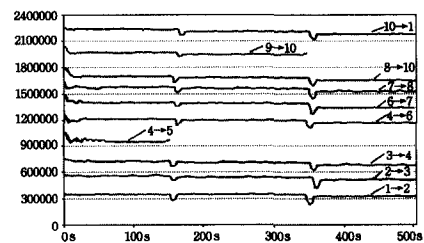


图 8 传统 ARCNET 网络节点间链路吞吐量仿真

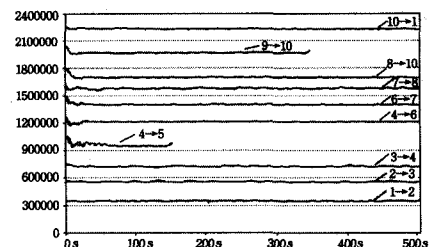


图 9 基于 DATP 的 ARCNET 网络节点间链路吞吐量仿真

从图 8 中可以看出, 在采用传统令牌传递方法的情况下, 当有节点退出网络时会瞬间造成节点间链路吞吐量的下降。原因在于当某一节点 A 的逻辑邻居节点 B 退出网络时, 节点

A 要查找能够将令牌传递出去的逻辑邻居节点,由于节点 A 只知道节点 B 的地址,但此时节点 B 刚好退出了网络,节点 A 将采用“节点地址加 1”方法重复发送令牌询问帧,直到找到网络上活动的逻辑邻居节点为止,从而造成在寻找逻辑邻居节点上浪费宝贵的时间,导致网络吞吐量下降。

对比图 9 可以得出,在采用 DATP 相双地址令牌传递方法的情况下,当存在节点退网时,不会造成网络吞吐量的下降,更不会造成网络流量的抖动。与图 8 的仿真结果相比较,采用 DATP 方法的令牌传递方法,无论网络中何时出现节点退网的情况,都不会对节点间链路的吞吐量造成阻塞,也可以很好地满足列车控制网络对令牌循环周期的要求。

### 5.3 采用 DATP 方法所产生的影响分析

与传统令牌传递方法相比,DATP 采用了同时存储后继逻辑邻居节点地址 NID 以及 NNID 的方法,对网络的影响主要是节点逻辑邻居地址(NID 和 NNID)的存储以及地址信息的更新。对列车控制网络中的每个数据处理节点而言,其拥有相对足够大的存储空间以及较快读写速度的寄存器,因此对存储空间的影响基本上可以忽略不计。

网络节点地址信息的更新对网络产生的影响主要取决于网络中节点数量的多少、网络的传输速度以及节点地址信息量的大小。由于并不是每时每刻都有节点退出网络,因此只有在节点退出并引起节点的前驱或后继节点发生变化时,需要有广播信息发出,以实现网络中节点信息域的一致性。TACK 仅在原 ACK 帧中添加一个地址字段,既可向前驱节点进行应答,又可返回 NID 的地址信息。假设在 ARCNET 网络中数据传输速度为 2.5Mbps,传输一个字节的的数据大约需要  $4.4\mu\text{s}$ <sup>[10]</sup>。当网络中有  $N$  个节点退出时,DATP 相比传统令牌传递方法增加的时间  $T_i$  可表示为: $0 < T_i < 4.4 \times M \times N\mu\text{s}$ ( $M$  为节点地址所需的字节数,每一个节点退出,需要 1 个 TACK)。

设节点地址信息占 1 个字节,若列车控制网络中节点数为 10 个,假设有一个节点退出,所需的  $T_i$  大约为: $T_i = 4.4 \times 1 \times 1 = 4.4\mu\text{s}$ 。另外,一个节点退出网络时,ONT 的广播数据帧约有 20 个字节,由于广播帧不需要 ACK,广播带来的发送时延约为  $88\mu\text{s}$ 。这表明在一个节点退出网络时,使用 DATP 方法时仅仅给整个网络带来了  $92.4\mu\text{s}$  的附加时间消耗,相比原令牌传递方式带来毫秒级的时延,这样的影响是可以忽略的。由此可见,DATP 令牌传递法基本上不会给网络带来时间的延迟,很好地满足了列车对实时性的要求。

**结束语** 实时性是列车控制网络严格要求的性能指标。本文结合 ARCNET 协议在列车控制网络中的应用,针对传统令牌传递方法中存在的节点退网时造成的网络链路时延增加、吞吐量下降的缺点,提出了一种新的令牌传递机制——DATP。

通过列车网络建模和动态仿真,得出了传统令牌传递方法和 DATP 在相同仿真场景下的网络性能比较。仿真结果表明,DATP 方法的令牌传递效率和节点间链路吞吐量都明显优于传统令牌传递方法,其虽然会给网络带来一定的附加时间消耗,但这基本上是可以忽略不计的,在节点退网的情况下,完全满足列车控制网络对令牌循环时间的要求,能够很好地提高列车控制网络的整体效率。

CRH2 的列车控制网络并没有完全遵守 ANSI 878.1 定义的 ARCNET,其中有不少针对网络结构及协议的改动以使

其适应列车的具体需求,对基于 ARCNET 的 CRH2 控制网络进行进一步研究和完善是后续工作。

### 参考文献

- [1] Electric railway equipment-Train bus-Part1; Train Communication Network; IEC61375-1(Ed. 2)[S]. 2005
- [2] Electric railway equipment-Train bus-Part2; Train Communication Network conformance testing; IEC61375-2(Ed. 1)[S]. 2005
- [3] Zuo Feng, Wang Li-de, Nie Xiao-bo, et al. Train communication network of LRV based on ARCNET[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2009, 32(6): 27-30(in Chinese)  
左锋,王立德,聂晓波,等.基于 ARCNET 的轻轨列车通信网络[J]. 电力机车与城轨车辆, 2009, 32(6): 27-30
- [4] Zhao Hua-hua, Liao Zhi-ming. Application of Fieldbus in Train Communication Network [J]. Industrial Control Computer, 2007, 20(7): 25-26(in Chinese)  
赵华华,廖志明.现场总线在列车通信网络中的应用[J]. 工业控制计算机, 2007, 20(7): 25-26
- [5] Wang Li-feng, He Hong-yun, Wang Yu-song, et al. Safety and Reliability Analysis on TCN System Based on ARCnet[J]. Electric Drive for Locomotives, 2007(6): 42-44(in Chinese)  
王利锋,何鸿云,王玉松,等.基于 ARCnet 列车网络控制系统的安全性和可靠性分析[J]. 机车电传动, 2007(6): 42-44
- [6] Liu X K. Network Control System of 200km/h CRH2 EMUs [J]. Electric Drive for Locomotives, 2008(6): 1-4(in Chinese)  
刘先恺. CRH2 型 200km/h 动车组列车网络控制系统[J]. 机车电传动, 2008(6): 1-4
- [7] Lai T. ARCnet as a reliable and easy-to-use control-oriented network solution[J]. HPAC Heating, Piping, AirConditioning Engineering, 2004, 76(12): 113-121
- [8] Nie Xiao-bo, Wang Li-de, Shen Ping, et al. Real-time performance research of the ARCNET control system[J]. Journal of the China Railway Society, 2011, 33(1): 58-62(in Chinese)  
聂晓波,王立德,申萍,等. ARCNET 网络系统实时性能分析与研究[J]. 铁道学报, 2011, 33(1): 58-62
- [9] Nie Xiao-bo. A novel train control network based on controller area network and its performance analysis [J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2012, 6(20): 455-464
- [10] Charles D J, Mavris D N. ARCNET: A system-of-systems architecture resource-based collaborative network evaluation tool[C]// Proceedings 2012 7th International Conference on System of Systems Engineering(SoSE). 2012: 404-409
- [11] Wang L, He Z Y. Technological Characteristics of High-speed Train Communication Network and its Application[J]. Urban Mass Transit, 2008(10): 57-61(in Chinese)  
王磊,何正友.高速列车通信网络技术特点及其应用[J]. 城市轨道交通研究, 2008(10): 57-61
- [12] Ba Jin-long. Modeling and Simulation of Train Communication Network of ARCNET Based on Opnet[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012(in Chinese)  
巴金龙.基于 OPNET 的 ARCNET 列车通信控制网络的建模与仿真[D]. 成都:西南交通大学, 2012
- [13] Wei Jun-chao, Zhang Xin-you. Modeling and Performance Analysis of ARCNET Train Data Network[J]. Railway Standard Design, 2011(4): 108-111(in Chinese)  
魏俊超,张新有. ARCNET 列车数据网络建模与性能分析[J]. 铁道标准设计, 2011(4): 108-111