

一种新型的 MVB 非周期信息优化调度策略

张 淞 琿¹, 于 跃^{1,2}, 顾 宏^{*1}

(1. 大连理工大学 控制科学与工程学院, 辽宁 大连 116024;

2. 北车大连电力牵引研发中心有限公司, 辽宁 大连 116022)

摘要: 多功能车辆总线(MVB)是列车上通用的内部通信网络总线,对实时性有较高要求.通过分析 MVB 非周期信息的通信机制和调度策略,针对非周期信息存在仲裁延时的状况,提出了一种新的非周期信息调度策略,避免了仲裁过程.并将设备优先级加入信息模型中,保证紧急非周期信息的优先发送.案例仿真计算分析表明,所提调度策略能有效提高网络总线的实时性,在不同设备数的条件下优势明显.与其他方法比较,在同设备多待发信息的情况下可以有效减小信息的最大响应时间,保证非周期信息的实时性.

关键词: 多功能车辆总线(MVB);非周期信息;调度;实时性

中图分类号: U285.49

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb201505014

0 引 言

根据列车通信网络标准 IEC 61375-1,多功能车辆总线(multifunction vehicle bus, MVB)是用于机车车厢内部各设备之间实现信息互联的网络总线^[1].它可以调度两类信息:周期信息和非周期信息.其中非周期信息由于信息的随机性,采用事件触发方式管理.随着列车通信技术的快速发展,对 MVB 非周期信息调度能力的优化变得越来越重要.

目前,国内外对 MVB 非周期信息的研究已开始起步.其中文献[2]在对 IEC 61375-1 标准中典型的仲裁算法研究的基础上,提出非周期信息最大响应时间的计算方法,并准确地分析了在极端情况下非周期信息的响应时间特性;文献[3]研究了 MVB 周期信息和非周期信息带宽占用,对 MVB 非周期信息的最差情况响应时间进行了计算;文献[4]研究了 MVB 动态性能指标及传输介质、设备负载对动态指标的影响.以上研究均基于仲裁过程,没有消除由并发事件造成的仲裁延时.由于仲裁延时对信息的实时性影响较大,并且随着设备数、并发事件数的增加,影响愈加严重.同

时,信息在总线的同等级传输,也可能给制动、牵引等紧急非周期信息造成较大的等待延时,因此非周期信息的实时性都没有本质上的改善.本文针对 MVB 非周期信息的调度机制,提出一种新的调度策略.在周期相内,利用填充帧将待发非周期信息的物理地址传送给总线管理器(BA),在偶发相内,BA 可以按照填充的地址轮询此从设备,像周期信息的调度方式一样,建立一个轮询表,按照轮询表调度非周期信息,以避免并发事件的仲裁过程,有效地提高非周期信息的调度实时性.

1 MVB 非周期信息调度

1.1 MVB 非周期信息模型

由于使用环境的特殊性,MVB 非周期信息的通信调度可以近似当作实时系统中的任务调度问题来处理^[2].

假设 MVB 上有个非周期信息,每个非周期信息模型为

$$M_a^i = (C_a^i, D_a^i, T_a^i); i = 1, \dots, N \quad (1)$$

其中 C_a^i 、 D_a^i 、 T_a^i 分别为非周期信息的执行时间、截止期、最小到达时间间隔.同一从设备可能有多个待发非周期信息,若第 k 个从设备上有个待发

非周期信息,那么第 j 个非周期信息表示为

$$M_a^{kj} = (C_a^{kj}, D_a^{kj}, T_a^{kj}); j = 1, \dots, M \quad (2)$$

1.2 调度机制

非周期信息需要经过如下调度机制,实现信息的传送.

在非周期信息窗口,BA 以广播的方式发送一个一般事件请求帧开始一次查询过程^[3]. 若没有待发非周期信息,从设备寂静. 若有待发非周期信息,从设备会响应此请求帧. 在同一时刻,如果只有一个从设备响应此帧,那么主设备在收到从设备的响应帧后,将此帧内容作为事件读取请求帧发送,从设备收到事件读取请求帧后将数据发送到目标设备上,完成一次非周期信息的调度;如果有多个从设备响应一般事件请求帧,那么 BA 判断总线出现信息冲突,启动仲裁机制. BA 发送组地址请求限制设备地址范围,若遇到碰撞或寂静,采用对半算法每次都将询问组地址范围减半,继续发送组地址,直至 BA 接收到一个正确的事件标识符响应,将事件读出后,进行下一事件仲裁,直到所有并发数据全部调度完成. 仲裁过程见图 1.

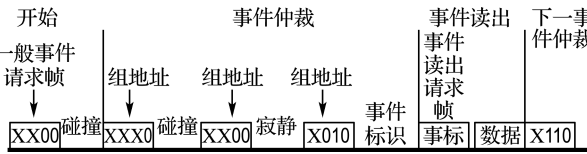


图 1 仲裁过程
Fig. 1 Arbitration process

2 调度方式优化

目前针对 MVB 非周期信息实时性,主要的优化方法都是针对仲裁机制,尽量建立平衡二叉树结构,减少需要增加的报文数,并且连续分配从设备的物理地址,给最频繁发送非周期信息的从设备分配不同的最低位物理地址,这样就可以减少冲突发生^[5].

以上方法虽对信息实时性都有一定改善,但仍然存在仲裁过程,依然存在仲裁延时. 为此本文提出一种新的调度方法,可以避免仲裁过程,有效地提高 MVB 非周期信息的实时性. 调度方法如下:

(1)在周期信息相内,由于周期信息的可预测性,BA 按照已优化好的轮询表依次调度周期信息,若某个从设备需要发送非周期信息,那么在其周期信息被调度完毕到下一主帧的空闲区间将包

含从设备地址的填充帧发送给 BA.

(2)在非周期信息窗口,主设备根据填充帧中的地址向存在待发非周期信息的从设备发送待发非周期信息列表请求帧. 从设备在收到请求帧后,向 BA 发出待发非周期信息列表帧,帧中包含待发非周期信息的标识符. BA 在接收到此帧后,将帧中所有的信息标识符存放在一个待发信息列表中. 同一个从设备,无论有多少非周期信息,只需要一个信息列表帧.

(3)在非周期信息窗口,BA 接收到待发非周期信息的标识符后,形成非周期信息调度表,按照调度表,BA 调度待发非周期信息. 调度非周期信息时,BA 采用与调度周期信息相同的机制. 方法流程图如图 2、3 所示.

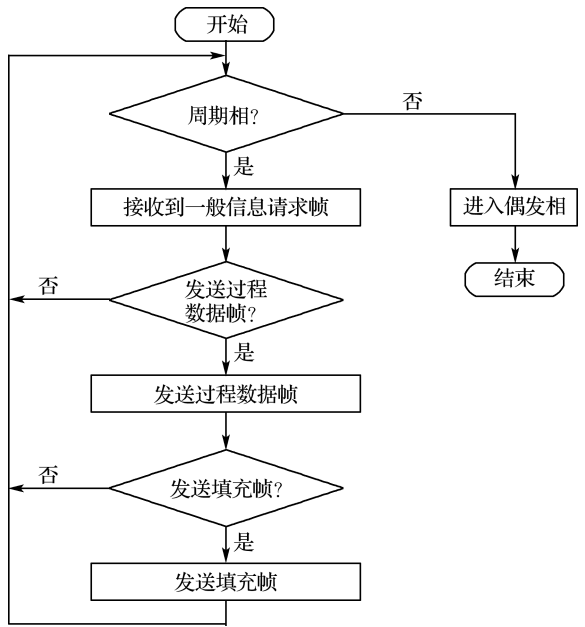


图 2 周期相从设备响应流程图
Fig. 2 Flowchart of cycle phase slave device response

MVB 上的从设备通过填充帧的方式向 BA 表明本设备存在待发非周期信息,使得 MVB 主设备提前获取存在待发信息事件的所有 MVB 设备的地址,这样就可以提前作好非周期信息的调度安排^[6]. 填充帧格式如图 4 所示.

帧中的起始位可以使 BA 识别填充帧,设备地址即为有待发非周期信息的从设备地址. 从设备在无碰撞和无寂静状况下,应在 $3\ \mu\text{s}$ 内做出应答^[2],所以该填充帧必须在前一从帧之后的 $300\ \text{ns}$ 到 $3\ \mu\text{s}$ 之间发送,并且 MVB 主设备需要对调度策略进行优化才能接收、处理该从帧^[7]. 因为在

周期信息间隙中填充此帧,并且填充帧只有 13 位,所以对信息的安全性与正确性无影响.

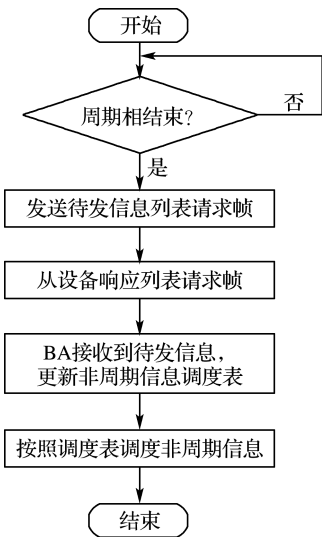


图 3 偶发相 BA 调度流程图

Fig. 3 Flowchart of sporadic phase BA scheduling

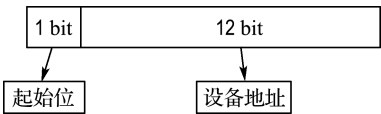


图 4 填充帧格式

Fig. 4 Filling frame format

在第二阶段中将接收到的填充帧作为信息列表请求帧再次发送,从帧起始位换成主帧起始分界符.从设备接收到信息列表请求帧后将发送信息列表响应帧,帧格式如图 5 所示.一个从设备无论有多少待发非周期信息,这种调度策略仅需要一个信息列表请求帧就可以将全部待发非周期信息的标识符传给 BA,这样可以保证紧急非周期信息的及时调度.

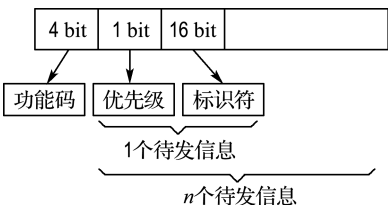


图 5 信息列表响应帧

Fig. 5 Information list response frame

在第三阶段中非周期信息的调度采用了与周期信息一样的传输机制.

MVB 中的高优先级信息具有严格的时限要

求,如果不能将其及时传输,会产生严重的后果,因此在进行策略设计时,应尽可能地达到高优先级信息的实时性要求^[8-10].为保证紧急非周期信息能优先发送,将产生制动、控制、牵引等重要信息的设备设为高优先级,并将设备优先级加入非周期信息模型中,这样可在新的调度策略下,解决信息在总线上传输无优先级区别的问题,此时,非周期信息模型为

$$M_a^i = (C_a^i, D_a^i, T_a^i, B); i = 1, \dots, N \quad (3)$$

其中 B 是设备优先级,为 0 则是低优先级,为 1 则是高优先级.

此模型下的信息可以按照如下规则生成调度表.

(1)根据设备优先级将非周期信息分为高优先级信息和低优先级信息.

(2)同等级信息中,采用 LLF 动态调度算法形成调度表.

(3)根据高优先级信息调度表,优先调度高优先级信息.高优先级信息调度完毕后,调度低优先级信息,方式与高优先级信息一致.

不同优先级信息形成各自的调度表,优先调度高优先级调度表,保证紧急非周期信息的及时传输.

3 实 验

将新方法在同一案例下与协议默认方法、SFS 方法相比较,通过对 4 种网络指标进行仿真计算,以验证新方法的有效性.

MVB 非周期信息传输案例:MVB 采用 EMD 材质,信息传输速率为 1.5 Mbit/s,宏周期为 32 ms,基本周期为 1 ms,周期相为 650 μ s,偶发相为 350 μ s.设有 16 个从设备,其中有 12 个非周期信息需要发送,并有 3 个并发非周期信息,无中继器.本仿真计算中没有考虑非周期信息被周期相打断而悬挂所造成的延时.为了计算方便,假设非周期信息在总线传输时同优先级,并且 BA 调度时,非周期信息恰好到达,即省略排队延时,那么仿真计算结果见表 1.

由结果可知,本文方法通过填充帧方式避免仲裁过程,相对于 MVB 默认调度方式,非周期信息实时性有较大提高,网络效率提高了 6.84%、网络利用率提高了 1.625%、吞吐量提高了 4 kbit/s,非周期信息发送能力进一步优化.这证明了本文方法的有效性.

表 1 案例仿真计算结果

Tab. 1 Case simulation computing results

方法	延时/ms	网络效率/%	网络利用率/%	吞吐量/ (kbit · s ⁻¹)
MVB	3. 013	39. 60	11. 100	66
本文方法	2. 070	46. 44	9. 475	70

随着设备数的改变,指标延时(T_{delay})、网络利用率($\eta_{\text{util-aw}}$)、网络效率($\eta_{\text{eff-aw}}$)的优化效果进一步提升,仿真结果见图 6~8.

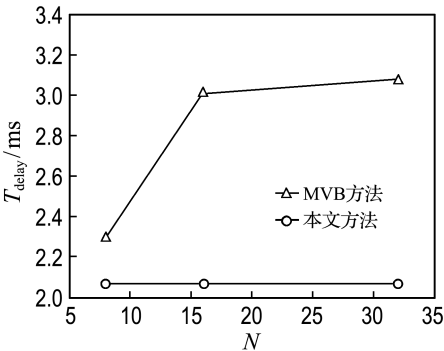


图 6 不同设备数下两种方法延时对比

Fig. 6 The delay comparison of two methods with different number of devices

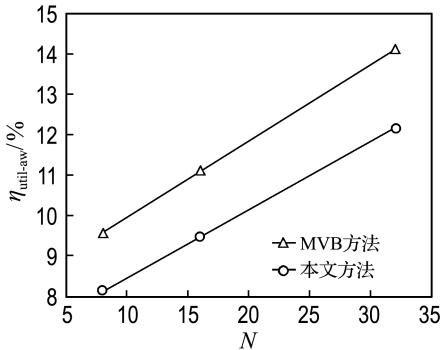


图 7 不同设备数下两种方法网络利用率对比

Fig. 7 Network utilization comparison of two methods with different number of devices

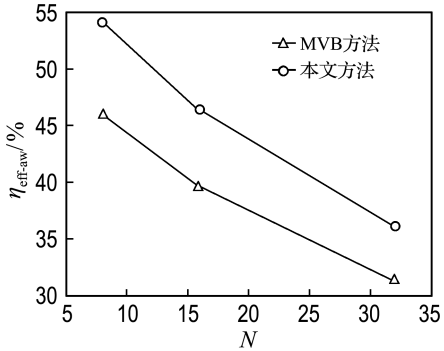


图 8 不同设备数下两种方法网络效率对比

Fig. 8 Network efficiency comparison of two methods with different number of devices

由实验结果可知,由于 MVB 需对并发信息进行仲裁,并且设备数越多,仲裁延时越大,而本文方法可避免仲裁过程,不会受到设备数的影响.在不同设备数下,非周期信息调度能力优于 MVB 的调度方法,并且延时性有较大改善,其他性能指标也有一定提高.

如果某个设备上有多个待发非周期信息,例如第 8 从设备有 M_a^{s1} 、 M_a^{s2} ,那么与文献[2]中 SFS 方法比较, M_a^{s2} 的最大响应时间为 5.908 s,而 SFS 方法为 6.780 s,相对提高了 12.86%.从实验结果得知,本文方法对于同一设备多个待发信息的状况可以有效减小信息的最大响应时间,缩短信息的等待时延,提高信息的实时性,有更好的优越性.

通过实验发现,与协议中默认的策略相比本文方法对并发事件的时延减小了 0.970 ms,实时性相对提高了 31.052%,改善效果明显.网络效率、网络利用率、吞吐量也有不同程度的提高,说明本文方法对整个网络总线的性能有一定的提升.在不同设备数的条件下,本文方法提升效果更加明显.与 SFS 方法比较,同一设备多待发信息的时延缩短了 0.872 ms,相对提高了 12.86%,证明了本文方法对此状况的有效性.

4 结 语

本文提出一种新的非周期信息调度策略,通过填充帧的设计可以有效避免并发信息的仲裁过程,提高实时性,并将设备优先级加入信息模型,采用一种新的调度表生成策略,保证紧急非周期信息的优先发送.案例仿真计算表明,4 个性能指标全部优于 MVB 的调度方法,为 MVB 非周期信息调度的研究提供了一种思路.

参考文献:

[1] 朱琴跃,谢维达,谭喜堂. MVB 协议一致性测试研究与实现[J]. 铁道学报, 2007, 29(4):115-120.
ZHU Qin-yue, XIE Wei-da, TAN Xi-tang. Research on MVB protocol conformance testing [J]. Journal of the China Railway Society, 2007, 29(4):115-120. (in Chinese)

[2] 朱琴跃. 列车通信网络实时性理论与方法研究[D]. 上海:同济大学, 2008.
ZHU Qin-yue. Study of theory and methods for realtime of the train communication network [D]. Shanghai:Tongji University, 2008. (in Chinese)

[3] 曾秋芬,陈特放,刘毅斌. MVB 非周期信息的实时能力分析[J]. 小型微型计算机系统, 2012, **33**(4): 905-908.
ZENG Qiu-fen, CHEN Te-fang, LIU Yi-bin. Realtime capability analysis of aperiodic message in MVB [J]. **Journal of Chinese Computer Systems**, 2012, **33**(4):905-908. (in Chinese)

[4] 朱 俊,李 芳,王丽芳. MVB 总线网络动态性能的研究[J]. 机车电传动, 2013(1):35-38.
ZHU Jun, LI Fang, WANG Li-fang. Research on network dynamic performance of multifunction vehicle bus [J]. **Electric Drive for Locomotives**, 2013(1):35-38. (in Chinese)

[5] 聂晓波,王立德,申 萍. 轨道车辆 MVB 网络实时性能分析与优化研究[J]. 铁道学报, 2011, **33**(9): 40-44.
NIE Xiao-bo, WANG Li-de, SHEN Ping. Real-time performance and optimization of MVB network of rail vehicle [J]. **Journal of the China Railway Society**, 2011, **33**(9):40-44. (in Chinese)

[6] Almeida L, Tovar E, Fonseca J A G. Schedulability analysis of real-time traffic in WorldFIP networks: An integrated approach [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2002, **49**(5):1165-1174.

[7] International Electrotechnical Commission. IEC 61375-1 Electric Railway Equipment — Train Bus-Part 1:Train Communication Network [S]. Geneva: IEC, 2007.

[8] 刘建伟,谭南林,焦凤川,等. 多功能车辆总线系统性能分析[J]. 铁道学报, 2006, **28**(6):83-87.
LIU Jian-wei, TAN Nan-lin, JIAO Feng-chuan, *et al.* Performance analysis of multifunction vehicle bus system [J]. **Journal of the China Railway Society**, 2006, **28**(6):83-87. (in Chinese)

[9] Tovar E, Vasques F. Using WorldFIP networks to support periodic and sporadic real-time traffic [J]. **IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)**, 1999, **3**:1216-1221.

[10] Pedro P, Burns A. Worst case response time analysis of hard real-time sporadic traffic in FIP networks [J]. **Proceedings - Euromicro Conference on Real-Time Systems**, 1997:613757.

A new MVB aperiodic information optimization scheduling policy

ZHANG Song-hui¹, YU Yue^{1,2}, GU Hong^{*1}

(1. School of Control Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. CNR Dalian Electric Traction R & D Centre Co. , Ltd. , Dalian 116022,China)

Abstract: Multifunction vehicle bus (MVB) is universal internal communication network bus on the train with a higher real-time requirement. By analyzing the communication mechanisms and scheduling policies of MVB aperiodic information, it is found that there exists an arbitration delay in the aperiodic information. To avoid the arbitration process, a new aperiodic information scheduling policy is proposed. And device priority is added to information model to ensure the sending priority of urgent aperiodic information. Through the case simulation analyses, it is proved that the proposed scheduling policy can improve the real-time of network bus, and under the conditions of different number of devices, the advantages are obvious. Compared to other methods with multiple outgoing information existing in the same device, this method can effectively reduce the maximum response time of information to ensure real-time of aperiodic information.

Key words: multifunction vehicle bus (MVB); aperiodic information; scheduling; real-time