

文章编号: 1001-8360(2002)01-0043-05

基于 LONWORKS 网络控制技术的 内燃动车组控制系统研究

马云双¹, 周希德², 吴复生³

(¹四方机车车辆厂 动车产品开发部, 山东 青岛 266031; ²北方交通大学 电气工程学院, 北京 100044; ³华高世纪科技发展有限公司, 北京 100011)

摘 要: 给出了列车控制网络的基本结构, 对 LONWORKS 网络控制技术在 内燃动车组控制系统中应用的可行性进行了分析, 并提出了可行的实施方案, 该系统已完成装车试验, 并正在进行运行考核。

关键词: 内燃动车组控制系统; LONWORKS 网络控制技术; 实时性; 研究

中图分类号: U266 文献标识码: A

Research on control system of DMU based on LONWORKS technology

MA Yun-shuang¹, ZHOU Xi-de², WU Fu-sheng³

(¹Department of Power Car Product Development, Sifang Locomotive & Rolling Stock Works, Qingdao 266031, China;

²School of Electrical Engineering, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China;

³Top-China Technology Development Co., Ltd., Beijing 100011, China)

Abstract: This paper presents the basic structure of the train control network, and analyzes the feasibility of the application of the LONWORKS technology in the control system of the DMU. The viable solutions for the so-called system are discussed in detail, according to which a system has been developed and the test aboard the DMU of Sifang has finished. Now the running test aboard the DMU is still going on.

Keywords: control system of DMU; LONWORKS technology; real time; research

随着我国经济的发展, 对中、短途旅客运输的快速需求使得动车组这种编组方式迅速发展起来。动车组多采用固定编组、动力分散、或多组连挂运行的方式, 对列车的控制系统提出了较高的要求, 主要表现在: (1) 保证各动车动力系统的同步协调运行; (2) 司机在任何一端司机室可实现对整个车组各部分的控制; (3) 系统响应实时快速, 满足列车控制的要求; (4) 实现动车组各部分运行状态的实时监控; (5) 提供简洁、明确的旅客信息; (6) 系统应具有可扩展性, 能够方便可靠的接入新增设备。

计算机技术和网络技术的迅速发展使得上述问题的解决成为可能。在国外的机车车辆制造企业如 Siemens、Adtranz、ALSTOM 等均开发出了具有自身特色的功能强大的列车控制网络。1999 年 6 月, IEC 通过了 IEC61375-1 标准作为列车通信网(TCN)的标

准^[1]。IEEE 也通过了车载通信协议标准 IEEE std 1473-1999, 并将 TCN 和 LONWORKS 纳入协议^[2]。随着我国动车组的迅速发展, 开发具有我国特色的列车控制网络成为当务之急。

LONWORKS 网络控制技术在近年来迅速发展起来的现场总线控制技术, 在工业、楼宇、运输、能源等自动化领域得到应用。它集成了 ISO/OSI 的全部 7 层协议, 且信号传输介质可为双绞线、电力线、无线、红外线、光纤, 支持总线形、环形、自由拓扑形等网络拓扑形式, 传输信号采用差分曼彻斯特编码, 使网络具有很强的抗干扰能力。在采用双绞线、比特率为 78 bit/s 时的通信网的直接通信距离可达到 2 700 m, 加上其功能强大的硬件支持, 使得很容易在一定的空间范围内构成功能繁多的系统; 网络结构可采用主从式和对等式。并具有配套的节点、路由器、网关等设备的开发、调试和安装设备。本文提出了将 LONWORKS 控制网络直接用于内燃动车组控制系统的方案, 并予以组织实施。

1 列车控制网络的基本拓扑结构

通常,计算机网络的拓扑结构包括星形、树形、环形、总线形等几种。在 IEC 标准和 IEEE 标准中,根据列车控制的特点将列车控制网定义成分层结构的形

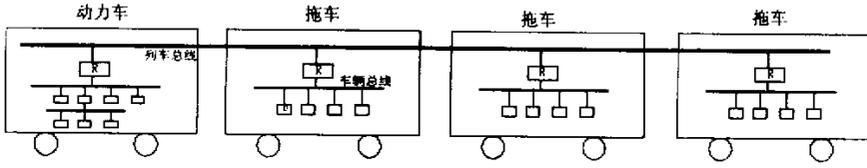


图 1 列车控制网络的基本结构

列车总线由各个车厢内固定安装的电缆通过车厢之间的互连而构成,以连接不同车厢内安装的控制设备。列车总线与车辆总线之间通过路由器或车厢主控节点来实现通信,其中路由器(R)实现车厢内控制节点接入列车总线的路由,用于隔离网络交通,为网络中不同节点的网络报文进行路径选择,无控制功能,因而此时需要专门的管理器来管理网络;而车厢主控节点则实现对车厢内设备的直接管理和控制,管理车辆总线,它可能直接参与系统的控制。设备节点(D)则是处于车辆总线上的用于实现模块化功能的节点设备。在列车总线上设有主控节点,用于实现列车网络的监控、管理、维护,实现重大事务的调度。

2 采用 LONWORKS 技术的可行性分析

列车控制网采用的控制技术,需要满足以下几方面的要求:

(1) 实时性能否满足列车控制的要求,其网络时延不至于影响系统中各部件的正常运行;

(2) 完善可靠的网络协议,使网络具有高的可靠性,不至于因网络过载时的拥塞导致通信的瘫痪而使整个系统不能正常运行;

(3) 较好的开放性。表现在技术本身是否为其他供应厂商的设备接入提供了方便易行的方式。

由于 LONWORKS 技术的网络协议完全参照 ISO/OSI 的 7 层参考模型,因而相对于其他的现场总线技术而言,该技术在开放性方面是有很大优势的,本文中不再讨论。其网络协议的 MAC 子层所采用的可预测 P—坚持 CSMA 协议是从以太网(802.3)协议发展而来的,而以太网(802.3)协议在实时性和网络过载时的负载能力方面均没有优势。因此,本文将就此讨论采用该技术的可行性。

2.1 可预测 P—坚持 CSMA 的原理

式,分为列车总线和车辆总线,列车总线用于连接整列车内的各个车辆总线,车辆总线用于连接一个车厢内的各种设备;在拓扑结构上则采用环形或总线形。它把安装在列车上各动力车和车厢内的各种可编程设备互连在一起。其基本结构如图 1 所示。

可预测 P—坚持 CSMA 算法是属于 CSMA(载波侦听多路访问)家族的。CSMA 算法要求网络上的每一个节点在传送报文之前,必须先侦听信道,确认信道是空闲的。然而,一旦检测到信道的空闲状态,CSMA 家族的每种算法的行为是不同的,按占用信道的方式,可分为非坚持 CSMA、1—坚持 CSMA、P—坚持 CSMA 3 种。

可预测 P—坚持 CSMA 协议在发送数据时采用先侦听信道是否空闲,若空闲则以概率 p 发送,否则以概率 $(1-p)$ 延时一段时间(端到端的传播时延),重新侦听信道。通常,P—坚持 CSMA 所采用的 P 值是固定的,而可预测 P—坚持 CSMA 通过对网络负载的预测,实现对 P 值的动态调整。当网络空闲或轻载时,所有节点被随机分布在最小 16 个不同延时的随机时隙(见图 2)上发送消息,这样,在空闲或轻载的网络中,访问的平均延时为 8 个时隙,等同于 $P=0.0625$ ($1/16$)的 P—坚持 CSMA。当预测到网络负载要增加时,增加随机时隙的数目,将节点随机地分配在数目增多了的某个随机时隙上。时隙数 $P=1/R$, R 增加, P 值降低,因此可预测 P—坚持 CSMA 在保留 P—坚持 CSMA 优点的前提下,通过对网络负的事先预测,在网络轻载时,给网上节点分配数目较少的随机时隙,使节点对介质访问的时延最小;网络重载时,通过给网上节点分配数目较多的随机时隙,从而使节点同时发送数据带来的冲突最少,避免了重载下系统处于不稳定状态,保证信道仍能以最大的吞吐量工作,不会因过多的冲突而造成阻塞。

P 值的动态调整取决于随机时隙的动态调整。当网络预测到负载增加时,节点将分布在更多的时隙上发送数据,增加的时隙的数量由参数 D 决定,参数 D 被称作对信道上积压工作的估计,既网络负载,它代表了下一次循环将要发送数据包的节点数,取值范围是

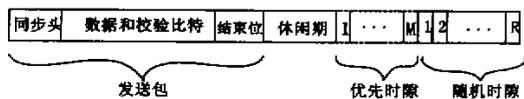


图 2 数据包发送时间

1~63, 所以随机时隙的数目 $16 \times D$, 最小 16, 最大 1 008。

随机时隙的动态调整依赖于节点对网络负载的预测。网上每个节点在启动发送数据之前, 先预测 D 的值, 调整随机时隙数, 然后在某一随机分配的时隙以概率 $1/(D \times 16)$ 发送消息包。

要发送数据包的节点在它发送的数据包中, 包含了要肯定应答接收该消息的节点数目, 即发送消息包将产生的应答数信息, 所有收到该消息包的节点的 D 值通过加上该应答数获得新的 D 值, 从而使随机时隙的数目得以更新, 若该节点有数据要发送, 它将以新的概率值 P 在随机分配的时隙上发送, 每个节点在数据包发送结束时, 其 D 值自动减 1。可见, 要实现预测, 消息服务的类型必须选择应答服务。由于数据包采用典型的应答服务类型, 50% 或更高的负载可以预测。由此实现了每一个节点在任何时候都能动态地预测有多少节点要发送消息包。预测的精度越高, 则重载时网络的冲突概率会越小, 系统能够保证正常工作, 轻载时介质访问时延也会越小。因此, 可预测 P —坚持 CSMA 协议能够满足特定环境下的要求。

2.2 采用不同服务方式的影响

LonTalk 协议提供了 4 种服务方式: 确认、请求/响应、非确认重复、非确认。采用不同的服务方式, 会产生不同的网络响应特性。可预测 P —坚持 CSMA 协议对网络负载的预测是通过数据访问的应答服务方式(确认或请求/响应)实现的, 也就是说, 对于非应答方式的服务(非确认、非确认重复), MAC 子层是不能产生预测的。

2.1 节中分析了应答服务方式的情况, 随着 D 的增大, 随机时隙数增加, P 减小。由于每个节点在一个时刻只能发送一个数据包, 通常, $D \leq$ 信道上节点的数目。当考虑极端情况时, 一个时刻所有的节点同时请求发送, 则 D 即为信道上节点的数目。此时, 由于 LonTalk 协议已经分配了足够的随机时隙, 网络的数据传输基本不会发生冲突, 网络以接近最大的吞吐量工作。只是数据的发送产生了一定的时延。

对于非应答服务方式, 随机时隙 R 固定为 16, 故此时网络协议就是 P 值为 0.062 5 的 P —坚持 CSMA。此时, 在网络同时要求发送数据包的数量应小于

等于 16, 方可避免冲突。

因此, 在网络设计时, 需充分估计网络上潜在的同时最大发送请求数, 若可能超过 16 时, 应采取措施, 视各变量对实时性响应的要求情况, 采用应答服务和非应答服务相结合的服务方式。

2.3 对 MAC 子层的分析

网络上的节点要发送报文时, 需要等待介质空闲, 因而这就存在一个从节点将一个数据包排队准备发送到该数据包实际发送到网络上的时延, 称为介质存取时延。它很大程度上影响报文的响应时间。随着一个给定的信道上预约交通量(Offered Traffic, 每秒内信道上所有节点准备发送数据包的总个数)的增加, 介质存取时延也相应增加。而当网络负载接近饱和, 而又有很多节点准备发送数据包时, 介质存取时延变得更加重要。因而在网络设计时, 必须考虑最坏的情况。

假设信道物理介质为双绞线, 通信比特率为 78 kbit/s, 数据包的平均长度为 16 字节(128 位), 两个包之间的平均时间间隔是 48 bit 时间, 故数据包周期为 176 bit 时间。由此可算出:

该信道的吞吐量: $78\ 000/176=443$ 数据包/s

每包周期: $1\ 000/443=2.25$ ms

根据上述数据可以看出: 若一个节点要求最大响应时间为 50 ms, 则必须设定预约交通量的最大值以获得较小的介质存取时延。由此推算, 网络在 50 ms 内可发送约 23 个数据包。因此, 若进一步假设: 在满足网络 50 ms 的最大响应时间的情况下, 需要在该信道上以任何时间(包括所有同时)发送数据包, 并且这些数据包无任何优先级, 则此时网络的最大预约交通量不能超过 23 个数据包。由此可见, 在设计网络时, 为保证获得较小的介质存取时延, 应满足最大预约交通量的限制。

3 方案及分析

依据图 1 的结构原理, 可以设计出如下 3 种系统的实施方案。

3.1 方案一

如图 3 所示。采用分级总线的结构, 总线分为列车总线和车辆总线。以每个车厢为单位建立一个子网, 通过路由器实现子网与主干网络的隔离, 在每个子网中设有模块化的 DM 设备管理器(Device Manager), 管理车厢子网的设备。网络中设两个显示器(即监控计算机), 分别位于动车组的两端司机室, 实现网络信息的监控。可通过便携式计算机实现整个网络的安装、维护。两条总线的通信介质均采用双绞线, 收发器可采用变压器耦合型自由拓扑式 78 kbit/s 网络收发器。

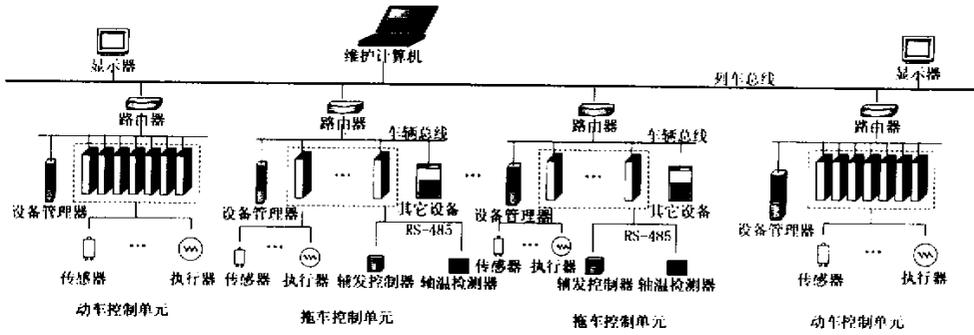


图 3 系统方案一

显示器提供人机界面,用于列车运行信息和故障信息的显示,以及重要参数的修改,并进行重要数据的记录。也可根据需要将其配置为网络管理器,实现网络的安装、管理、维护和故障诊断。监控计算机采用基于 LNS 的 Client/Server 结构,可采用 LNS DDE 或 LNS 开发软件包开发实现。在监控计算机上设有网络数据库,并由 Server 实现各类数据服务。网络运行时,两台监控计算机中只能有一台作为主机运行。通过钥匙开关选择实现。一台被选为主机后,另一台自动作为从机运行。监控计算机对网络上数据的访问可采用周期性垂询和主机网络变量的形式。

路由器为网络数据的传输提供路由,隔离网络交通,从而减轻网络负载,提高网络利用率。路由器不做任何与控制有关的操作。

设备管理器(DM)是用于实现节点设备管理功能的基于 Neuron 芯片的网络节点。它与 LONWORKS 网络管理器的不同之处在于该管理器不进行网络管理决策。该管理器可自动实现节点的配置、删除、替换以及节点事件的记录。它在被配置完成、接入网络后,能够在网络起动时自动寻找网络上未配置的节点,并识别它是否属于该子网。设备管理器中存有网络中被管理设备的列表(Managed device list),是在网络设计时通过 LonMaker for Windows 生成并压缩到设备管理器中的。设备管理器可用来管理具有单个信道或两个信道的网络,它通过路由器来识别不同的信道。在本应用中,DM 用于管理单个信道,当它发现路由器不存在时,不会配置网络。

控制节点是用于实现动车组各种控制功能的模块化功能单元,分为基于 Neuron 芯片的节点(Neuron

Chip Hosted Node)和基于其它 CPU 的节点(Host Based Node)。根据功能的不同实现不同的控制。

便携式计算机配有 LONWORKS 网络管理工具,主要用于实现网络的安装、调试,以及网络出现较大变化时的网络维护。

该方案的优点是:

(1) 结构简单、明晰,模块化的结构易于实现较大的功能完备的控制网络。

(2) 路由器和设备管理器的采用使得简化了网络管理,易于实现节点的安装和更换,同时也减少了列车重新编组时的工作量。

缺点是每节车厢一个子网的配置在拖车网络设备较少时增加了工程造价,也使得网络过于繁杂。

3.2 方案二

如图 4 所示。该方案也采用了分级总线结构,分为列车总线和车辆总线。不同之处在于,它采用了一条独立的车辆总线,所有的拖车节点设备均挂在这条总线上,由一个设备管理器来管理。车辆总线通过一个路由器与列车总线相连。其它均与方案一相同。方案二适用于拖车设备较少的情况,拖车设备对实时性要求不强,故对网络延时要求较低。

3.3 方案三

如图 5 所示。方案三只是实现了动车部分的控制。是一个最小系统。在该方案中未采用路由器和设备管理器,各控制节点直接挂在列车总线上。因而无车辆总线。显示器实现系统信息的显示,可用作网络管理器进行网络的安装、调试和维护。也可通过便携式计算机实现网络的管理,网络配置完成后即可将计算机脱离网络。

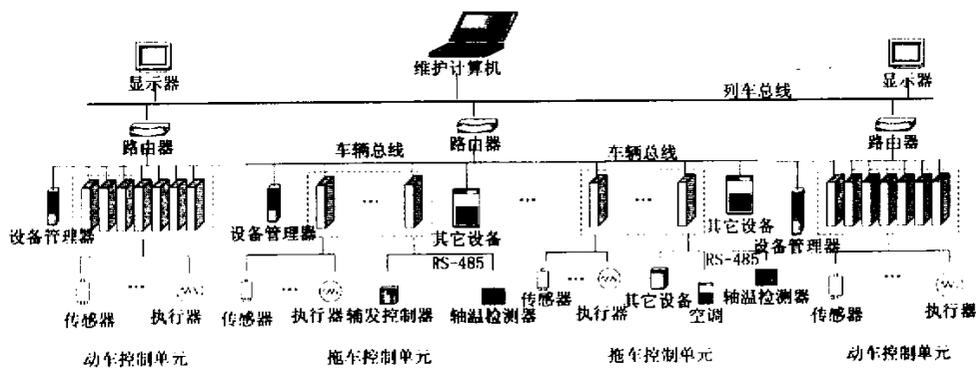


图 4 系统方案二

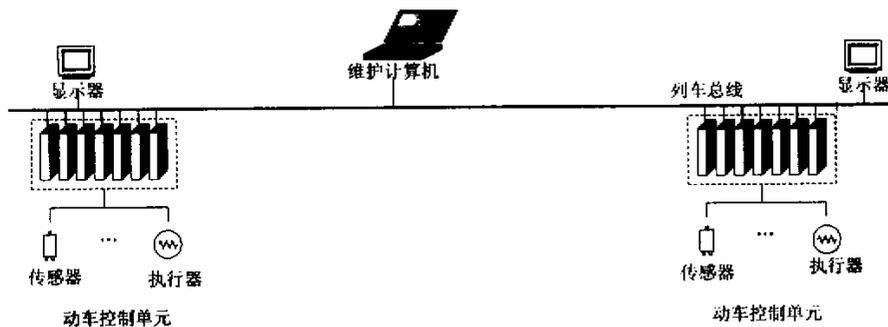


图 5 系统方案三

网络为全分布对等式 (Peer to Peer) 的结构。在网络中无主控节点,各节点按照自己的应用程序运行,通过网络变量或显式报文的绑定 (binding) 关系实现数据的交换。通过司机的钥匙开关实现动车组主控制端的选择,在主控制端确定后,非控制端的操作自动无效。与前两者相比,方案三是一个简便易行的方案。由于没有拖车部分,拓扑结构又相对简单,因而系统的开发工作量相对较小,易于实现。这是针对目前我国动车组应用现状的一个方案。

4 实施

通过对各方案的分析和论证,决定先采用方案三研制一套适合我国国情的最小系统,为 LONWORKS 技术在动车组中的应用作初步的尝试,在该系统研制完成并经过运行考核后,实施方案二和方案一的系统。系统的研制是基于四方机车车辆厂生产的液力传动内燃动车组,其硬件接口与该动车组上现有系统兼容。系统研制完成后,进行了静态试验、电磁兼容性试验和装车试验。该系统已经过了五万多公里的考核运行,目前系统运行正常,工作可靠。

5 结束语

随着我国动车组的发展,列车控制网络的发展也

进入了一个全新的阶段。在这个背景下,本课题立足于在开放的技术的基础上开发全新的适于我国现状的动车组控制系统,在网络的观念下,进行了动车组网络控制的初步尝试。该系统脱离了原有传统的列车控制技术,完全采用 LONWORKS 技术实现内燃动车组的控制,这在我国机车车辆行业内尚属首次。这个系统的研制成功,为基于通用的、开放的技术建立我国自己的列车控制系统奠定了基础。

LONWORKS 技术作为一个开放的、网络化的并随着国际 IT 技术不断发展的技术,在铁路运输控制方面具有广阔的发展前景,必将推动我国机车车辆控制技术的发展。

参考文献:

- [1] 奚国华,路向阳,夏寅.我国列车通信网络的实践与开发探讨[J].机车电传动,2000,(1).
- [2] IEEE Standard for Communications Protocol Aboard Trains [S]. IEEE Std., 1473—1999.
- [3] 杨育红.LON 网络控制技术及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [4] LONTALK™ Protocol [S]. LONWORKS Engineering Bulletin, 1993.

(责任编辑 姚家兴)