

# 开放式数控总线标准中数据链路层研究

胡毅<sup>1,2</sup>, 于东<sup>2</sup>, 尹震宇<sup>2</sup>, 刘明烈<sup>2</sup>

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院沈阳计算技术研究所高档数控国家工程研究中心, 沈阳 110171)

**摘要:**在制定开放式数控系统总线接口与通信规范标准的基础上, 针对数控系统的特点, 提出一种基于抽象数据链路层和实际数据链路层的双子层数据链路层结构模型, 讨论抽象数据链路层的服务和协议规范以及与实际数据链路层间的封装与映射机制, 并实现应用层和实际数据链路层间的服务与协议转换。

**关键词:**数控总线; 抽象数据链路层; 实际数据链路层; 封装; 映射

## Research on Data Link Layer in Standard of Open Numerical Control Bus

HU Yi<sup>1,2</sup>, YU Dong<sup>2</sup>, YIN Zhen-yu<sup>2</sup>, LIU Ming-lie<sup>2</sup>

(1. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039; 2. National Engineering Research Center for High-End CNC, Shenyang Institute of Computer Technology of Chinese Academy of Science, Shenyang 110171)

**【Abstract】** On the basis of establishing the Open Numerical Control(ONC) system bus interface and communication criterion, a new structure model for Data Link Layer(DLL) with two sublayers based on abstract DLL and real DLL is proposed by analyzing the characteristic of Numerical Control(NC) system. The services and protocol standards of abstract DLL and the encapsulating and mapping between abstract DLL and real DLL are discussed. Moreover, the conversion of services and protocols between application layer and real DLL is implemented.

**【Key words】** Numerical Control Bus(NCB); Abstract Data Link Layer(ADLL); Real Data Link Layer(RDLL); encapsulating; mapping

### 1 概述

开放式数控(Open Numerical Control, ONC)系统强调互换性、伸缩性、互操作性和可移植性, 是数控技术发展的趋势<sup>[1]</sup>。但其存在许多制约因素, 如标准化问题。世界各国均开展了相关研究, 其中包括: 美国的NGC和OMAC计划, 欧洲的OSACA计划, 日本的OSEC计划<sup>[2]</sup>。我国工业机械电气系统标准化技术委员会也成立了“开放式数控系统国家标准制订委员会”, 专门从事国内开放式数控系统的标准研究。经多家单位合作, 目前已制定实施了2个关于机械电气设备开放式数控系统的国家标准, 即GB/T 18759 第1部分: 总则<sup>[3]</sup>以及GB/T 18759 第2部分: 体系结构<sup>[4]</sup>。其中, 总则部分规定了开放式数控系统的功能特征、系统基本体系结构及通信接口; 体系结构部分规定了开放式数控系统的基本体系结构, 定义了体系结构中各功能组建及其主要功能模块。目前, 笔者所在单位正在起草标准的第3部分, 即机械电气设备开放式数控系统中控制装置与驱动、I/O间总线接口与通信规范标准。该部分规定了开放式数控总线协议, 目的在于支持控制装置与驱动装置和I/O装置之间传输应用请求和响应, 支持远程应用间的交互操作。

在数控应用领域中, 设备间互联存在多种不同的规范标准<sup>[5]</sup>。不同厂家的互联标准对总线物理层和数据链路层的同步传输、实时性保证采用不同的实现方法, 这些规范标准各有优劣。因此, 总线标准协议中的数据链路层设计显得尤为关键。为兼顾现有的国际、国家标准或事实标准, 满足用户对于制造商无关性和开放性的要求, 本文主要讨论如何设计数控总线的数据链路层, 以便允许用户选用现有IEC或GB/T

标准的数据链路层, 并提出新的解决方案, 即把数据链路层分为抽象数据链路层(Abstract Data Link Layer, ADLL)和实际数据链路层(Real Data Link Layer, RDLL), 提供ADLL的服务和协议规范以及与RDLL之间的封装与映射, 以便对用户选用的各种实际数据链路层和物理层提供支持, 实现应用层和实际数据链路层之间的通信协议转换。

### 2 总线协议模型

基于总线接口与通信规范的设计要求, 参考ISO/OSI开放式系统互联模型, 本标准采用层次化体系结构, 由物理层、数据链路层、应用层与用户层行规4层组成, 如图1所示。

ISO/OSI RM	数控总线(NCB)IM
不存在	用户层行规
OSI 应用层	应用层
OSI 表示层	不存在
OSI 会话层	
OSI 传输层	
OSI 网络层	抽象数据链路层 RDLL 实际数据链路层 ADLL
OSI 数据链路层	
OSI 物理层	物理层

图1 总线协议模型

对图1的说明如下:

**基金项目:** 国家“863”计划基金资助项目(2006AA04Z235)

**作者简介:** 胡毅(1982-), 男, 博士研究生, 主研方向: 现场总线, 开放式数控系统, 网络控制系统; 于东, 研究员、博士、博士生导师; 尹震宇, 副研究员、博士; 刘明烈, 研究员

**收稿日期:** 2008-10-15 **E-mail:** huyi@sict.ac.cn

(1)用户层行规。总线网络的应用进程，以数据结构形式给出用户命令，包括通信管理命令、装置控制命令、运动控制命令以及 I/O 控制命令。

(2)应用层。包括应用层服务和应用层协议 2 方面。应用层服务为用户层行规提供服务；应用层协议规定应用层数据规范和服务状态机以及与协议的映射、封装和差错控制。

(3)数据链路层。分为抽象数据链路层和实际数据链路层 2 个子层。ADLL 为应用层和 RDLL 提供转换。RDLL 是制造商和用户可选的现有标准数据链路层，不作具体规定，只提出可选时的要求。

(4)物理层。与实际数据链路层一样，只提出了可选时的要求。

### 3 总线数据链路层的设计

本文只对数据链路层提供的协议规范、服务内容、性能指标以及应用层的接口加以规范，并将规范化的服务接口、协议规范划为抽象数据链路层。数据链路层服务内容的具体实现开放给用户，允许选用已有的行业标准中数据链路层协议作为数据链路层服务的具体实现，并构成实际数据链路层。通过在数据链路层中构建抽象数据链路层来约束各数据链路层服务的内容和性能，并将实际数据链路层开放给用户，以完成对数据链路层服务内容的具体实现，构成开放式的数控总线结构。数据链路层体系结构模型如图 2 所示。

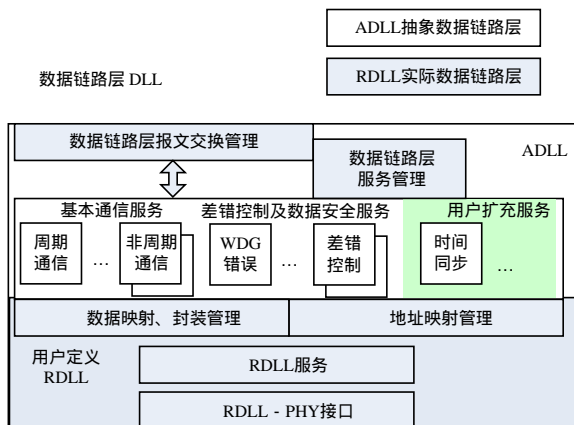


图 2 数据链路层体系结构模型

数据链路层设计内容如下：

(1)实现与应用层间的数据交互，将应用层发送的协议数据单元 APDU 数据结构封装成数据链路层的报文帧结构；将数据链路层的帧解封为应用层可读的应用层协议数据单元 APDU 数据结构并传送给应用层。

(2)为应用层的数据通信服务提供实时、无差错的通信链路，实现源站节点到目的站节点间的可靠数据传输操作。

(3)抽象数据链路层提供抽象的数据链路帧结构，并实现与实际链路层使用的数据帧间的封装、映射等数据交换操作。

(4)实际数据链路层允许用户根据需要选用现有 IEC 或 GB/T 标准协议。同时该层提供完整封装的数据链路层帧结构，实现与物理层的数据交互。

#### 3.1 数据链路层的服务

数据链路层服务包括：与数据通信相关的周期通信服务、非周期通信服务及通信管理服务，与时钟同步相关的时钟同步服务以及与数据安全相关的差错控制服务、链路安全服务。为能有效地使现有 IEC、GB/T 定义的数据链路层标准与本标准的应用层间进行结合，在抽象数据链路层中给出服务内容、

接口定义和基本性能指标，允许用户在实际数据链路层中实现所规定的的数据链路层服务。

#### 3.2 抽象数据链路层的服务

抽象数据链路层向应用层提供标准的数据交换接口。在抽象数据链路层中，将数据链路层服务按应用需求分为：基本通信服务，差错控制及数据安全服务以及用户扩充服务。

(1)基本通信服务规定了数据链路层通信过程所需的周期通信服务、非周期通信服务以及通信管理服务，这些服务保证了数据链路层数据通信的有效进行。

(2)差错控制及数据安全服务为用户提供数据通信服务的安全性保证，包括数据报文的可靠送达、监测网络连接错误等。定义包括 ADLL 数据通信差错控制机制、WatchDog 控制、数据的可靠性传输等服务机制，采用 FCS、CRC 以及奇偶校验等方法。

(3)用户扩充服务包括时间同步服务以及用户扩充接口，时间同步服务提供基本的时钟同步服务以及高精度时钟同步服务。用户扩充接口允许用户在抽象数据链路层中根据实际应用需求扩充自己的数据链路层服务，实现数据链路层上的开放式数控总线设计架构。

本文主要探讨在抽象数据链路层中所必须的服务接口定义、参数、基本性能以及基本功能描述。以基本通信服务中的周期通信服务为例，描述如下：

(1)功能描述。提供基本的周期性通信，该服务保证所有主站发往从站的数据均能实时到达。

(2)基本要求。在 10 个站点组建的网络条件下，最小通信周期应达到 250 μs。

(3)基本服务命令接口。1)周期读。从指定网络地址、地址空间读取指定长度的数据信息。其中，基本输入参数有：<网络地址>，<I/O 空间>，<数据长度>，<用户数据报文>；基本返回参数有：<网络地址>，<I/O 空间>，<数据长度>，<用户数据报文>。2)周期写。将数据报文传输给指定的网络地址或 I/O 空间。返回数据中包含从该空间返回的数据，若该次数据通信不包含需要返回的信息，则报文区返回空数据报文。周期写基本服务命令接口与周期读一致。

非周期通信服务主要用以传输网络维护所需命令，也为没有传送时间性要求的任务提供通信服务。通信管理服务提供基本的通信建立连接、释放连接控制、通信状态监测等服务操作。

#### 3.3 实际数据链路层的服务

在实际数据链路层中包括规定的的数据链路层通信服务的具体设计实现以及用于实际数据通信的数据链路层报文的封装。在实际数据链路层中所使用的的数据报文与抽象数据链路层中所使用的的数据报文通过 2 层之间的数据封装及数据映射服务实现交换。

#### 3.4 封装及映射

抽象数据链路层向应用层提供抽象的、结构统一的数据帧封装以及数据通信操作方法，将实际数据链路层的数据帧结构与应用层协议数据单元 APDU 间的转换相隔离。保证实际数据链路层无论使用何种协议以及数据帧结构均可向应用层提供规范的、标准的数据帧封装方式以及统一的数据通信服务接口。

抽象数据链路层数据帧与实际数据链路层数据帧之间的转换操作主要通过封装和映射机制实现。封装操作是将指定的 ADLL 帧结构数据直接放在 RDLL 数据帧结构的数据区。

图3表示ADLL数据帧结构通过封装操作构成RDLL数据帧。

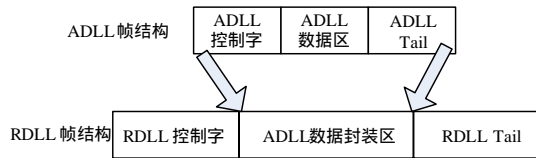


图3 封装操作

映射操作是将指定的ADLL帧结构数据分解,根据RDLL帧结构规定将分解后的各个数据元素内容放置到RDLL帧对应规定位置。图4表示ADLL数据帧结构通过映射操作构成RDLL数据帧结构。

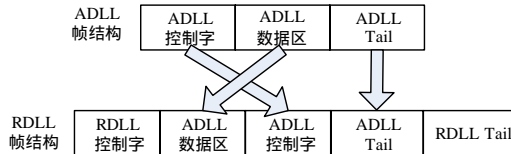


图4 映射操作

### 3.5 协议规范

有关RDLL的数据链路层协议规范可参用户选用的RDLL规范及定义,这里只定义ADLL的协议规范。在ADLL中规定的基本地址范围为0~255,其中,0和255是主站地址;其余地址为从站地址。ADLL接收应用层消息,并组建成ADLL报文,该报文包括2部分:ADLL用户数据报文以及ADLL控制信息数据结构。ADLL用户数据报文存放RDLL数据区的数据内容,并采用连续内存空间的结构进行存储。

ADLL控制信息数据结构中包含RDLL数据报文以及RDLL数据通信使用的控制命令和状态信息。根据ADLL控制信息数据结构构造RDLL数据报文头部信息。以下为ADLL控制信息数据结构的伪代码描述:

```
ADLL_Hdr
{
D-addr; //目的地址
S-addr; //源地址
Data-Length; //ADLL用户数据报文的长度
RDLL-Type; //RDLL使用的协议类型
Data-Check; //RDLL数据报文的校验值
Head-Check; //RDLL数据报文头部信息校验值
WDG; // WatchDog 服务
SN; //数据报文序号,按照构造的RDLL数据报文顺序递增,是
//数据报文的唯一标识
Send_DateTime; //RDLL数据报文发送时间戳
```

(上接第279页)

和SIS在ER随机图与SF无标度复杂网络上的传播行为。在模拟实验中分别考察不同的概率以及不同网络环境对流行病毒传播的影响。数值模拟结果显示该元胞自动机模型能较好地模拟病毒在网络中的传播过程。

### 参考文献

[1] Watts D J. The 'New' Science of Networks[J]. Annual Review of Sociology, 2004, 30(10): 243-270.  
 [2] 汪小帆, 李翔, 陈关荣. 复杂网络理论及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

```
Rcv_DateTime; //RDLL数据报文接收时间戳
Union CTRL //控制字
{
DCheck_EN; //RDLL数据报文校验使能位,该位为“1”时,
//表示进行RDLL数据报文校验
HCheck_EN; //数据报文头部报文校验使能位,该位为“1”时,
//表示进行RDLL数据报文头部报文信息的校验
Synbit; //周期性报文标记,该位为“1”,表示本数据报文为周
//期数据报文,否则为非周期数据报文
StoreTypebit; //数据存储格式,该位为“1”表示数据在内存中
//的存储格式按照“Intel”格式进行存储,该位为“0”表示数据在
//内存中按照“MAC”格式进行存储
};
```

由于ADLL数据帧不直接交付至物理层,因此在ADLL中不定义起始定界符BOF及结束定界符EOF,而由具体的RDLL定义。

### 4 结束语

本文分析了开放式数控总线标准中数据链路层的设计过程,提出一种新的解决方案,即把数据链路层分为抽象数据链路层和实际数据链路层,目的是确保用户可以选用更多的国际、国家或事实标准作为其数据链路的通信机制,这种设计能满足开放式数控系统对总线互联的需求。本文研究的内容是GB/T18759-3协议——开放式数控系统的控制器与驱动、I/O间总线接口与通信规范标准制定工作的组成部分之一,该设计模型在2008年3月底召开的GB/T18759-3“接口与通信”项目组第一次工作会议上得到了SAC/TC 231标委会专家组的认可。

### 参考文献

[1] Asato O, Kato E, Inamasu R, et al. Analysis of Open CNC Architecture for Machine Tools[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, 2002, 24(3): 208-212.  
 [2] Pritschow G, Altintas Y, Jovane F, et al. Open Controller Architecture——Past, Present and Future[J]. College Int'l Pour la Recherche Productique, 2001, 50(2): 463-470.  
 [3] 开放式数控系统国家标准起草工作组. GB/T 18759.1-2002 机械电气设备开放式数控系统第一部分:总则[S]. 北京:中国标准出版社, 2003.  
 [4] 开放式数控系统国家标准起草工作组. GB/T 18759.2-2006 机械电气设备开放式数控系统第二部分:体系结构[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.  
 [5] 王军, 王宏, 徐皓冬, 等. 基于EPA的无线与有线网段的集成方案研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(14): 236-237, 248.

[3] Erdős P, Rényi A. On the Evolution of Random Graphs[J]. Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci., 1960, 27(3): 17-60.  
 [4] Barabási A L, Albert R. Emergence of Scaling in Random Networks[J]. Science, 1999, 286(5439): 509-512.  
 [5] Bailey N T J. The Mathematical Theory of Infectious Diseases and Its Applications[M]. New York, USA: Hafner Press, 1975.  
 [6] Anderson R M, May R M. Infectious Diseases of Humans[M]. Oxford, UK: Oxford University Press, 1991.  
 [7] Stephen W. A New Kind of Science[M]. [S. l.]: Wolfram Media Inc., 2002.

