

文章编号: 1002-0411(2002)04-320-05

## 基金会现场总线用户层协议分析与实现

周 侗<sup>1</sup> 何旭东<sup>2</sup> 陈 瑶<sup>3</sup> 魏剑嵬<sup>1</sup> 吕 勇<sup>1</sup>

(1. 中科院沈阳自动化所 CAD 与网络系统研究室 沈阳 110016; 2. 沈阳市热力设计研究院;  
3. 沈阳大学师范学院)

**摘 要:** 现场总线是目前自动控制技术发展的趋势. 基金会现场总线(Foundation Fieldbus)在众多现场总线中脱颖而出, 成为技术上最先进的现场总线. 基于基金会现场总线标准的用户层协议的实现有助于开发面向仪器、仪表等控制设备的应用, 促进我国自控技术的数字化、智能化进程. 本文从协议及软件的角度分析了用户层协议, 给出了基金会现场总线用户层协议的设计模型及实现方法.\*

**关键词:** 基金会现场总线; 用户层; 协议; 软件; 控制; 设计

中图分类号: TP13

文献标识码: B

### ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF USER LAYER PROTOCOL OF FOUNDATION FIELDBUS

ZHOU TONG<sup>1</sup> HE Xu-dong<sup>2</sup> CHEN Yao<sup>3</sup> WEI Jian-wei<sup>1</sup> L U Yong<sup>2</sup>

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences Shenyang 110016)

**Abstract:** Fieldbus is a development direction for automation control technology. FF is coming to become the advanced fieldbus technology out of all fieldbus technologies. Implementation of user layer protocol is helpful for the development of digital and intelligent automatic control system. From the perspective of protocol and software, the article analyses user layer protocol and submits the design model and design method of user layer protocol of foundation fieldbus.

**Keywords:** foundation fieldbus, user layer, protocol, software, control, design

### 1 引言(Introduction)

现场总线作为目前自动化领域技术发展的热点之一, 是综合运用微处理器技术、网络技术、通信技术和自动控制技术的产物, 是自动控制技术的发展方向. 现场总线被誉为自动化领域的计算机局域网, 可被广泛应用于制造业、流程工业、楼宇、交通等处的自动化系统中, 它的出现标志着自动控制技术的发展进入了新时代.

基金会现场总线(FF, Foundation Fieldbus)是技术是最先进的、全分布式的自动化系统, 主要功能是对工业生产过程进行测量、信号变送、控制等, 实现对生产过程的自动检测、监视、自动调节、顺序控制和自动保护, 保障工业生产处于安全、稳定、经济的运行状态. 基金会现场总线是一种在过程自动化领域得到广泛支持和具有良好发展前景的技术. 基金会现场总线是以 ISO/OSI 开放系统互连模型为基础, 取其物理层、数据链路层和应用层构成 FF 通信模型, 并在应用层上增加了用户层. 用户层是用户

层协议(FBShell)和功能块应用进程的结合, 主要针对对自动化控制应用的需要.

目前我国已拥有了具有自主知识产权的 FF 协议通信软件, 开发基于基金会现场总线技术的用户层协议软件有助于开发基于 FF 的仪器、仪表等控制设备, 促进我国自控技术的数字化、智能化进程. 据我们所知, 在“九五”期间, 国内对自动化仪表产品的年需求量超过 130 万台, 其中主控装置 15 万套, 变送器 14 万套, 检测仪表 50 万套, 调节器 20 万套, 并且预计今后需求会进一步增长.

本文根据现场控制的需求, 在分析 FF 通信协议模型的基础上, 从软件角度提出了基金会现场总线用户层协议的设计模型及实现方法.

### 2 基金会现场总线协议模型(Model of FF protocol)

目前在控制领域有影响的几种现场总线, 如

\* 收稿日期: 2001-12-10  
基金项目: 国家 863 计划专项经费资助

CAN、PROFIBUS、LonWorks 等都是  
以 ISO/OSI 开放系统互连模型为基础并考虑自动化控制系统的

特点而设计的, 只是取舍各有不同, 因此将 FF 通信协议模型与 ISO/OSI 模型进行比照就很有必要.

表 1 ISO/OSI 模型与 FF H1 协议模型对比

Tab. 1 Contrast between ISO/OSI model and FF H1 model ISO/OSI Model

ISO/OSI Model	FF H1			
用户层	功能块应用进程 (FBAPs)	对象字典 (OD)	系统管理 (SM)	网络管理 (NM)
	用户层协议 (FBSHELL)			
layer7: 应用层	信息规范子层 (FMS)		对象字典 (OD)	网络管理 (NM)
	总线访问子层 (FAS)			对象字典 (OD)
layer6: 表示层				
layer5: 会话层				
layer4: 传输层				
layer3: 网络层				
layer2: 数据链路层	数据链路层 (DLL)			
layer1: 物理层	物理层 IEC61158PHY(31.25Kb/s)			

如表 1 所示, FF 通信模型根据现场通信信息短、实时性要求高的特点, 舍去了 ISO/OSI 模型中的网络层、会话层、传输层和表示层, 并将这些层的必要功能作为应用层和数据链路层功能的补充而进行了实现. 包括用户层在内, FF 通信模型为四层结构, 其中物理层规定了信号如何发送; 数据链路层规定如何在设备间共享网络和调度通信; 应用层则规定了在设备间交换数据、命令、事件信息以及请求应答中的信息格式; 用户层则在用户层协议的基础上定义了组成用户需要的应用程序的规范, 如规定标准及扩展的功能块、设备描述等. 在软、硬件开发过程中, 将除去物理层和用户层后的其余部分统称为协议栈, 这样用户层协议的实现就是在协议栈基础上的设计和开发过程.

由表 1 可知, FF 通信模型还包括系统管理模块和网络管理模块, 其中系统管理模块通过系统管理信息库 (SMIB) 来负责系统相关的管理任务, 如设备中功能块调度、设备间的时钟同步、设备标识设定、地址分配等; 网络管理模块借助于网络管理信息库 (NMIB) 来支持系统信息的访问、虚拟通信关系 (VCR, Virtual Communication Relationships) 管理等功能, 这些功能是通过对象字典 (OD, Object Dictionary) 来实现的. 对象字典中包含设备中所有网络可见对象 (即参数) 的描述信息, 如对象的对象代码、数据类型、长度、访问权限等它是设备间信息交换的基础.

### 3 基金会现场总线用户层分析 (Analysis on FF user layer protocol)

基金会现场总线用户层从内容上分为两大部分: 现场总线功能块应用集合 (FBAPs) 和用户层协议 (FBSHELL).

FBAPs 中的功能块应用进程是用户层的重要组成部分. 功能块应用进程提供一个通用结构, 把实现控制系统所需的各种功能划分为不同功能模块, 使其公共特征标准化, 规定它们各自的输入、输出、算法、事件、参数与块控制机制, 通过功能块调度来完成自动化系统控制功能. 详见图 1.

用户层中的功能块应用是通过虚拟设备 (VFD) 来组织的. VFD 是定义了物理设备中可被远程通信伙伴所见的数据描述和行为规范的模型, 是设备中网络可视对象和其行为的体现. 在功能块开发过程中, 可根据需要将所有的功能块应用划分到一个或多个 VFD 中去. 一个物理设备中至少有两个 VFD, 其中一个为协议栈的管理 VFD.

FBAPs 的基本元素是对象, 对象是共享相同数据结构、具有共同行为的数据定义. 主要的对象有以下几类:

#### 3.1 块对象

资源块 (Resource Block) 每个 VFD 中有且仅有一个资源块, 资源块描述了其硬件和软件资源特性, 如设备名、制造商 ID 等. 资源块算法监视相关软件和硬件的状态并通过资源块参数反映出来, VFD 所属的功能块应用正是基于资源块的状态来

运行的。

变换块 (Transducer Block) 负责处理功能块

应用中与硬件相关的输入和输出数据, 并进行相应的变换, 如数据的线性化。

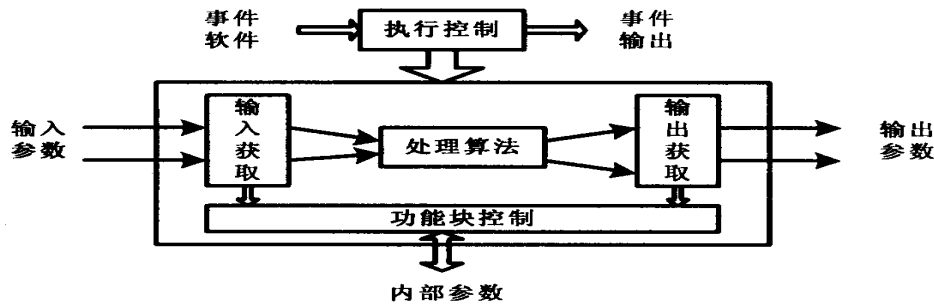


图1 功能块的内部结构

Fig. 1 Internal structure of function block

功能块 (Function Block) 功能块是参数、算法和事件的完整组成, 通过算法将输入参数转换为输出参数, 实现应用系统的控制功能。功能块应用进程是硬件无关的, 通过资源块和变换块将其与硬件隔离开来。功能块的执行是在 FBShell 的控制下按周期性调度或按事件驱动的, 并可实现跨 VFD、跨设备的数据交互。

### 3.2 链接对象

链接对象包含相关联参数在 OD 中的索引、通信时可用的 VCR 资源、操作方式等信息。链接对象用于实现功能块之间的参数传递和功能集成。

组态时, 设备中的链接信息是由接口设备写入的, 这种关系可以是在本地内或跨物理设备的。每对输入和输出关系都需一个链接对象来描述。

### 3.3 报警对象

用于描述块的报警和事件。

### 3.4 趋势对象

对功能块的趋势性参数进行采样, 提供参数采样值的短期存储, 以便接口设备接收这些信息。趋势对象包含最近 6 个采样值及其状态, 以及最近一次采样的时间。

### 3.5 视对象

视对象是一个线性表, 包含一组被可一次性访问的参数的 OD 索引, 这样可通过一个读服务访问多个数据。它主要用于获得运行、诊断、组态的信息。

FBShell 为 FBAPs 与外界的交互行为提供服务支持。这些服务为 FB\_Write, FB\_Read, FB\_Alert\_Notify, FB\_Alert\_Ack, FB\_Tag, FB\_Action, 通过这些服务可实现 FBAPs 中对象读/写、报警操作、块标识修改等功能。

## 4 FBShell 模型定义及实现 (FBShell Model Definition and Implement)

在分析用户层协议的基础上, 我们将 FBShell 分为功能块应用接口、用户层对象管理和用户层服务接口三个模块, 模块间通过独立的接口实现交互, 如图 2 所示。

### 4.1 功能块应用接口模块

功能块应用接口模块负责将功能块应用同具体的事务处理过程隔离开, 为功能块应用提供报警处理、数据输入/输出等功能接口。

#### 4.1.1 报警处理接口

函数原型: `unsigned char FbUserAlertNotificationReq (`

```
    unsigned char ucBlkN,
    unsigned char ucType,
    unsigned char * pucAlertObj)
```

功能: 接收来自功能块应用的报警消息, 处理后放入报警队列中。

参数定义: `ucBlkN` 发送报警的块的序号, 如资源块为 0, AI 块为 1 等。

`ucType` 指示警报的类型 ((1): Analog, (2): Discrete, (3): UpdateEvent)

`pucAlertObj` 指向由功能块应用填写完毕并欲发送的 ALERT 对象的指针。

#### 4.1.2 数据输出接口

函数原型: `unsigned char FbUserPublishOutputReq (`

```
    unsigned int uiIndex,
    unsigned int uiLength,
    unsigned char * pucData)
```

功能: 接收功能块应用的输出数据, 经处理后通过协议栈中 FMS 子层提供的 InformationReport 服务发送出去.

参数定义: uiIndex 欲发数据在 OD 中的索引.  
uiLength 欲发数据的长度.  
pucData 指向欲发送数据的本地指针.

### 4.1.3 数据输入接口

功能块应用接口模块为每个功能块维护一个输入数据缓冲区, 将应由功能接收的输入数据放入相应的缓冲区中, 功能块在被调度执行时主动到相应缓冲区中读取输入数据.

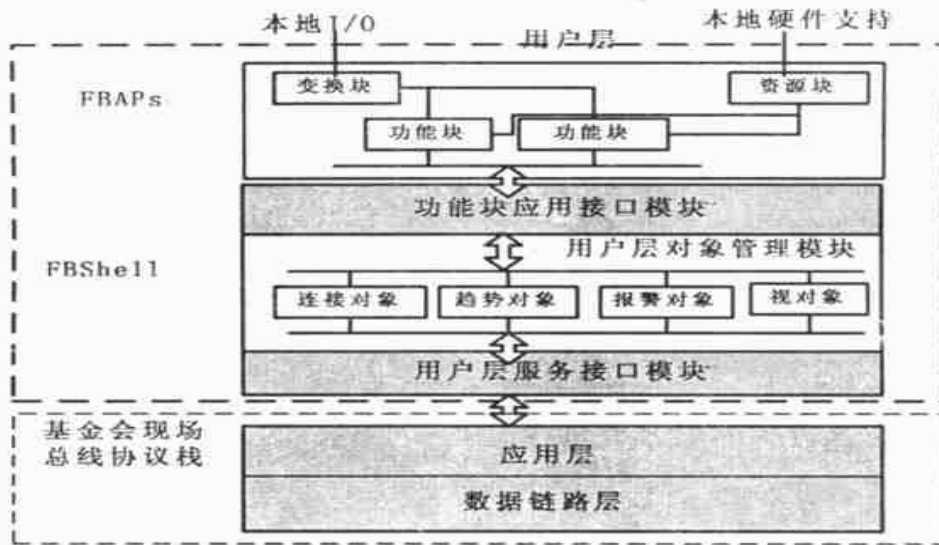


图 2 基金会现场总线用户层协议模块化结构描述

Fig. 2 Description of FF user layer protocol modularization

### 4.2 用户层对象管理模块

用户层对象管理模块负责用户层初始化、管理报警队列、维护链接对象表、管理用户层对象字典(OD)等工作. 在此我们着重讨论针对几个问题的处理策略.

用户层协议的初始化 用户层协议的初始化是非常重要的一个环节, 分成两种情况处理. 一种是第一次运行时的初始化, 这一过程需要清除所有块内存空间并为资源内各组件的参数及辅助参数赋缺省值. 在初次运行的一段时间内, 将所有静态数据和非易失数据全部写入 EEPROM 中保存, 以后在设备运行过程中, 被修改的静态数据要即时写入 EEPROM.

另一种是断电后重启时的初始化, 为了保证设备能从断电前的状态继续运行, 这时资源内各组件的参数及辅助参数的值应从非易失内存中拷贝出来, 也就是恢复设备断电前各参数的值, 然后再运行.

报警队列管理 用户层中的报警处理工作需处理报警的发送及报警应答和确认的接收. 报警发送过程分三个步骤, (1) 接收功能块应用发出的报警并放入报警队列中, (2) 在功能块执行完毕时, 从报

警队列中根据报警的优先级和时间戳选出应发的报警, (3) 将欲发的报警定制成报文, 通过用户层服务 FB\_Alert\_Notify 传给协议栈, (4) 根据报警状态机调整该报警的处理状态. 报警应答和确认接收处理过程如下, (1) 通过 FB\_Write 和 FB\_Alert\_Ack 服务收到报警的应答和确认, (2) 在报警队列中找到该确认和应答对应的报警, 根据报警状态机调整该报警的处理状态, 并将报警应答和确认转发给相关的功能块应用, 以保证报警的发送、应答和确认过程的完整.

链接对象表维护 用户层维护着一个线性链接对象表, 其长度可根据设备的功能块数目进行调整. 链接对象表由接口设备在对此设备组态时进行写操作. 通过此表可确定功能块参数间的连接关系.

用户层对象字典管理 用户层为每个 VFD 建立并维护一个对象字典. 对象字典中包含每个 VFD 中所有网络可见对象和参数的描述. 接口设备通过系统管理模块中的 SMIB 知道物理设备中 VFD 的个数, 再通过每个 VFD 的对象字典了解每个 VFD 中所含变换块、功能块及所含参数数目的信息. 对象字典是设备间的信息交互的必要途径.

### 4.3 用户层服务接口模块

用户层服务接口模块为功能块应用提供服务支持,通过一对上/下行服务接口来支持用户层与协议栈间的通信.用户层服务接口模块在对报文打包/解包过程中根据服务报文的**Header**来确定服务报文的**功能**.通信接口具体如下:

#### 4.3.1 上行服务接口

功能:接收并分析来自协议栈的上行服务报文.

函数原型: `void HandleMessageFromFmSToFb`

```
(
    SService_Head * psTransferHead,
    void * pSoftingData,
    unsigned int uLength)
```

参数定义: `psTransferHead` 指向收到服务数据中的**消息头**(8个字节)的结构指针,消息头包含了**服务数据的功能**、**数据来源**等信息.

`pSoftingData` 指向接收到的**服务数据**的指针.

`uLength` 接收到的**服务数据**的长度.

#### 4.3.2 下行服务接口

功能:将下行服务报文发送给协议栈.

函数原型: `void HandleMessageFromFbToFms`

```
(
    unsigned char* pucMessage)
```

参数定义: `pucMessage` 发送给协议栈**服务数据**的指针.

### 4.4 FBShell的实现

基于基金会现场总线用户层协议的**模块化模型**,我们对**FBShell**进行了实现.实现环境如下:

- 软件环境

Nucleus 嵌入式操作系统

Borland C++ 5.02 编译环境

Paradigm 应用程序定位及调试软件

### FF H1 通信协议软件

- 硬件环境

FF H1 设备通讯控制器(圆卡)

为了检验**FBShell**的**协议一致性**和**功能完备性**,我们将集成了**FF H1 通信协议**、**FBShell**和**功能块应用(AI, PID, AO)**的**仪表**与国际知名**仪表公司**(如**Sm ar**)的**仪表**进行了**互操作测试**,结果相当令人满意.

## 5 结论(Conclusion)

在分析基金会现场总线的**协议模型**的基础上,本文给出了**用户层协议**的**模块化设计方法**并予以实现.基于先前我们开发并通过国际认可的**基金会现场总线协议栈软件**,结合**用户层协议软件**,我们又开发出了各种**功能块及变换块**,应用效果很好.

基金会现场总线**用户层协议**的开发为**开发面向数字化、智能化仪器和仪表**的应用奠定了**坚实的技术基础**,展示出**广阔的应用前景**.

## 参 考 文 献 (References)

- 1 FOUNDATION (tm) Fieldbus Technical Overview. Revision 1.0, Fieldbus Foundation, 1996
- 2 FOUNDATION (tm) Specification System Architecture. Revision 1.0, Fieldbus Foundation, 1996
- 3 FOUNDATION (tm) Specification System Management. Revision 1.1, Fieldbus Foundation, 1997
- 4 Hirschmann Network Systems. Distributed Communication Architecture. Hirschmann whitepapers
- 5 杨志家,林跃,李亦彪著.基金会现场总线实现可互操作的技术手段.微计算机信息,1998,14(3):
- 6 张云生著.实时控制系统软件设计原理及应用.北京:国防工业出版社,1998

## 作者简介

周 侗(1970- ),男,助研.研究领域为**现场总线、控制网络**.