

一种 1553B 总线远程终端的即插即用的设计

吕 帅^{1,2}, 吕良庆^{1,2}

(1. 中国科学院 国家空间科学中心, 北京 101499; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 随着航天技术的不断发展, 研制即插即用、低成本、小型化的卫星渐渐成为一种趋势, 我国的星上数据管理系统使用 1553B 总线连接各个有数据交换需求的计算机与分系统, 这些计算机与分系统也就成为 1553B 总线的远程终端; 为了设计即插即用的 1553B 远程终端, 对电子数据表单 (Electronic data sheet, EDS)、龙芯 1F 中的 1533B 简易终端进行了研究, 分析了电子数据表单的设计方法和使用方式, 提出了应用 EDS、1553B 通信 EDS 的设计方法; 分析了 1553B 简易终端对龙芯 1F 中测控接口的访问控制方式, 在龙芯 1F 中添加了一个 SPA (Space Plug-and-play Avionics) 接口, 与 1553B 简易终端联合使用, 当龙芯 1F 作为 1553B 总线上的一个终端设备时, 具有了即插即用的特征; 由此说明 1553B 远程终端是可以实现即插即用的, 同时把即插即用这一新的设计理念带入星载数据系统的设计中。

关键词: 1553B; 远程终端; 即插即用; EDS; SPA

One Plug and Play Design of 1553B Bus Remote Terminal

Lü Shuai^{1,2}, Lü Liangqing^{1,2}

(1. National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 101499, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: It has gradually become a trend to develop the plug and play, low cost, miniaturization satellite with the continuous development of aerospace technology. Our country's On Board Data Handling system uses 1553B bus to connect each computer and subsystem which has data exchange requirements, and then these computers and subsystems become the remote terminal of the 1553B Bus. In order to design a plug and play remote terminal of 1553B, the Electronic Data Sheet and the 1553B simple terminal of Loongson 1F were researched. The design method and use mode of electronic data sheet were analyzed, the design method of application EDS and 1553B communication EDS were proposed. The access control mode of the 1553B simple terminal to the telemetry and telecommand interfaces in Loongson 1F was analyzed. A SPA (Space Plug-and-play Avionics) interface which cooperates with 1553B simple terminal was added to Loongson 1F. Loongson 1F possesses the characteristics of plug and play when it was used as a terminal device on the 1553B Bus. It has been illustrated that the 1553B remote terminal can achieve the requirements of plug and play, in the same time this new design concept (plug and play) is brought into the design of the satellite On Board Data Handling system.

Keywords: 1553B; remote terminal; plug and play; EDS; SPA

0 引言

即插即用是指当一个即插即用设备接入系统时, 不需要外部配置过程, 可以在运行过程中动态地由系统进行检测和配置的能力^[1]。

地面即插即用的应用主要集中在设备级, 而设备接入后的系统应用取决于上层应用和人的操作。当即插即用技术用于航天工程领域时, 其内涵发生了变化, 从单纯的设备级的识别扩展到功能和服务的层次。这种变化主要是由于在地面使用即插即用设备时, 只要设备能够被系统识别和连接, 后续的应用就可以交由使用者来决定。但是航天器上层应用的智能化程度较低, 在设备连入系统后, 其使用者只能是更高层次的应用, 以及这些应用背后的地面用户。因此还需要解决应用功能和服务的即插即用问题, 才能够发挥其作用。

目前航天器系统主要使用接口控制文件 (interface control document, ICD) 的形式进行接口描述和协调, 而电子数据单 (Electronical Data Sheet, EDS) 技术的目的是取代这种方式,

供系统自动识别 EDS 描述的部件信息, 并根据其完成对接入部件的自动配置过程, 从而实现即插即用。因此 EDS 的设计是实现即插即用的关键技术之一。

即插即用技术主要的应用场景可以是地面系统集成测试过程, 在轨飞行任务过程中的各组成部分的分离和对接应用, 以及空间星座、编队、组网等应用场景下的不同组成节点之间的动态接入和撤出过程。

1 即插即用技术和 EDS

EDS 是一种机器可读的数据表单, 可以描述一个设备、软件组件或协议的一些细节^[2]。EDS 的典型代表有 IEEE1451 标准协议族的变换器 EDS (Transducer EDS, TEDS), 空间数据系统咨询委员会 (Consultative Committee for Space Data System, CCSDS) 的航天器接口业务 (Spacecraft Onboard Interface Service, SOIS) 的 SEDS (SOIS EDS) 和美国空军实验室 (Air Force Research Laboratory, AFRL) 的空间即插即用架构 (Space Plug-and-play Architecture, SPA) 的 xTEDS (eXtensible TEDS)。

IEEE1451.2-1997 标准^[3-4] 规定了关于变换器与微处理器通信协议和 TEDS, 介绍了智能变换器接口模块 (Smart Transducer Interface Module, STIM) 的概念。变换器可以是

收稿日期:2018-01-31; 修回日期:2018-03-01。

作者简介:吕 帅(1993-),男,山西运城人,硕士研究生,主要从事空间数据处理与传输方向的研究。

传感器、执行器等, STIM 是一种用于连接变换器到微处理器的数字接口, 使制造商生产的变换器可以连接到多种网络中, 并具有“即插即用”特性。STIM 可以连接一个单独的传感器或执行器, 也可以同时连接拥有众多通道的多个变换器, 描述变换器信息的 TEDS 保存在 STIM 中。

CCSDS 的 SOIS 架构旨在规范航天器数据系统的设计和开发, 按照分层协议的思想定义了一系列的分层业务, 并采纳了即插即用的设计思想, 定义了 SEDS, 用于描述设备的元数据, 设备特定功能和获取接口、设备特定获取协议 DSAP, 以及设备抽象控制程序 DACP^[2]。

AFRL 在 2004 年发起了一套新的航天器标准的合作开发, 把计算机工业中所拥有的即插即用技术应用于航天工程。AFRL 在 2007 年公布了空间即插即用电子设备 (space plug and play avionics, SPA) 标准^[5]。SPA 网络一般由星载计算机、嵌入式传感器接口模块 (Appliqué Sensor Interface Modules, ASIMs) 和路由器等组成^[6], 如图 1 所示。

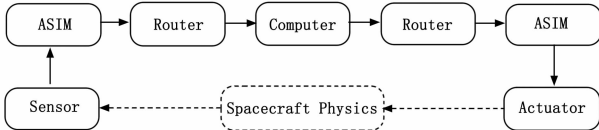


图 1 SPA 网络模型

USB 标准在计算机领域广泛采用。一个完整的 USB 设备是集成了 USB 接口芯片和其它离散组件的一块印制线路板。借鉴 USB 标准, AFRL 对 SPA ASIM 设备的定义是: 带有 SPA 接口的, 集成了陀螺仪、推进器或反作用飞轮等航天器部件的一块印制线路板^[7]。

xTEDS 是 SPA 参考 IEEE 1451 的 TEDS 概念而提出的。在一个 SPA 系统中所使用的每一个硬件设备或软件应用都必须携带一个自我描述的 xTEDS, 这个 xTEDS 能够完整地把组件 (设备或应用程序) 解释给系统^[8]。ASIM 将描述设备的 xTEDS 存储在非易失性存储器中, 当即插即用设备插入到 SPA 网络中时, ASIM 将 xTEDS 上传给系统计算机。

2 龙芯 1F 芯片通用接口设计

龙芯 1F (LS1F)^[9] 是龙芯 1E 处理器的配套 IO 桥芯片, 其上集成了航天领域常用的测控接口和外围接口以替代 FPGA 的使用, 满足了航天领域对核心芯片自主化的需求, 其体系结构如图 2 所示。

LS1F 分为 PCI 总线设备模式、ISA 总线设备模式、自主模式、1553B 总线简易终端设备模式, 分别表示连入系统主机的接口方式。可以桥接的设备端接口包括: CAN 接口、AD 接口、OC 接口、PCM 测控接口、脉冲计数器 PPC、PWM 接口、UART、GPIO 等。

MIL-STD-1553B 是数字式时分命令/响应型多路传输数据总线美国军方标准。1553B 总线包括总线控制器 (Bus Controller, BC), 总线监视器 (Bus Monitor, BM), 远程终端 (Remote Terminal, RT) 3 种类型的通信终端。1553B 总线简易终端模式下, 1553B 总线控制器通过总线通信方式可以对 LS1F 内部的寄存器进行直接配置。

参考文献 [9] 的研究工作主要是 1553B 简易终端和测控接口的设计与验证。RT 通过接收子地址 9 接收 BC 传来的一

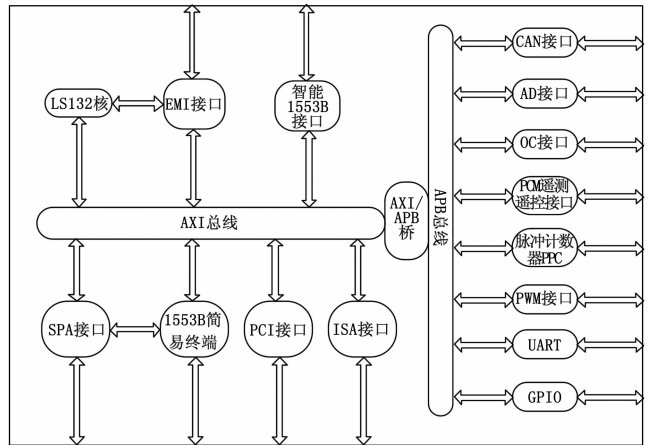


图 2 增加 SPA 接口的 LS1F 体系结构

个数据字, 依之选择并读取一个接口的寄存器值, 然后再通过 RT 发送子地址 9 发送给 BC。例如当数据字为 0 时, 表示读取 AD 的寄存器。数据字取值与各个接口的对应关系如表 1 所示:

表 1 接收子地址 9 数据字与各个接口的对应关系

数据字	读取的接口
0	读取 AD 采集接口各个初始化寄存器值
1	OC 指令脉冲输出部件 0 初始化寄存器值读取
.....
6	脉冲计数器 0-3 初始化寄存器值读取
.....

RT 通过不同接收子地址接收 BC 传来的数据字, 对各个接口控制逻辑进行初始化参数设置。例如通过接收子地址 10 对 AD 采集控制逻辑的初始化参数设置, 如表 2 所示, 包括预分频系数 (fdiv_para)、本次采集所用的通道数 (channel_amount)、输出信号的周期 (period) 等共计 11 个寄存器。

表 2 AD 采集接口初始化参数列表

寄存器名称	寄存器含义
fdiv_para	预分频系数
channel_amount	本次采集所用的通道数
adc_end_para	一个通道转换完成时刻的偏移量设置
period	输出信号的周期
start_front_edge	启动信号的前沿
oe_front_edge	使能信号的前沿
cs_front_edge	片选信号的前沿
start_pulse_width	启动信号的脉宽
oe_pulse_width	使能信号的脉宽
cs_pulse_width	片选信号的脉宽
config_regAD	采集模块配置寄存器

采用同样的方法, 可实现对 OC、PWM、PPC、PCM 控制逻辑等接口的配置。

3 SPA 接口与应用 EDS 的设计

3.1 增加 SPA 即插即用接口的设计思路

上节介绍的 LS1F 芯片通用接口在应用时, 可以由 BC 直接通过 RT 对接入设备进行访问和控制, 从而简化和实现了

RT 的标准化接口功能的设计。但是这种设计需要 BC 对 RT 的设置, 以及通过 RT 接入的设备使用的接口配置事先已知, 从即插即用角度看, 属于需要 BC “全知全能” 的系统设计, 仍然需要 BC 与 RT 以及接入设备之间事先的接口协调过程。

为了增强即插即用的自动识别和自动配置的特征, 借鉴 SPA 的 ASIM 将描述设备的 xTEDS 存储在非易失性存储器的思路, 对 LS1F 芯片通用接口增加了 SPA 接口设计 (见图 2)。在 LS1F 片外增加 EEPROM, 用于存储 xTEDS, SPA 接口负责读取, 其内部功能框图参见图 3。SPA 接口需要解决 2 个问题, 一是 xTEDS 的应用设计, 二是 xTEDS 的实例化设计。

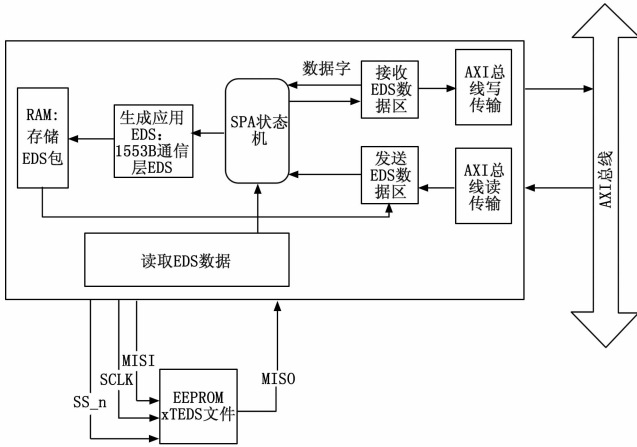


图 3 SPA 接口功能框图

xTEDS 的应用设计方面, 各个接口的配置信息形成的 xTEDS 事先存储在 EEPROM 中, 内容包括 1553B 简易终端配置 EDS 和应用接口 EDS。在上电初始化时, SPA 接口模块将 xTEDS 读出, 并依之完成对 LS1F 各个接口以及 1553B 简易终端接口的配置。再通过各个配置寄存器读取配置的结果, 将其组织成 1553B EDS 和应用 EDS。然后按照 1553B 总线即插即用通信协议的握手关系, 先将 1553B EDS 发送给 BC, 由 BC 负责自动完成对 RT 1553B 总线通信的配置, 并建立正常的通信关系。如果需要, RT 再将应用 EDS 传给 BC, 从而实现 BC 对 RT 及其接入设备的功能级的接口自动识别和应用。

按照这一应用设计, SPA 接口完成的工作包括如下过程:

- 1) 从 EEPROM 中读取 xTEDS 数据;
- 2) 根据 xTEDS 数据配置各测控接口;
- 3) 读取测控接口各寄存器配置完成后的值;
- 4) 生成应用 EDS 和 1553B 通信层 EDS;
- 5) 按照 1553B 总线即插即用协议将 EDS 发送给 BC, 由 BC 完成系统级配置过程。

xTEDS 的实例化设计方面, 每一个接口都有若干寄存器需要配置, 将这些寄存器划分为名称、地址、数据类型和数值 4 种属性, 使用可扩展标示语言 (eXtensive Markup Language, XML) 进行描述。

3.2 1553B 远程终端 xTEDS 文档结构图

根据参考文献 [10] 中的“标准 xTEDS 文档结构图”, 结合参考文献 [9], 提出“1553B 远程终端 xTEDS 文档结构图”, 如图 4 所示。

其中 Interface 元素描述了 1553B 远程终端需要什么数据以及可以提供什么数据。Interface 元素包括三个子元素: No-

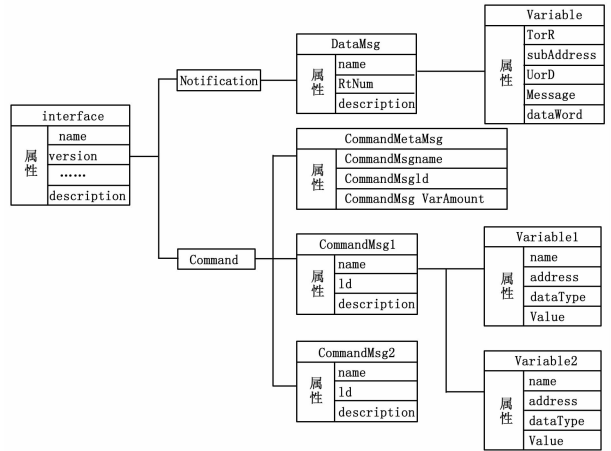


图 4 1553B 远程终端 xTEDS 文档结构图

tification 元素、Command 元素、Request 元素。Notification 元素描述了 RT 要通知 BC 的关于子地址定义的数据 (见第 4 节), Command 元素描述了 BC 要发送给 RT 的对测控接口的命令数据。这三个子元素又通过各自的子元素来描述。Command 元素包括了 CommandMetaMsg 和若干 CommandMsg 子元素。CommandMetaMsg 描述了各个接口的 xTEDS 组成关系, 每一个 CommandMsg 对应一个接口的 xTEDS。

CommandMsg 元素由若干 Variable 元素组成。每一个 Variable 元素包含 name、address、dataType、Value 四种属性, 分别代表某一接口的寄存器名、寄存器地址、寄存器数据类型和寄存器值。

3.3 测控接口 xTEDS 模板

按照图 4 的结构, 根据各个测控接口的初始化配置, 可以定义元描述 xTEDS, 并编辑形成各个接口的 xTEDS。然后在此基础上, 转换成“应用 EDS”的格式。

3.3.1 元描述测控接口 xTEDS

CommandMetaMsg 中 CommandMsg name 是各个测控接口的名称, 供人工可读, CommandMsg id 用来标识各个接口, 供机器可读。CommandMsgVarAmount 用来表示各个接口所含有的 Variable 元素的数量。元描述测控接口包括 AD 采集接口、OC 门脉冲输出接口、PCM 测控接口、PPC 输入接口、PWM 输出接口等, 其 xTEDS 模板的实例设计如下:

```
<CommandMetaMsg description = "telemetry and remote control interfaces" >
  <CommandMsg name="AD acquisition control " id="1 " VarAmount="11 "/>
  <CommandMsg name=" OC control " id="2 " VarAmount="5 "/>
  <CommandMsg name=" PCM interface " id="3 " VarAmount="4 "/>
  <CommandMsg name=" PPC " id="4 " VarAmount="3 "/>
  <CommandMsg name=" PWM control " id="5 " VarAmount="5 "/>
</CommandMetaMsg>
```

3.3.2 AD 采集接口 xTEDS 模板

CommandMsg 中, name 是 AD 接口的寄存器名称, 与表 2 中的内容相对应。address 是相应的寄存器的地址; dataType 是寄存器数据类型; Value 是寄存器的值。此处 Value 都用

“?”表示, 可根据具体的初始化配置信息填入, 生成对应的 xTEDS 实例, 因此可称为 xTEDS 模板。AD 接口的 xTEDS 模板的实例设计如下:

```
<CommandMsg description=" the Initialization of AD acquisition
control logic" name=" AD acquisition control " id=" 1">
<Variable name=" fdiv_para" address=" 32'h1fa01100" dataType
=" UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" channel_amount" address=" 32'h1fa01104"
dataType=" UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" adc_end_para" address=" 32'h1fa01108" data-
Type=" UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" period" address=" 32'h1fa0110c " dataType="
UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" cs_front_edge" address=" 32'h1fa01110" data-
Type=" UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" cs_pulse_width" address=" 32'h1fa01114" data-
Type=" UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" start_front_edge" address=" 32'h1fa01118"
dataType=" UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" start_pulse_width" address=" 32'h1fa0111c"
dataType=" UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" oe_front_edge" address=" 32'h1fa01120" data-
Type=" UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" oe_pulse_width" address=" 32'h1fa01124"
dataType=" UINT32" Value=" ?"/>
<Variable name=" config_reg" address=" 32'h1fa01128" dataType
=" UINT32" Value=" ?"/>
</CommandMsg>
```

其他应用接口的 xTEDS 模板的实例设计与此类似。

3.4 应用 EDS 包

在所有应用接口的 xTEDS 实例编辑完成后, 可通过转换工具转换为应用 EDS。转换工具负责解析 XML 编辑的 xTEDS 文档内容, 将提取的信息组织成应用 EDS, 使之可以烧录入 EEPROM。

应用 EDS 的组织采用 CCSDS 空间包格式^[11], 由包主导头和包数据域两部分组成, 如图 5 所示。其中包数据域中的源数据包括接口描述和接口内容两部分。接口描述内容对应 CommandMetaMsg 的 EDS 实例。接口内容占用可变长度, 对应某个测控接口的 EDS 内容。

包主导头 (48比特)							包数据域		
版本号	包标识			包序控制 (同一应用过程)		包数据 长度	源数据		
	类型 标志	包副导头 标志	应用过程 标志	分组标志	源序列 标志		接口描述	接口内容	
3bit	1bit	1bit	11bit	2bit		14bit	16bit	32bit	可变长度

图 5 应用 EDS 包

图 6 中接口描述包含 CommandMetaMsg 的元标识、CommandMsg Id、VarAmount 三部分。

- 1) 元标识: 16bit, 取值 0xEF EF。
- 2) CommandMsg Id: 8bit, 用来标识各个接口。例如 AD、OC、PCM、PPC、PWM 等接口。
- 3) VarAmount: 8bit, 用来表示各个接口所含有的 Variable 元素的数量。本文中 AD 接口的 Variable 元素数量最多, 共有 11 个元素。

接口内容包含标识、应用 EDS 两部分。标识表示接口实

例, 固定为 0xABAB, 占用 16bit。应用 EDS 描述测控接口的初始化配置信息, 占用的字节数为 12Byte×VarAmount。

接口描述			接口内容	
标识	CommandMsg Id	VarAmount	标识	应用EDS
16bit	8bit	8bit	16bit	12Byte×VarAmount

图 6 源数据

如图 7 所示, 应用 EDS 分为 name、address、dataType、value 四部分。

- 1) name: 16bit, 某个测控接口的寄存器名。前 8bit 是测控接口 CommandMsg Id, 后 8bit 表示具体的寄存器名称。通过这种方式, 每个 name 所代表的寄存器具有唯一性、确定性。
- 2) address: 32bit, 寄存器的地址。这是因为龙芯 1F 中测控接口的寄存器地址都是 32 位的。
- 3) dataType: 16bit, 寄存器数据类型, 例如 INT、UNIT、Float 等以及自定义类型的编码。
- 4) value: 32bit, 寄存器的值。这是因为龙芯 1F 中测控接口需要进行初始化的寄存器都是 32bit 的。

应用EDS			
name	address	dataType	value
16bit	32bit	16bit	32bit

图 7 应用 EDS 内容格式

4 1553B 通信 EDS 的设计

1553B 总线通信的 EDS 目的是描述 RT 方所需的传输消息, 子地址定义, 以及矢量字服务请求关系。因此 EDS 的内容主要包括矢量字定义和子地址定义 2 部分, 如图 8 所示。

矢量字定义			子地址消息定义				填充	
矢量字 标识	矢量字 mask	数据域	子地 址域 标识	T子地址 mask	T子地 址定义	R子地址 mask	R子地 址定义	填充
1字	1字	16字节	1字	2字	64字	2字	64字	17字

图 8 1553B 通信 EDS 格式

- 1) 矢量字标识: 16bit, 固定为 0xEDED;
- 2) 矢量字 mask: 16bit, 按照高位到低位顺序排列, 其中位 Dx=1 表示使用该位的服务请求, Dx=0 表示该位不使用。
- 3) 矢量字定义数据域: 16byte, 表示子地址与服务请求位的对应关系。对应矢量字 16bit 定义 (D0~D14。D15 固定为 EDS, 不可变), 按照从高位到低位的顺序, 以字节为单位排列。如果矢量字 Dx=1, 则第 x 个字节有效, 其低 6bit 有效, 为 T/R+子地址号, 高 2bit 为 0。如果矢量字 Dx=0, 则第 x 个字节无效 (但保留位置, 设置为全 1)。
- 4) 子地址域标识: 16bit, 固定为 0x1212;
- 5) T 子地址 mask 和 R 子地址 mask: 各 32bit, 按照高位到低位顺序排列 (31~0), 其中位 Dx=1/0 表示使用/不使用该位对应的子地址。
- 6) T 子地址定义和 R 子地址定义各包括 32 个子地址的定

义，每个子地址定义 2 个 16bit，按照先 T 子地址后 R 子地址、子地址号从 31~0 的顺序排列。如果该子地址不使用，则设置为全 0。

子地址定义中的第 1 个字定义如图 9 所示。

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
T/R						消息类型		U/D	连续传输的消息数			数据字个数			

图 9 子地址定义中的第 1 个字

1) 消息类型：5bit，消息类型编码。如果该子地址不使用，则此 6bit 全 0。

2) U/D：1bit，指该消息缺省是上线（1）还是不上线（0）。一般情况下缺省为 0，如果缺省是 1，则消息安排好，将无条件周期运行，除非后来主动下线。

3) 连续传输的消息数：4bit，指该子地址消息由几条连续消息组成。单消息为 1，全 0 表示 16 条。

4) 数据字个数：5bit，全 0 表示 32 个字。

子地址定义的第 2 个字表示该消息期望的传输时间最小间隔，单位 ms。

Notification 元素包含若干 DataMsg 元素（见图 3），每个 DataMsg 元素对应一个子地址定义 xTEDS 实例，示例如下：

```

<DataMsg description="the definition of 1553B remote terminal
subaddress" name="subaddress definition" RtNum="1" >
  <Variable TorR="0" subAddress="10" UorD="0" Message="
1" dataWord="22"/>
  <Variable TorR="0" subAddress="11" UorD="0" Message="
1" dataWord="10"/>
  <Variable TorR="0" subAddress="12" UorD="0" Message="
1" dataWord="8"/>
  <Variable TorR="0" subAddress="13" UorD="0" Message="
1" dataWord="6"/>
  <Variable TorR="0" subAddress="14" UorD="0" Message="
1" dataWord="10"/>
</DataMsg>

```

dataWord 是数据字个数，由于每个寄存器取值均为 32bit，因此其值是由 CommandMetaMsg 中 VarAmount 乘以 2 得到，例如 AD 的 VarAmount 是 11，表示 AD 有 11 个 Variable 元素，对应 11 个寄存器，则 AD 的 dataWord 就是 22。

5 小结

本文研究了 IEEE 的 1451.2 TEDS，CCSDS 的 SOIS EDS，AFRL 的 SPA xTEDS，基于已有的 LS1F 通用接口芯片的设计，增加了 SPA 接口模块，以增强该接口芯片即插即用的自动识别和自动配置特征，并引入如下应用设计：

1) LS1F 通用接口芯片的具体配置情况可以由连入的设备

（上接第 179 页）

[2] 孙 媛. 大数据网络协作传输优化编码方法 [J]. 科技通报, 2017, 33 (3): 104-107.

[3] 苏凡军, 牛咏梅, 邵 清. 数据中心网络快速反馈传输控制协议 [J]. 计算机工程, 2015, 41 (4): 107-111.

[4] 郑宏远, 白 锐, 刘 策. 石油钻井泥浆脉冲发生器数据传输速率分析 [J]. 计算机仿真, 2016, 33 (7): 194-199.

[5] 王 睿, 姜 宁. 基于作战任务的舰艇数据链传输时效控制方法 [J]. 火力与指挥控制, 2016, 41 (12): 146-149.

[6] 赵 辉, 方高峰, 王 琴. 基于优化 LT 码的深空数据传输策略

自行定义，形成自描述 xTEDS，并保存在 EEPROM 中，而不需要事先与系统主机之间进行接口协调。

2) 生成的 xTEDS 可以分为 1553B 通信 EDS、应用 EDS，以及根据需要划分的更多层次的 EDS 设计，从而支持与连入系统之间的不同层次业务之间的端到端即插即用服务。

3) LS1F 通用接口芯片的 1553B 总线接口需要遵守与系统主机 BC 之间交换 EDS 的握手协议，但是可以维持其原有的正常通信协议，由 BC 方自动识别并配置协议，从而也增强了系统即插即用的能力。这一点可以供 LS1F 其它与系统主机连接接口的即插即用设计借鉴。

参考文献：

[1] 尤 政, 田贺祥, 李 滨, 等. 微小卫星综合电子系统中的即插即用技术 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2009, 49 (11): 1765-1769.

[2] CCSDS 876. 1-R-2. Spacecraft Onboard Interface Services - Specification for Dictionary of Terms for Electronic Data Sheets [S]. Washington, DC, USA: CCSDS Secretariat, 2016, 1-9.

[3] IEEE Standards Board. IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats [S]. USA: the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997, 1-97.

[4] 刘建国. 基于 IEEE1451.2 智能传感器研究与设计 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2009, 1-24.

[5] Slane F A, Hooke A J. Space plug and play avionics standards: progress, problems and a view of the future [A]. Rohnert Park, California: AIAA Infotech@Aerospace [C]. 2007, 1-5.

[6] Walker W L, Manning W J, McFarland C D, et al. Performance characterization of a space plug-and-play avionics appliqué sensor Interface Module [A]. St. Louis, Missouri: AIAA Infotech@Aerospace [C]. 2011: 1-3.

[7] Lyke J Space-plug-and-play avionics (SPA): a three-year progress report [A]. Rohnert Park, California: AIAA Infotech@Aerospace [C]. 2007, 1-9.

[8] Lanza D L, Vick R W, Lyke J C. The space plug-and-play avionics common data dictionary - constructing the language of SPA [A]. Atlanta, Georgia: AIAA Infotech@Aerospace [C]. 2010, 1-3.

[9] 方青文. 航天专用数据采集和状态控制 ASIC 设计与验证 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2013, 1-46.

[10] 邹吉炜. 空间即插即用电子系统关键技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.

[11] 谭维焯, 顾壹琦. 空间数据系统 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004.

[12] 李 强, 王 飞. 基于 IEEE1451.2 的航空数据链传输速率优化 [J]. 计算机应用, 2015, 35 (4): 925-928.

[7] 马文锋, 贾俊刚. 排球抛球及挥臂击球动作数据的采集与传输研究 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16 (33): 239-243.

[8] 李咪咪, 韦 飞, 梁金宝, 等. 一种应用于 CCD 读出系统的数据传输系统设计 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (14): 70-73.

[9] 李正军, 周志权, 赵占锋. 基于 FPGA 的高速数据传输系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (9): 188-190.

[10] 石 云, 陈 钟, 孟显勇. 基于分区自感簇头的无线传感网数据稳定传输机制 [J]. 计算机工程, 2016, 42 (11): 102-108.