

星载标准接口业务在航天器中的应用方法

何熊文 朱剑冰 程博文 顾明 阎冬

(北京空间飞行器总体设计部,北京 100094)

摘 要 对空间数据系统咨询委员会(CCSDS)星载标准接口业务(SOIS)的产生历史、研究现状以及体系结构进行了分析。针对中国航天器中星载接口协议不统一、设备和软件通用性差等问题,探讨了在中国航天器中如何应用 SOIS 标准。文章从星内节点协议配置、SOIS 业务选择、与空间链路协议配合等方面,探讨了 SOIS 标准在中国航天器上的应用方法。应用 SOIS 标准,将有助于实现星载接口及协议的标准化,以及航天器上设备和软件的通用化。

关键词 空间数据系统咨询委员会;航天器;星载标准接口业务

中图分类号:V446.4 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.1673-8748.2015.06.009

Application Method of Spacecraft Onboard Interface Services in Spacecraft

HE Xiongwen ZHU Jianbing CHENG Bowen GU Ming YAN Dong

(Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China)

Abstract: The past, research status and architecture of Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) spacecraft onboard interface services(SOIS) are analyzed in this paper. Aiming at the problem of inconsistent onboard interface protocols and non-universal devices and software, the applied method of SOIS in Chinese spacecraft is discussed, focusing on the configuration of onboard node protocols, the selection of SOIS services and the cooperation with space link protocols. Application of SOIS will benefit the standardization of onboard interface and protocols and the universal use of devices and software on board.

Key words: CCSDS; spacecraft; onboard interface services

1 引言

经过多年的发展,航天器星载接口呈现多样化的发展态势。从接口形式上分,一般包括总线接口、串口、开关指令接口、模拟量/温度量/双电平量采集接口、数字量采集接口、串行加载指令接口等。对于总线接口而言,既包含低速的 1553B 总线、CAN 总线,又包括高速的 1394 总线、SpaceWire 总线、以太

网总线等。尽管国内外相关标准化组织对上述接口进行了标准化的定义,但在航天器应用过程中,仍然存在协议不统一的局面。例如,中国航天器上普遍使用的美军标 1553B 总线协议^[1]规定了数据链路层、物理层的协议,但对子地址的应用方法、传输的数据格式等未作规定,这样带来的问题是各航天器都有各自特定的 1553B 协议,既增加了各分系统间的协调工作量,也不利于航天器设备及软件的通用化。此外,由于各设备的接口不同、智能化程度不

收稿日期:2015-09-20; 修回日期:2015-11-05

作者简介:何熊文,男,高级工程师,从事星载数管/综合电子系统软件开发、协议设计、CCSDS 标准研究等工作。Email: hexw501@hotmail.com。

同,当设备在异构网络中进行互操作或信息共享时,若无一套统一的协议及信息传输机制,将给实现带来非常大的困难。

针对上述问题,空间数据系统咨询委员会(Consultative Committee for Space Data Systems, CCSDS)在1999年的春季会议上新成立了一个工作组,其主要研究内容为星载信息交换以及各分系统和设备的星载接口,即航天器星载接口(Spacecraft Onboard Interface, SOIF)。在2003年的第8次SOIF会议上该工作组进行了改组,SOIF更名为SOIS,即航天器星载接口业务(Spacecraft Onboard Interface Services, SOIS)。其工作组后续经过两次重组后,包括应用支持业务工作组、子网业务工作组、星载无线接口工作组。目前子网业务工作组已完成其工作,形成5份推荐性操作规程(紫皮书)。应用支持业务工作组完成了7份紫皮书,正在开展“即插即用”相关研究,星载无线接口工作组完成了2份紫皮书及1份原理性说明(绿皮书)。英国SCI-SYS等公司对SOIS进行了原型验证,欧洲航天局、法国国家空间中心、德国航空航天中心等机构于2008年成立了一个空间综合电子开放接口体系架构(Space Avionics Open Interface Architecture, SAVIOR)研究组,基于SOIS研究其综合电子系统体系架构,包含功能、硬件、软件、接口协议等多个层面。美国航空航天局的戈达德航天飞行中心正在评估如何将SOIS融入其核心飞行程序(core Flight Executive, cFE)。

目前,中国各航天器在星载接口协议制定上仍然处于航天器特定设计、未进行标准化的局面,由此带来了一系列问题,如重复的接口协议格式制定、不同接口的设备难以进行互操作、重复的设备研制、软件无法通用等。本文对SOIS标准在航天器中的应用方法研究,将有助于实现星载接口业务的标准化,促进星载网络的协议统一及信息共享,促进软件和设备的重用。

2 SOIS 体系架构

SOIS通过定义一组标准化的业务接口和协议,实现对传感器、执行机构、通用航天器功能的标准化访问,并且使星载应用程序的开发独立于提供这些业务的机制,从而增加其在不同航天器中的重用率。

SOIS定义的体系架构^[1]如图1所示。由图1可知,SOIS体系架构分为应用层、应用支持层、传输

层和子网层4层。应用层为航天器特定任务相关的应用程序,这些程序使用SOIS各层所提供的标准业务。应用支持层对上提供一组标准业务,实现对设备的访问控制、对时间的访问、用户间的消息传递、对文件及包的访问、以及即插即用功能,并且屏蔽底层网络的不同,支持本地及远程的访问及通信。传输层提供传输及网络业务,可实现多个子网的路由及传输控制。子网层提供对数据链路的标准访问业务,可实现数据链路的更换而不影响上层应用,从而对上层屏蔽底层数据链路的不同。

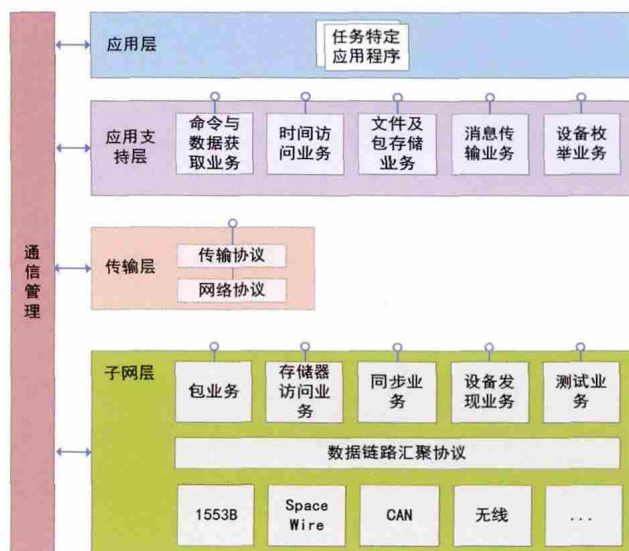


图1 SOIS 体系架构

Fig 1 Architecture of SOIS

2.1 应用支持层

应用支持层包括命令与数据获取业务、时间访问业务、文件及包存储业务、消息传输业务、设备枚举业务等5种标准化的业务。

1) 命令与数据获取业务

命令与数据获取业务(Command and Data Acquisition Services, CDAS)提供一组功能给用户应用程序使用,用于对星载设备发送命令或从星载设备获取数据,同时使用户应用程序与设备所处位置、采用的接口以及访问设备所使用的具体协议隔离。该业务由设备访问业务(Device Access Service, DAS)^[2]、设备虚拟化业务(Device Virtualisation Service, DVS)^[3]、设备数据池业务(Device Data Pooling Service, DDPS)^[4]共3种业务组成。

2) 时间访问业务

时间访问业务(Time Access Service, TAS)^[5]为用户应用程序提供统一的本地时间访问接口。用户可应用TAS获得本地时间后,进行遥测数据时间

标记、事件发生时间标记、星载时间下传等操作。

3) 文件及包存储业务

文件及包存储业务 (File and Packet Store Services, FPSS)^[6] 的目的是使用户应用程序能够访问本地或远程文件存储区的文件或包存储区的包, 而无需了解访问存储区的细节。用户可应用该业务作为访问文件及包的统一接口, 当访问本地文件时, 业务调用操作系统提供的文件系统完成功能。

4) 消息传输业务

消息传输业务 (Message Transfer Service, MTS)^[7] 可以提供航天器内部应用程序之间基于消息的相互通信, 支持邀约—传送、邀约—群发、订阅—发布、请求—回复等多种消息传输机制。MTS 使用异步消息传输业务 (Asynchronous Message Service, AMS)^[8] 的一个子集作为星内消息通信协议。应用程序调用 MTS 投递消息时不需要知道接收者所在的位置, 由 MTS 对接收者的地址进行解析并投递消息。

5) 设备枚举业务

设备枚举业务 (Device Enumeration Service, DES)^[9] 提供对航天器设备增加、删除等的管理。该业务可与子网层的设备发现业务等配合, 实现设备的“即插即用”。

2.2 传输层

传输层一般只在有多个子网且子网间的应用程序需要相互通信时才使用。当星上无需进行多子网路由时, 可不使用该层业务。当需要进行多子网间路由时, 可使用空间包协议^[10] 进行路由, 或者使用更为复杂的 TCP、UDP、IP 等协议, 支持传输及网络业务。

2.3 子网层

子网层提供一系列业务供上层的应用程序支持层和传输层业务调用。子网层业务包括包业务、存储器访问业务、同步业务、设备发现业务、测试业务。不同的总线或其它接口可通过不同的数据链路汇聚协议实现上述一个或多个业务。

1) 包业务

包业务^[11] 提供在单一子网的包传输功能。此处的包可以是 CCSDS 定义的空间包 (Space Packet), 地面因特网定义的 IPv4 包, 或者是高层的其它特定协议数据单元。包业务通过数据链路汇聚协议进行包的传送和接收。

2) 存储器访问业务

存储器访问业务^[12] 提供向设备的存储器或寄

存器读出或写入数据的能力。高层业务可使用该业务对目标设备进行存储器读、存储器写、存储器读—修改—写操作。

3) 同步业务

同步业务^[13] 提供在子网层向业务用户通知事件的功能。可以是同步事件 (例如计时通知), 也可以是异步事件 (例如子网拓扑发生变化)。

4) 设备发现业务

设备发现业务^[14] 提供在航天器硬件配置改变的情况下, 动态识别设备的能力, 可用于系统重构。例如, 冷备份设备加电。

5) 测试业务

测试业务^[15] 提供对子网节点是否在线的测试功能, 同时可与其它业务配合完成设备自测试。

3 SOIS 应用方法

SOIS 标准通过分层次的业务制定, 可满足不同智能程度、不同接口的网络节点或设备之间通信, 其在具体应用时需要根据需求进行业务选择, 并且制定配套的协议。为了在中国航天器中应用 SOIS, 需解决以下几方面问题。

(1) 对于不同智能程度的设备或节点, 其协议如何配置;

(2) 不同种类的数据采用何种业务进行数据传输;

(3) SOIS 与空间链路等其它协议如何配合。

下面分别从星内节点协议配置、SOIS 业务选择、与空间链路协议配合方面, 对这些问题的解决方法进行分析。

3.1 星内节点协议配置

从智能程度看, 航天器中通信的节点可分为 3 类:

(1) 智能节点通信: 此类节点具备较强的处理能力, 支持完整的协议栈, 具备消息处理能力, 相互之间可以进行对等通信。协议支持节点订阅某一类所关注的数据而无需关心数据的发送者、发布自身的数据而无需关心数据的接收者、向系统的某个节点进行数据发送以及查询等功能。此类节点的典型代表为数管/星务中心计算机、姿轨控计算机、载荷管理计算机等。

(2) 简单智能节点通信: 此类节点的智能程度比智能节点稍低, 只具备空间包的处理能力。该类节点可以发送或接收空间包。此类节点的典型代表为

挂接在 1553B 总线等接口的分系统终端(处理器能力较低,一般为 8031/51 处理器)。

(3)非智能节点通信:此类节点不具备空间包的处理能力,只能接收或发送原始数据,一般由智能节点或简单智能节点进行管理。此类节点的典型代表为挂接在 ON-OFF 指令接口、模拟量/温度量/双电平量采集接口、数字量采集接口、串行加载指令接口等接口上的设备。

第一类节点的协议配置可以包含 SOIS 完整的业务及协议,以两个智能节点的消息通信为例,其协

议配置示例如图 2 所示。图中紫色框为 CCSDS 定义的紫皮书,蓝色框为标准建议书,灰色框为自定义。

第二类节点的协议配置可包含 SOIS 的传输层、子网包业务、数据链路汇聚协议及数据链路协议,以一个智能节点和简单智能节点间的包传输为例,其协议配置示例如图 3 所示。

第三类节点的协议配置可包含 SOIS 的存储器访问业务及物理层协议,以一个智能节点和非智能节点间的通信为例,其协议配置示例如图 4 所示。

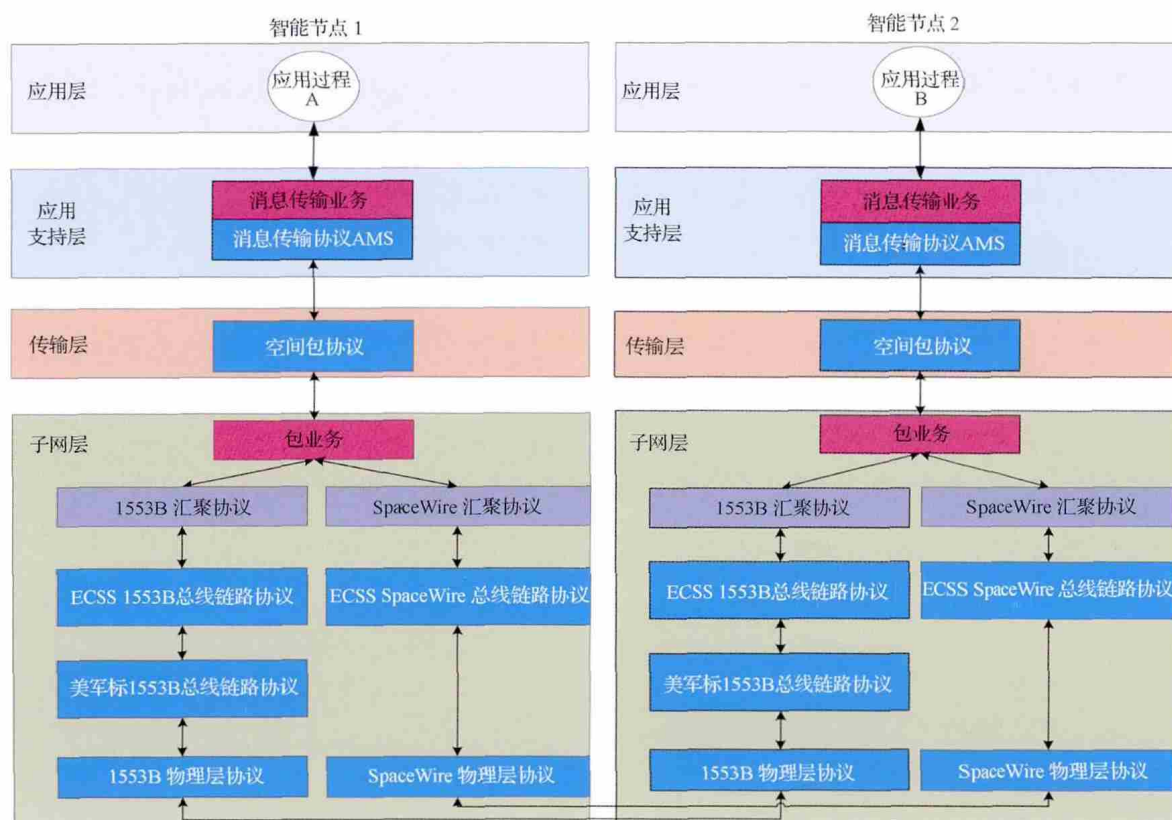


图 2 智能节点协议配置

Fig. 2 Protocol configuration of intelligent node

传统航天器一般需定义 1553B 总线协议、SpaceWire 总线协议、串口通信协议等接口协议,但上述协议的制定,往往将数据链路层协议与上层的应用相关协议混在一起,缺乏层次划分且难以在不同航天器间重用。应用 SOIS 标准后,以同时应用 1553B 总线和 SpaceWire 总线的航天器为例,若同时支持上述三类节点的通信,航天器中需制定用于星内通信的 1553B 总线协议(含汇聚协议、数据链路层协议、物理层协议)、SpaceWire 总线协议(含汇

聚协议、数据链路层协议、物理层协议)、存储器访问协议、空间包协议、消息传输协议、设备访问协议。上述协议除汇聚协议、存储器访问协议、设备访问协议外,都有标准化的国际标准定义,可基于上述标准形成国内的星内通信协议规范以及配套的协议中间件。各航天器根据其需求对协议的参数进行配置,对业务进行裁剪与选择,对中间件进行重用,如此可规范各领域航天器的星内通信协议,便于设备间的互联互通,便于配套软件及测试设备的中重用。

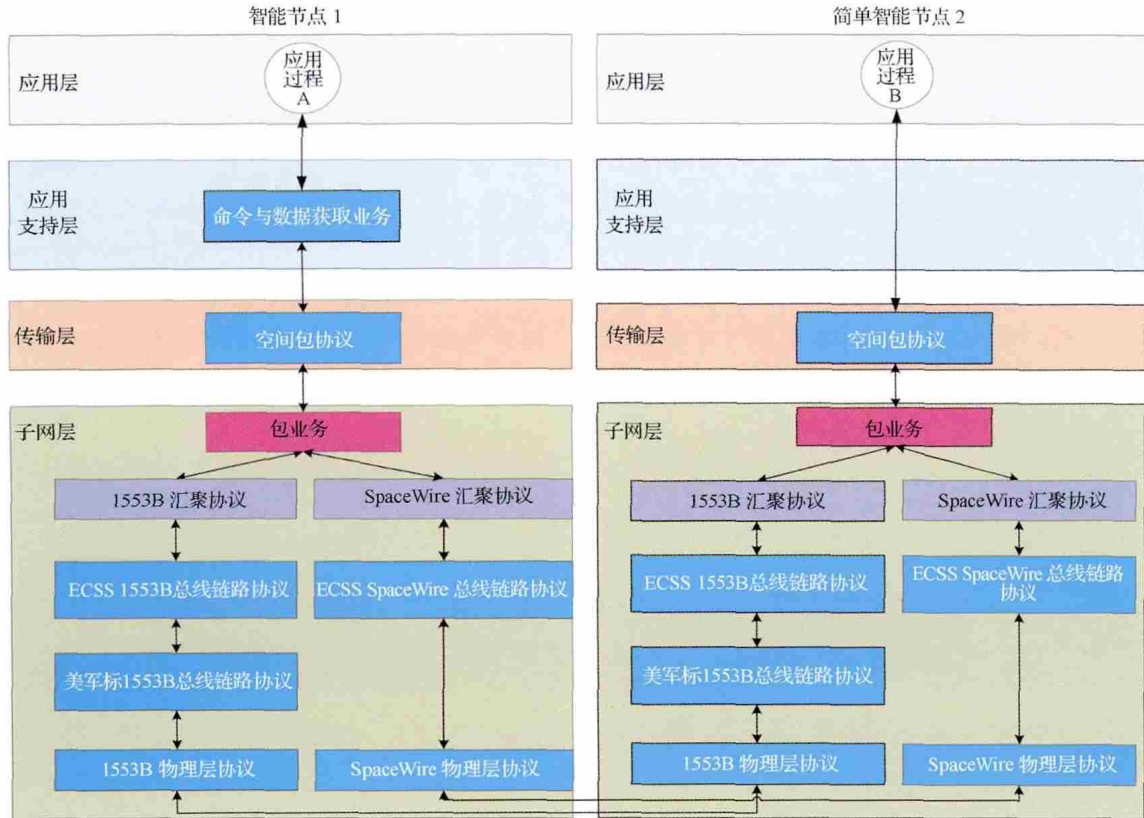


图 3 简单智能节点协议配置

Fig. 3 Protocol configuration of simple intelligent node

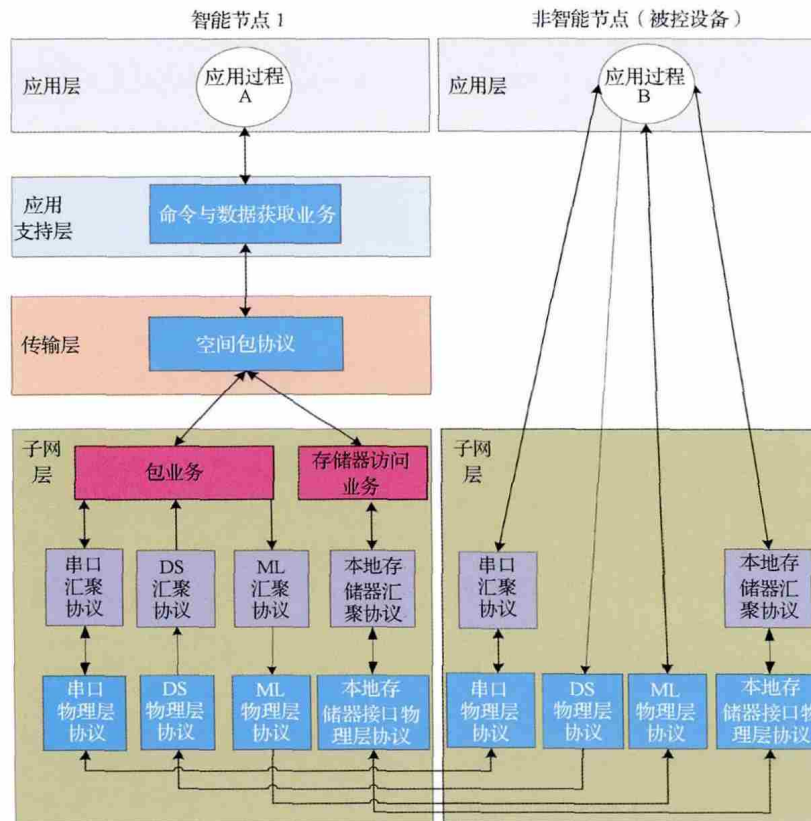


图 4 非智能节点协议配置

Fig. 4 Protocol configuration of non-intelligent node

3.2 SOIS 业务选择

本节从航天器数据系统中比较常见的几个功能,分别说明如何进行 SOIS 业务的选择。

1) 信息共享

在数据系统中,某些信息需要在整个网络中共享,例如轨道姿态数据、卫星运行模式、关键遥测参数、关键事件、情报信息等。由于不同分系统所关注的信息并不相同,此时可采用消息传输业务的消息订阅发布模式。智能节点提出对某个主题信息的订阅请求,信息主题的发布者无需知道消息具体是由谁接收的,每当其进行信息发布时,消息传输业务将自动将其分发到所有的“订阅者”。采用这种模式时,姿轨控计算机可发布自身的轨道姿态数据,数管计算机可发布当前的卫星运行模式、关键事件等信息,载荷计算机可发布处理后的图像情报信息(如某区域发现敏感目标),其它分系统可发布自身的遥测参数。其通信场景见图 2 所示。若系统支持远程 AMS 协议,可将订阅发布的信息扩展到航天器之间,实现航天器之间的灵活信息共享,支撑多类型航天器进行任务协同。

2) 总线节点遥测采集

对于智能节点,节点完成自身状态采集及组织后,可通过消息传输业务的消息发送原语将自身遥测发送至负责遥测收集的智能节点(如数管计算机)。后者通过消息传输业务的消息接收原语获得消息,进行后续处理,其场景见图 2 所示。

对于简单智能节点,节点在完成自身状态采集及组织后,形成空间包,通过空间包协议将包发送至智能节点,智能节点通过命令与数据获取业务完成数据获取。其场景见图 3 所示。

3) 总线节点指令分发

总线节点指令分发,一般由智能节点(如数管计算机)通过总线分发到其它节点。若分发的目的地是智能节点,则通过消息传输业务的消息发送原语分发,其场景见图 2 所示。若分发的目的地是简单智能节点,则通过设备虚拟化业务或设备访问业务的设备写原语发送,其场景见图 3 所示。

4) 模拟量/数字量遥测采集

模拟量/数字量设备的遥测数据,一般由连接该设备的控制节点通过设备访问业务的设备读原语,配合空间包协议、包业务、存储器访问业务等完成采集,其场景如图 4 所示。控制节点完成数据的组织后,可采用前面所述总线节点遥测采集的过程完成后续处理。

5) 设备 ON-OFF/ML 指令发送

ON-OFF/ML 指令设备,一般由连接该设备的控制节点通过设备访问业务的设备写原语进行指令分发,设备访问业务根据用户请求组织设备能识别的命令,经由空间包协议、包业务以及底层协议完成指令发送,其场景见图 4 所示。对于非本机执行的 ON-OFF/ML 指令,节点接收到后可通过前面所述总线节点指令分发过程完成指令的分发。

6) 自主健康管理

节点可通过命令与数据获取业务以及消息传输业务完成整星健康相关数据的获取,当数据超限时,通过消息传输业务、设备访问业务完成指令的发送(见前面第 3.5 功能点)。目前 SOIS 并未定义自主健康管理的业务,可通过欧洲航天标准化合作组织(ECSS)定义的包应用标准(PUS)^[16]中的星载监视业务、事件报告业务、事件-动作业务配合完成。AMS 中关于配置服务器间的在线监测、注册服务器的在线监测、节点心跳信息的监测,还可用于系统中多计算单元间以及计算单元内部各节点的健康监控,支持故障后的系统重构及任务迁移,方便系统进行自主健康管理。

3.3 与空间链路协议配合

CCSDS 在数据链路层定义了遥测空间数据链路协议、遥控空间数据链路协议、高级在轨系统、邻近空间链路协议。目前,在中国航天器中上行已开始应用遥控空间数据链路协议,下行应用高级在轨系统,无论上行或下行都支持空间包的传送,因此现阶段可基于空间包协议将空间链路之星载链路连通。

在遥控应用中,地面指定空间包的目的地后,通过遥控空间数据链路协议将遥控包发往航天器,航天器完成遥控帧的接收、解析以及遥控包的提取后,可将其交付到 SOIS 的传输层,由传输层根据遥控包的目的地进行星内路由。另一种可行的方法是,将遥控包直接交给应用层,由应用层对包进行解析,获得包目的地后通过 SOIS 消息传输业务或者设备访问业务进行包的分发。

在遥测应用中,航天器数据系统通过 SOIS 消息传输业务、设备访问等业务将所有遥测包收集后,可经由传输层或者直接将遥测包发往高级在轨系统,由后者组帧下行地面。

为了使遥控与遥测包进一步标准化,可应用 PUS 标准进行遥控包以及遥测包的内部数据结构定义^[17]。此处 PUS 标准中的许多业务,可以直接

应用 SOIS 相应业务完成其功能,例如,PUS 的常规事务与诊断参数报告业务可应用 SOIS 的数据池业务完成数据的采集。

通过综合应用 CCSDS 定义的空间数据链路协议、ECSS 定义的 PUS 包应用标准协议、SOIS 的星内通信业务及协议,制定航天器数据系统的标准业务及协议规范,将能促进航天器空间网络与星载网络的协议标准化设计,推动航天器数据系统软硬件的规范化以及产品化进程。

4 结束语

中国航天器星载接口繁多且协议不统一的弊端,在越来越多的航天器任务应用中已逐渐凸现出来,并制约着航天器快速的发展。应用 SOIS 标准,将有助于实现中国星载接口业务的标准化,建立统一的信息网络服务,为后续航天器的智能数据处理以及系统重构提供有力的支撑,并促进航天器设备及软件的通用化和产品化,从而缩短航天器研制周期,节约研制成本,提高开发效率。

本文提出的 SOIS 标准在中国航天器中的应用方法,还有一些问题有待进一步研究。例如,如何实现设备的“即插即用”,异步消息传输业务如何实现多航天器间消息通信,SOIS 与容断容延迟网络(DTN)如何结合、如何支持无线接口等。

参考文献 (References)

- [1] CCSDS. CCSDS 850. 0-G-2 Spacecraft onboard interface services[S]. Washington D. C. :CCSDS,2013
- [2] CCSDS. CCSDS 871. 0-M-1 Spacecraft onboard interface services—device access service[S]. Washington D. C. : CCSDS,2013
- [3] CCSDS. CCSDS 871. 2-M-1 Spacecraft onboard interface services—device virtualization service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2014
- [4] CCSDS. CCSDS 871. 1-M-1 Spacecraft onboard interface services—device data pooling service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2012
- [5] CCSDS. CCSDS 872. 0-M-1 Spacecraft onboard interface services — time access service[S]. Washington D. C. : CCSDS,2012
- [6] CCSDS. CCSDS 873. 0-M-1 Spacecraft onboard interface services — file and packet store services[S]. Washington D. C. :CCSDS,2012
- [7] CCSDS. CCSDS 875. 0-M-1 Spacecraft onboard interface services — message transfer service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2012
- [8] CCSDS. CCSDS 735. 1-B-1 Asynchronous message service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2011
- [9] CCSDS. CCSDS 871. 3-M-1 Spacecraft onboard interface services — device enumeration service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2014
- [10] CCSDS. CCSDS 133. 0-B-1 Space packet protocol[S]. Washington D. C. :CCSDS,2003
- [11] CCSDS. CCSDS 851. 0-M-1 Spacecraft onboard interface services — subnetwork packet service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2009
- [12] CCSDS. CCSDS 852. 0-M-1 Spacecraft onboard interface service — subnetwork memory access service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2009
- [13] CCSDS. CCSDS 853. 0-M-1 Spacecraft onboard interface services — subnetwork synchronisation service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2009
- [14] CCSDS. CCSDS 854. 0-M-1 Spacecraft onboard interface services — subnetwork device discovery service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2009
- [15] CCSDS. CCSDS 855. 0-M-1 Spacecraft onboard interface services — subnetwork test service[S]. Washington D. C. :CCSDS,2009
- [16] European Cooperation for Space Standardization. Space engineering:ground systems and operations — telemetry and telecommand packet utilization, ECSS-E-70-41A[S]. Noordwijk:ECSS,2003
- [17] 何熊文,张猛. 遥控和遥测包应用标准在航天器中的应用方法[J],航天器工程,2012,21(3):54-60
He Xiongwen, Zhang Meng. Application method of telecommand and telemetry packet utilization standard in spacecraft[J]. Spacecraft Engineering, 2012, 21(3): 54-60 (in Chinese)

(编辑:张小琳)