文章编号:1001－893X(2010)03－0001－05

航空电子互连网络的顶层设计架构与实现平台*

王昊天,李 峭,熊华钢

(北京航空航天大学 电子信息工程学院,北京 100191)

摘 要:提出一种顶层设计架构,采取数据驱动的方式,自顶向下、逐步完成针对航空电子互连网络的设计。基于这种架构,给出一种使用 SAE AADL 规范的实现平台,该平台为航空电子互连网络动态地生成最终的解决方案,并且统一管理仿真、归档和测试。具体的工程实践表明,提出的架构可以提高航空电子互连网络设计的效率,从而降低系统设计的全生命周期成本。

关键词:航空电子;互连网络;顶层设计;体系结构分析与设计语言

中图分类号:TP302.1 **文献标识码**:A doi:10.3969/j.issn.1001－893x.2010.03.001

Top Level Design Architecture and Realized Platform of Avionics Network

WANG Hao-tian, LI Qiao, XIONG Hua-gang

(School of Electronic Information Engineering, Beijing University of Aeronautic & Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: This paper proposes a top－level design architecture, which takes data-driven approach to complete avionics interconnection network design from top to down, step by step. Based on this architecture, this paper presents a realization platform using SAE(Society of Automotive Engineers) AADL(Architecture Analysis & Design Language) specification, which generates the final solution dynamically for the avionics network, and unifies management of the connected simulation, archiving and testing. Specific engineering application demonstrates the architecture proposed in this paper can improve the efficiency of avionics network design, and also reduce the life cycle cost of system design.

Key words: avionics; interconnection network; top level design; architecture analysis & design language(AADL)

1 引 言

数字化航空电子系统已经经历了分立式、联合式、综合式的发展过程,正在经历着先进综合式的发展阶段[1]。随着微电子技术、实时计算与通信技术、软件工程技术等信息技术的高速发展,未来航空电子系统针对机载网、传感器数据融合、卫星通信技术和数据链等方面提出了趋向"网络化"的要求[2]。航空电子系统已经不再是单一系统,而是成为空天地一体化网络系统中的系统。伴随着航空电子系统的发展,浮现的问题也相应增多:涉及的协议渐多,数据的类型定义也越来越多;高度的综合化要求,使电

* **收稿日期**:2009－12－04;**修回日期**:2010－03－03
基金项目:国家自然科学基金资助项目(60879024);航空科学基金资助项目(20081951028)
Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No. 60879024); The Aeronautical Science Foundation of China(No. 20081951028)

子系统的层次化设计越来越复杂;采用交换式网络,使节点和交换机的数量增多;对资源的调用是动态变化的,需要设计方案支持灵活升级和随时更新;各种仿真和测试平台的格式和接口没有统一的标准,管理起来也越来越不方便。这就需要提出一种新的网络架构,以高灵活性、低升级成本和高效率为目标,来适应航空电子设计不断发展所带来的变化。

文本首先从设计的系统过程入手,采取数据驱动[3]的方式,分析航空电子互连网络的适用性,建立了航空电子互连网络自顶向下的分层设计架构。然后,根据自动化工程师协会(Society of Automotive Engineers, SAE)标准定义的体系结构分析与设计语言(Architecture Analysis & Design Language, AADL),在 Eclipse 开发环境下,开发了航空电子互连网络的顶层设计平台。

2　航空电子互连网络的顶层设计架构

航空电子互连网络的顶层设计架构,本文分为数据驱动、分层管理和自顶向下设计 3 种角度分别描述。

2.1　数据驱动设计角度

数据驱动是以数据为核心,逐步发现数据中的联系,从而启发出用户的种种需求,来设计、开发系统的一种思想。传统的瀑布开发过程是:需求－分析－设计－建造－数据;而数据驱动的开发过程则刚好相反:数据－建造－设计－分析－需求。

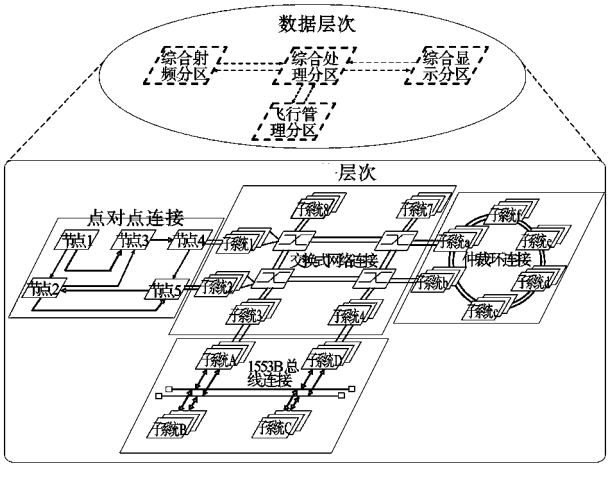

图 1　数据层次与网络层次的映射关系

Fig. 1 The relation of data layer and network layer

本文将数据驱动思想应用在航空电子互连网络的背景中,如图 1 所示。数据层次中的数据结构与网络层次中的网络构件一一对应。网络层次是由数据层次映射而得到,数据层次的具体内容决定了网络层次的内容。根据数据结构和类型的不同,网络构件的互连协议、网络拓扑及网络组件也均有所不同。

2.2　分层管理设计角度

航空电子互连网络伴随着航空电子系统的发展也日趋复杂,如果直接对航空电子互连网络从整体上设计,是一项十分复杂的任务;而如果将复杂的网络进行分层,采取分层设计、分层管理,就会降低设计的复杂度。如图 2 所示,以数据层次驱动物理层次为核心思想,数据层次下的不同功能分区,对应物理层次下的不同拓扑结构,规定同一个功能分区对应于一种物理拓扑。一个功能分区可以有多个子功能,每个子功能完成功能相似的一系列任务。一个物理拓扑下,可以分为多个子系统,子系统将完成相似功能的物理模块集成、综合处理。每一个子系统均对应于一个子功能。每一个子功能下,又是由多个任务组成的,这些任务以发布/订购的模式,与消息相匹配,形成通信数据报文。而每一个子系统下面可以存在多个物理节点,在这些物理节点上,加载通信数据报文,进行网络通信。

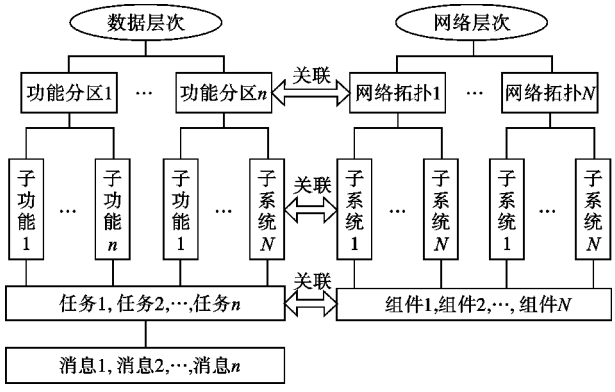

图 2　数据与网络的分层对应关系

Fig. 2　The layered relation of data and network

2.3　自顶向下设计角度

在顶层设计角度,如图 3 所示,本架构由消息录入模块、任务录入模块、硬件资源录入模块组成的录入部分,由网络结构生成模块、网络数据加载模块、网络路由优化模块组成的配置部分,和由 xml 文件输出模块、word 文档输出模块、运行代码生成模块组成的输出部分,这 3 个部分共同构成。

录入部分将由用户输入或者从数据库导入的数

据信息转化为通信数据报文和物理资源信息输出至配置部分,在配置部分中进行网络配置后,转化为配置信息发送至输出部分,输出部分将这些配置信息转化为相应模板'形式的输出信息,并将这些输出信息输出到仿真平台、文档收集装置和测试平台中,在完成系统顶层设计的同时,统一化管理电子系统的其它工作。

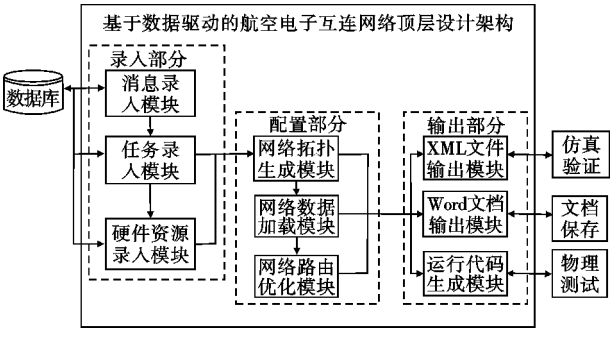

图 3　自顶向下的总体设计架构

Fig. 3 The from top to bottom chief design architecture

具体流程如图 4 所示,首先是平台各个模块的初始化和数据的初始化。其中模块的初始化主要完成模块的开机自检,查看模块是否可以正常工作;而数据的初始化主要完成对网络数据库中数据导入到本地的工作。接下来进入消息录入操作,在消息录入模块中进行所有可能使用的消息的录入或直接从数据库中导出。然后,在任务录入模块中逐次完成整体系统按功能分区的划分、分区的内部进行子功能的细化和子功能的内部进行任务的录入或直接从数据库导入。录入完毕后,任务信息一方面输出到配置部分的网络结构生成模块为生成网络结构作准备;另一方面任务信息在任务录入模块中与消息录入模块输出的消息进行匹配,构成任务/消息形式的通信数据报文,输出到硬件资源录入模块中。通信数据报文和分区/子功能/任务层次结构信息进入到硬件资源录入模块中,进行硬件资源的录入。录入物理拓扑属性时要受到功能分区的约束;在子系统属性的录入过程中要受到子功能的约束;物理节点属性的录入过程中要受到通信数据报文的约束。任务录入模块输出的通信数据报文和硬件资源录入模块输出的硬件资源数据,输入到配置部分的网络结构生成模块,根据数据携带的层次关系自动生成网络结构,其中包括网络拓扑、网络通信数据和网络层次结构信息。进一步在网络数据加载模块中对通信数据有一个二次选择过程(可选项),生成网络数据激活表,只有选择的数据才能在网络中通信。在网络路由优化模块中,进行静态路由的优化(可选项)。最后,将网络结构信息传输到输出部分,根据工程需要进行仿真、存档和测试操作。

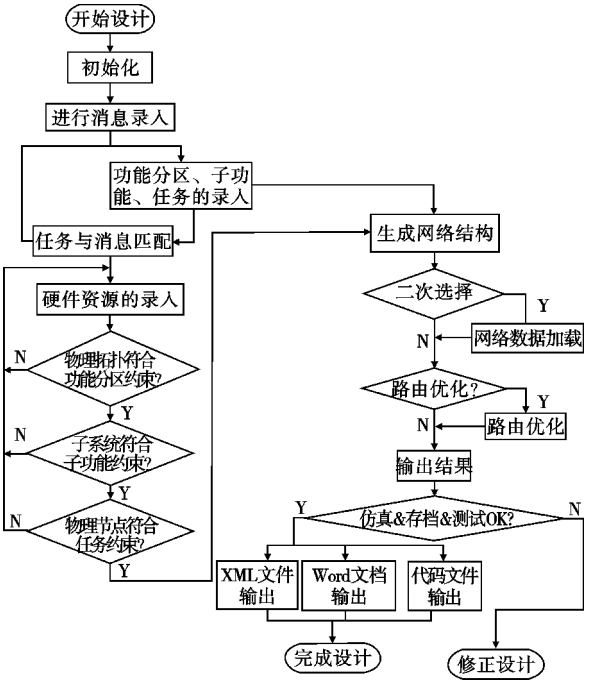

图 4　总体设计流程图

Fig. 4 Chief design flow chart

3　基于 AADL 的实现平台

SAE 标准定义的 AADL,由最初的 Avionics Architecture Description Language(航空电子体系结构描述语言)发展为 Architecture Analysis & Design Language(体系结构分析与设计语言),经历了长期的航空航天工程的实用,建模技术已经趋于成熟[4-5]。而软件工程研究所(Software Engineering Institute,SEI)开发的 OSATE 工具,是建立在 Eclipse 平台之上,充分继承了 Eclipse 的插件特性,可以随时加入新的功能模块,即加入新的插件。如图 5 所示,AADL 规范、仿真和测试工具均作为插件集成到 Eclipse 环境中。

本文在 OSATE 平台上,对前述航空电子互连网络的顶层设计架构进行建模。首先将一个具体的任务行为分为各个功能分区,在分区内部划分子功能,接着在子功能内部设计具体的状态转换,然后在状态内部完成线程的执行过程,最后,AADL 文本用来作为测试平台的格式文件,XML 文档用来作为

仿真数据的格式文件，而且图形界面中的每一个组成元素，与 AADL 文本和 XML 文档均为一一对应关系，如图 6 所示。

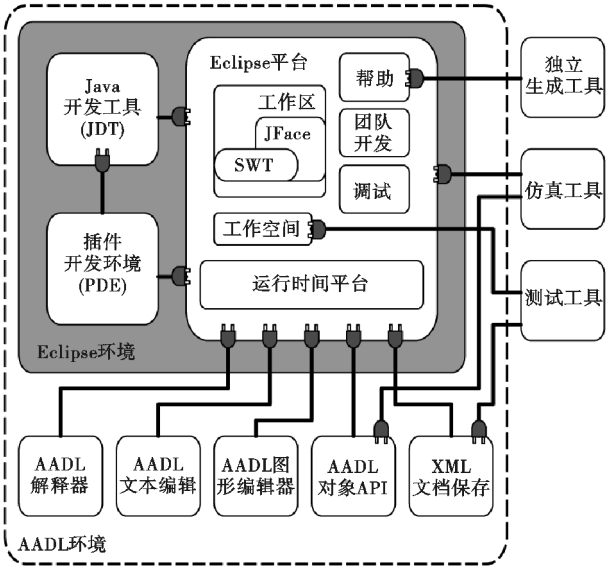

图 5 开放源码 AADL 环境——OSATE

Fig. 5 The code opening AADL condition——OSATE

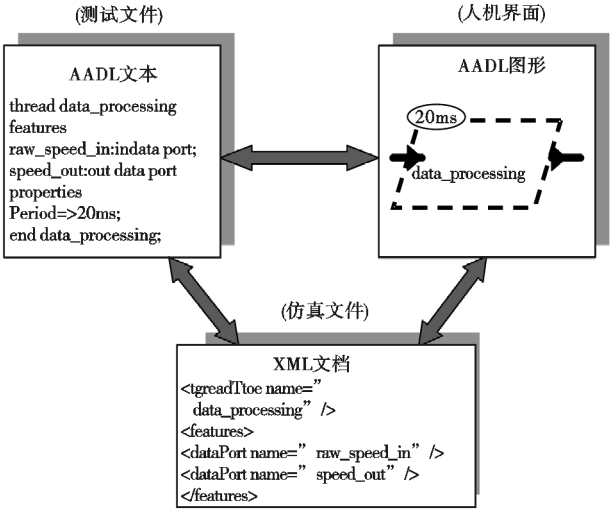

图 6 设计平台与其它平台交互实例

Fig. 6 The case of interaction with other platforms

与传统的“V”形开发过程相比，应用本设计平台可以利用虚拟的综合化设计在设计的早期快速构造模型的原型，通过由低逼真度的初期模型，逐步向高逼真度的终期模型过渡，形成一种性能可预测的体系结构模型，如图 7 所示，外围的阴影部分表示“V”形的相关部分，内部是本设计平台的开发过程。

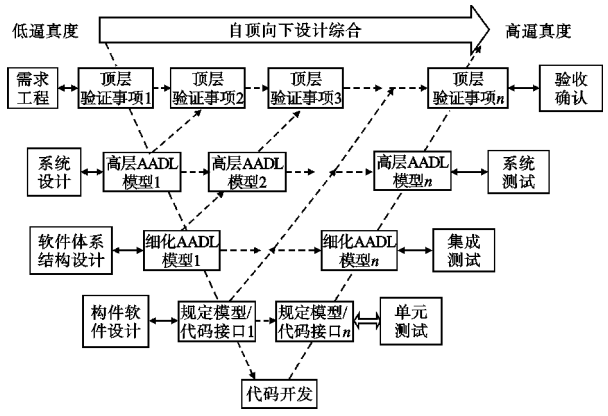

图 7 改进的“V”形开发过程

Fig. 7 The improved “V” development process

4 总结与展望

本文提出了一种航空电子互连网络的顶层设计架构，并应用开源软件 OSATE 针对这一架构开发了实现平台。本文提出的架构主要是要建立一个在全生命周期内便于维护、升级的航空电子互连网络系统，并且把系统的变更作为最重要的追求，也就是开发就是为了修改，修改就是为了再次修改。这种迭代的设计方式不仅提升了航空电子互连网络升级的灵活性，也使航空电子互连网络的设计得到了规范管理，从而降低全生命周期成本，提高生产效率。

本文提出的航空电子互连网络的顶层设计架构是以航空电子互连网络为应用背景，其架构思想和设计平台原型已经在实际工程的生产设计中得到了应用。

参考文献：

[1] 熊华钢，王中华. 先进航空电子综合技术[M]. 北京：国防工业出版社，2009.
XIONG Hua-gang，WANG Zhong－hua. Advanced Avionics Integration Techniques [M]. Beijing：National Defense Industry Press，2009.(in Chinese)

[2] 梁德文. 战斗机航空电子系统最新的发展趋势—网络化[J]. 电讯技术，2008，48(6)：93－97.
LIANG De-wen. Review on the New Development of Fighter Avionics System-Networking [J]. Telecommunication Engineering，2008，48(6)：93－97. (in Chinese)

[3] 黄以宽. 数据驱动：一种实用的原型化开发方法[J]. 电脑开发与应用，1996(1)：39－42.
HUANG Yi-kuan. Date Driven：a Practical Prototy-

ping Methodology [J]. Computer Developing and Application, 1996(1):39－42. (in Chinese)

[4] SAE AS5506, SAE Aerospace Standard: Architecture Analysis & Design Language (AADL) [S].

[5] SAE AS5506/1, SAE Aerospace Standard: SAE Architecture Analysis & Design Language (AADL) Annex Volume 1: Annex A: Graphical AADL Notation, Annex C: AADL Meta-Model and Interchange Formats, Annex D: Language Compliance and Application Program Interface, Annex E: Error Model Annex [S].

作者简介:

王昊天(1983—),男,吉林长春人,2006 年于吉林大学通信工程学院获学士学位,2008 年于北京航空航天大学电子与信息工程学院获硕士学位,现为北京航空航天大学电子与信息工程学院博士研究生,主要研究领域为航空电子系统设计、网络协议分析、交换调度策略、路由配置算法、网络性能评价;

WANG Hao-tian (male) was born in Changchun, Jilin Province, in 1983. He received the B. S. degree in Communication Engineering from Jilin University and the M. S. degree in Electronics and Information Engineering from Beijing University of Aeronautics and Astronautics(BUAA) in 2006 and 2008, respectively. He is now a Ph. D. candicate of the Department of Communication and Information System in BUAA. His research interests include avionics system design, aviation network protocol analysis, switch scheduling scheme, routing algorithm and network performance evaluation.

Email: qi1983xiong@ee. buaa. edu. cn

李　峭(1974—),男,山西平定人,分别在 1997 年、2000 年、2005 年于北京航空航天大学电子与信息工程学院获取学士、硕士和博士学位,现为北京航空航天大学讲师,主要研究方向为航空电子综合化系统、实时通信、网络性能评价;

LI Qiao (male) was born in Pingding, Shanxi Province, in 1974. He received the B. S. degree, M. S. degree, and Ph. D. degree in Electronics and Information Engineering from Beijing University of Aeronautics and Astronautics in 1997, 2000, and 2005 respectively. He is now a teacher of the Department of Communication and Information System in BUAA. His research interests include avionics integration, communication, and network performance evaluation.

Email: liqbuaa@ee. buaa. edu. cn

熊华钢(1961—),男,湖北武汉人,1983 年于南京航空航天大学电子工程学院获学士学位;分别在 1990 年和 1998 年于北京航空航天大学电子与信息工程系获硕士与博士学位,现为北京航空航天大学教授、博士生导师,主要研究领域为航空电子系统、航空电子互连协议、数字通信。

XIONG Hua-gang (male) was born in Wuhan, Hubei Province, in 1961. He received the B. S. degree in Electronic Engineering Department, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics in 1983. He received the M. S. degree and Ph. D. degree in Electronics and Information Engineering from Beijing University of Aeronautics and Astronautics in 1990 and 1998. He is now a professor with Electronic Engineering Department, BUAA. His research interests include avionics system, aviation network protocol, and data communications.

Email: hgxiong@ee. buaa. edu. cn