

# C<sup>4</sup>ISR 体系结构全信息分析模型

罗爱民 黄力 罗雪山

(国防科技大学信息系统与管理学院 长沙 410073)

**摘要** C<sup>4</sup>ISR 体系结构是实现一体化的基础,体系结构直接影响到系统建设的成败。本文以 C<sup>4</sup>ISR 体系结构框架为基础,建立了具有三层结构的体系结构全信息分析模型,并分别定义了语法层、语义层和语用层分析的含义和内容,以及各自采用的分析方法。体系结构全信息分析模型为 C<sup>4</sup>ISR 体系结构设计提供技术支持。

**关键词** 体系结构,全信息,语法,语义,语用

## C<sup>4</sup>ISR Architecture Comprehensive Information Analysis Model

LUO Ai-Min HUANG Li LUO Xue-Shan

(Information System and Management Academy, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

**Abstract** C<sup>4</sup>ISR architecture is basis of integration, architecture directly affects system exploitation. Based on C<sup>4</sup>ISR architecture framework, Comprehensive Information analysis model of C<sup>4</sup>ISR architecture is provided in the paper, which is made up of syntax level, semantics level and pragmatics level, the content and analysis methods of syntax level, semantics level and pragmatics level are defined. Comprehensive Information analysis model of architecture supports C<sup>4</sup>ISR architecture design.

**Keywords** Architecture, Comprehensive information, Syntax, Semantics, Pragmatics

C<sup>4</sup>ISR 体系结构对系统的设计、综合集成、采办等有很强的指导作用,因此越来越受到重视。目前,C<sup>4</sup>ISR 体系结构开发主要以 C<sup>4</sup>ISR 体系结构框架 2.0<sup>[1]</sup>和 DoD 体系结构框架 1.0<sup>[2]</sup>为指导。由于体系结构框架是针对体系结构描述的规范性文件,只是在描述形式和描述内容上规范体系结构设计,因此体系结构设计主要依靠设计人员的经验,缺乏科学、有效的手段支持,使得体系结构的设计质量难以保证。C<sup>4</sup>ISR 系统体系结构的质量好坏、是否满足军事需求,直接关系到系统建设与开发的成败。如何提高体系结构的设计质量,保证体系结构设计的科学性、高效性,是体系结构开发中面临的迫切问题。目前,对体系结构设计的分析与评估的方法主要有两种:一种是采用基于可执行模型的体系结构评估方法<sup>[3]</sup>,该方法主要利用可执行模型的执行,分析可执行模型的执行过程和执行结果,验证评估体系结构设计质量。这种方法主要评估体系结构设计是否满足系统需求,它的性能与效能怎样。另一种是借鉴软件体系结构的评估方法 ATAM<sup>[4]</sup>,采用基于场景的评估方法,分析体系结构的质量。这种方法是一种定性的分析方法。本文针对体系结构设计的特点,提出具有三层结构的 C<sup>4</sup>ISR 体系结构全信息分析模型,从语法、语义和语用层全面分析体系结构设计,以保证体系结构设计质量。

### 1 体系结构全信息分析模型

可执行模型和基于场景的体系结构分析方法主要是对体系结构整体性能、效能进行分析,忽略了对体系结构设计数据本身的分析。而体系结构产品设计的质量是进行体系结构整体效能分析的数据保证,也是形成体系结构整体效能的基础。因此,体系结构分析应该对体系结构各层次信息进行综合分析。为此建立了体系结构全信息分析模型,如图 1 所示。该

模型借鉴信息科学中提出的全信息<sup>[5]</sup>的概念,分别从语法、语义和语用三个层次分析体系结构。其中,语法层分析主要分析体系结构设计是否符合体系结构框架和产品的规定和要求,从体系结构的描述形式、数据形式、语法和结构的复杂性等对体系结构进行分析;语义层分析主要分析分布在不同体系结构产品中相关数据逻辑上是否合理,从数据之间的逻辑关系上分析体系结构数据的合理性;语用层分析主要评估体系结构的性能与效能是否满足需求,分析体系结构作为一个整体,它的作用和功效如何。

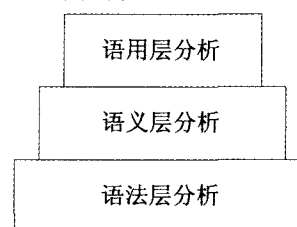


图 1 C<sup>4</sup>ISR 体系结构全信息分析模型

在全信息分析模型中,三层分析模型是密切相关的:语法层分析对体系结构设计形式进行分析,保证体系结构在语法形式上满足要求,是进行语义层和语用层分析的基础;语义层分析保证体系结构在逻辑上是合理的,能够根据体系结构形成一个逻辑正确、合理的系统,只有逻辑合理的体系结构才能后形成一个有机的整体,成为语用层分析的对象;语用层分析则在语法层和语义层分析的基础上,分析体系结构对应的系统的性能、效能等,分析体系结构对应系统最终提供给用户的效用。体系结构只有在语法层和语义层是正确的,语用层分析才有意义。

## 2 语法层分析

体系结构语法层分析是全信息分析模型的最底层,也是语义层分析和语用层分析的基础。语法层主要分析体系结构设计数据的规范性、结构复杂性等。

语法层分析的主要内容包括:

- 体系结构产品选择是否符合体系结构开发用途所规定的种类和数量

按照体系结构框架,针对体系结构的不同用途,设计体系结构产品的数量和种类都存在差异。体系结构框架给出了体系结构在发展战略研究、规划和计划制定、武器装备研制和武器装备运用等四个应用领域典型应用,明确了典型应用必须开发的产品。因此体系结构设计应该遵循框架的规定。这是保证体系结构满足实际需要最基本的前提。

- 体系结构产品设计过程是否遵循体系结构框架定义的语法规则

体系结构产品之间是密切相关的,共同构成对体系结构的整体描述。体系结构产品设计要严格按照体系结构产品的开发顺序,这是保证数据一致性和逻辑合理性的基本保证。

- 体系结构产品设计是否符合产品规定的语法结构

分析体系结构产品是否符合框架规定的语法结构,产品中的数据是否按照框架的规定的语法和结构设计。

- 设计产品的数据实体是否完备,数据实体的属性是否完备;

分析是否设计了体系结构产品规定的所有数据实体,以及数据实体必需的所有属性,以保证体系结构设计数据的完备性。如在作战节点连接关系(OV-2)中,每个作战节点必须完成至少一项作战活动,那么作战节点中作战活动的属性就不能为空。

- 结构复杂性

评估体系结构中结构的复杂程度,这里的结构复杂度主要是指静态结构,包括节点数量、链路数以及结构复杂度等。

语法层分析主要根据体系结构设计文档和数据,对比框架有关内容进行评估。若体系结构设计数据保存在数据库中,则可以利用体系结构数据库中的数据,通过自动化的手段,进行体系结构的语法分析与检查。若体系结构是文档形式保存,则更多的是依赖有经验的设计人员进行语法层分析。目前,出现一些遵循框架的专用体系结构设计工具,如 SA<sup>[6]</sup>,这些工具设计的体系结构,都可以采用自动化的方法评估。

## 3 语义层分析

体系结构语义层分析主要分析体系结构产品数据之间的逻辑合理性和数据一致性。C<sup>3</sup>ISR 体系结构框架是采用多视图的描述方法,体系结构产品分别从不同的角度描述同一系统不同方面的信息,体系结构产品数据是一个逻辑合理的整体。按照 C<sup>3</sup>ISR 体系结构框架,体系结构产品和数据的相关性可分为依赖关系和对应关系。依赖关系是指产品的某些数据依赖于其他产品,这些数据的值由其他产品决定。如作战信息交换矩阵(OV-3)中,作战节点的数据应该来自作战节点连接关系(OV-2)中的作战节点数据。对应关系主要指产品数据在逻辑上存在对应关系。如作战活动和系统功能之间存在多对多的关系,作战活动和系统功能也存在多对多的关系。因此,体系结构必须遵循数据之间的依赖关系与对应关系,保

证数据之间的逻辑合理性。语义层分析的主要任务就是评估产品数据的一致性和逻辑合理性。

(1)产品数据一致性分析与检查

数据的一致性评估主要是检查相互依赖的且分布在不同产品中的数据是否一致。如作战活动在作战活动模型(OV-5)产品、OV-2 中都有描述,按照框架以及数据之间的相关性,这两个产品中的作战活动集具有一致性。

根据体系结构框架的定义,可以建立以下主要分析规则:

- OV-2 中的作战节点对应的组织与指挥组织表(OV-4)中定义的组织集合一致,组织结构一致;

- OV-5 中完成作战活动的节点集与 OV-2 中定义的作战节点集一致;

- OV-5 中定义作战活动集与 OV-2 中定义的作战活动集的组成和结构一致;

- 作战活动与系统功能跟踪矩阵描述(SV-5)中的作战活动集与 OV-5 中的作战活动集一致;

- 系统接口描述(SV-1)中的系统集与系统通信关系(SV-2)中的系统集的组成和结构一致;

- 作战活动与系统功能跟踪矩阵描述(SV-5)中的系统功能集与系统功能描述(SV-4)中的系统集一致;

- 系统-系统关系(SV-3)中的系统集与 SV-1 中的系统集一致等;

(2)体系结构数据逻辑合理性分析

逻辑合理性分析主要包括两个方面,一是分析分布在不同产品中的数据之间的对应关系是否合理。如作战节点与作战活动、作战节点与系统节点的对应关系、逻辑数据模型与物理数据模型的逻辑关系等,这些对应关系在逻辑上是否合理。在分析过程中,首先找出数据之间的对应关系,再根据对应关系,建立分析的规则。

例如,OV-2 通常采用自顶向下分解的方式描述作战节点,按照作战节点分解关系的含义,上层作战节点由下层作战节点组成,上层作战节点完成的作战活动也必须由它所包含的子节点来完成,所有下层子节点完成的作战活动集应该等于上层作战节点完成的作战活动集。否则,这种节点的分解关系是不合理的。在分析过程中,建立逻辑合理性分析原则如下。

原则 1:作战节点完成的作战活动集应该为父作战节点完成的作战活动集与其所有子活动集并集的子集。

原则 2:所有子作战节点完成作战活动集的并集与父作战节点完成的作战活动集等价。

该原则要求所有下层节点完成的活动集的并集等于上层作战节点完成的作战活动集,或者是这两个集合在逻辑上是等价的,所有子节点完成的活动集的并集在功能上与父作战节点完成的作战活动集相同。

逻辑合理性分析的另一个重要方面是分析单个产品设计的逻辑合理性。如对描述系统动态行为的相关产品进行分析,如规则模型的设计的正确性,状态转换关系设计的合理性。分析规则模型设计的正确性可以采用仿真的方法,分析状态转换关系设计的合理性可采用可达性分析方法。

语法层分析在具体实施过程中,除了针对不同内容具有不用分析原则和标准外,分析方法基本与语法层相同,如体系结构保存在数据库中,则可采用自动化的方法,否则依赖于人

(下转第 278 页)

了利用面向方面的编程与反射机制结合的方法来实现软件在运行中动态改变软件的行为。AOP 通过引入方面这种模块化单元,使得程序关注点得到分离,消除了混乱代码。反射机制提供了一种使计算机系统感知自己和控制自己行为的能力,利用反射机制这种可以自省的能力可以对自己的行为和环境进行判断,结合 AOP 的概念可以动态地加载新的组件以达到改变自己行为的目的。但是由于元信息的存储和管理使得反射机制带来的性能损耗比较大,并且 AspectJ 用的是静态织入方式。然而,动态 AOP 语言已经出现并且已经得到应用。它的优点是使得软件在运行时可以修改方面并且可以动态地织入新的方面<sup>[11]</sup>,而且程序的设计人员可以在软件运行时动态地加入和移除方面,特点是灵活性强。我们下一步要研究动态 AOP 的应用。

### 参考文献

- 1 Maes P. Concepts and experiments in computational reflection. In: Meyrowitz N. editor. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Annual Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages and Applications (OOPSLA'87), Orlando, FL, USA, ACM Press, October 1987. 147~155
- 2 Sullivan G T. Aspect-oriented Programming Using Reflection and Metaobject Protocols. Communications of the ACM, October 2001, 44(10):95~97
- 3 Yang Z, Cheng B H C, Stirewalt R E K, et al. An Aspect-oriented Approach to Dynamic Adaptation. ACM, 2002. 85~90

- 4 Cheng H. Aspect oriented programming methodology. Information Technology Letter, 2005, 3(1):1~4
- 5 Kiczales G, et al. Aspect-Oriented Programming. In: proceedings of ECOOP'97. LNCS 1241, Springer-Verlag, June 1997
- 6 Pierre-Charles D, Ledoux T, Bouraqadi-Saadani N M N. Two-step weaving with reflection Using AspectJ. In: OOP-SLA 2001 Workshop on Advanced Separation of Concerns in Object-Oriented Systems, October 2001
- 7 Bencomo N, Blair G, Coulson G, et al. Reflection and Aspects meet again: Runtime Reflective Mechanisms for Dynamic Aspects. In: ACM International Conference Proceeding Series, Vol118, 2005
- 8 Ebraert P, Tourwe T. A Reflective Approach to Dynamic Software Evolution. In: the Proceedings of the Workshop on Reflection, AOP and Meta-Data for Software Evolution (RAM-SE'04) in conjunction with the 18<sup>th</sup> European Conference on Objected-Oriented Programming (ECOOP), 2004
- 9 Nicoara A, Alonso G. Dynamic AOP with PROSE, In: Proc. of International Workshop on Adaptive and Self-Managing Enterprise Applications (ASMEA'05) in CAISE'05, Portugal, 2005
- 10 Popovici A, Gross T, Alonso G. Dynamic weaving for aspect-oriented programming. In: Proceedings of the 1<sup>st</sup> international conference on Aspect-oriented software development, Enschede, The Netherlands, April, 2002
- 11 Greenwood P, Blair L. Using Dynamic Aspect-oriented Programming to Implement an Autonomic System. In: Proceeding of the 2004 Dynamic Aspects Workshop (DAW04), Lancaster, RIACS, 2004. 76~88
- 12 Kiczales G, Hilsdale E, Hugunin J. et al. An overview of AspectJ. Lecture Notes in Computer Science, 2001, 2072:327~355
- 13 Sato Y, Chiba S, Tatsubori M. A Selective, Just-In-Time Aspect Weaver. In: Second International Conference on Generative Programming and Component Engineering (GPCE'03), Erfurt Germany, 2003. 189~208

(上接第 240 页)  
工分析。

### 4 语用层分析

语用层分析是体系结构最高层次的分析,与语法层和语义层分析不同,语法层和语义层分析主要针对体系结构静态特征和非效用的特征分析。语用层分析主要针对体系结构整体效用的分析,注重的是体系结构对应系统的整体功效,分析体系结构对应系统的效用以及对需求的满足程度。通常,体系结构的语用层分析必须结合具体背景,在背景环境下分析系统的性能、效能。

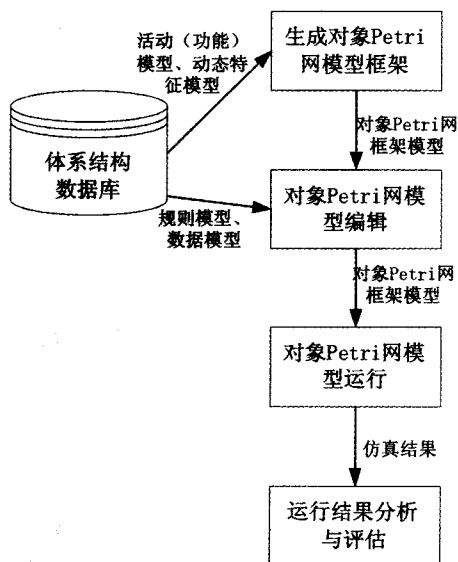


图 2 基于可执行模型的语用层分析过程

语用层分析最典型的方法就是采用基于可执行模型的方法,通过对可执行模型的仿真,对体系结构对应系统的性能、效能进行定量的分析与评估。

根据体系结构产品的特征,考虑采用对象 Petri 网<sup>[7]</sup>作为可执行模型,将体系结构产品转变为对象 Petri 网模型的语用层分析过程如图 2 所示。

首先,利用体系结构数据库中作战活动模型(或系统功能模型)、状态转换模型等信息,构建对象 Petri 网模型框架,形成 Petri 网模型的基本结构;再利用体系结构数据库中规则模型、数据模型以及性能参数模型,编辑对象 Petri 模型中转移的动作函数、谓词函数、时间函数等,生成完整、可执行的对象 Petri 网模型,并利用对象 Petri 网仿真平台仿真模型,跟踪执行过程和收集运行结果,分析体系结构对应系统的性能和效能。

此外,还可以采用传统的专家打分的方法,进行语用层的定性分析。

结束语 针对 C<sup>4</sup>ISR 体系结构的设计问题,提出体系结构全信息分析模型,并研究了语法层、语义层、语用层分析的内容和常用方法。在实际分析中,各层析分析原则和方法还有待进一步完善和补充。此外,语法层和语义层的分析功能和算法可以集成到体系结构设计支持工具中,保证体系结构在设计的同时就完成相关的分析和检验工作。

### 参考文献

- 1 C<sup>4</sup>ISR Architecture Working Group. C<sup>4</sup>ISR Architecture Framework Version 2.0[R]. U S: Department of Defense, 1997
- 2 DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.0 (Draft)[R]. U S: Department of Defense, 2003
- 3 Levis A H, Wagenhals L W. C<sup>4</sup>ISR Architecture Framework Implementation[EB/OL]. <http://viking.gmu.edu/http/AFCEA-503Y/CourseBook/index.html>, 2002-09-30
- 4 Kazman R, Klein M, et al. The Architecture Tradeoff Analysis Method[C]. In: Proceedings of ICECCS, Monterey, CA, 1998
- 5 钟义信. 信息科学原理[M]. 北京:北京邮电出版社, 1996
- 6 Popkin Software Corporation. Popkin Software's News & Events [EB/OL]. <http://www.popkin.com/newsandevents/newsandevents.htm>, 2002-11-01
- 7 国防科技大学 C3I 研究中心. 基于对象的 Petri 网建模仿真环境技术报告[R]. 长沙:国防科技大学, 1999