维普资讯 http://www.cqvip.com

实时系统构件非功能性接口语义规约*)

刘晓燕[1] 张云生[1] J-J. Schwarz[2] 李俊昌[1]
(昆明理工大学信息工程与自动化学院 昆明 650011)[1]
(LIRIS, UCB Lyon1, IUT A, 69622 Villeurbanne Cedex France.)[2]

摘 要 该文给出了基于构件的实时多任务应用系统图形化设计软件的具有分布式C/S关系实时构件的接口定义，主要论述实时构件非功能性接口模型，针对实时特性，提出构件的非功能性接口在时间性、调度性、合成性、同步、互斥以及资源设备控制方面的语义规约。

关键词 实时系统，实时构件，接口设计，非功能性，语义规约

Non-functional Interface Semantic Specification for Real-Time System Component

LIU Xiao-Yan[1] ZHANG Yun-Sheng[1] J-J. Schwarz[2] LI Jun-Chang[1]
(The School of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650001)[1]
(LIRIS, UCB Lyon1, IUT A, 69622 Villeurbanne Cedex France.)[2]

Abstract Present a component distributed and involved in C/S relation real-time interface definition dedicated to component-based graphical design software for real-time multitasking application systems. Non-functional interface model for real-time component is discussed mainly. Semantic specifications of component non-functional interface in time, schedulability, composition, synchronization, mutual exclusion and resource device control are provided aiming at real-time features.

Keywords Real-time system, Real-time component, Interface design, Non-functionality, Semantic specification

1 引言

基于构件的开发技术由于其可重用性而被广泛用于应用系统软件开发，目前该方法已经大量应用于分布式实时系统的开发。实时软构件提供的功能或服务及性能配置等根据实时应用的需求由接口标识。接口是构件技术的核心，若定义了统一的接口标准，各种语言编制的软件就可互操作。目前，ISO并没有定义接口的国际标准，但已有一些接口标准取得了广泛的应用，如OMG's CORBA IDL, Microsoft's (D)COM, Sun's JavaBeans的CDL等接口描述(或定义)语言能够描述构件接口的语法，并且具备编译和浏览工具的支持，但是它们由于对实时应用系统实时构件提供的服务在时间性及可预测性方面缺乏支持而不适宜于实时系统的应用。

在实时构件接口中指定构件的实时特征是非常必要的。基于C/S(Client/Server)客户服务器关系的分布式实时系统的构件开发，其接口不仅要向外提供服务和发出服务请求的说明而且应提供服务的时间特性说明、外部环境资源及设备和构件组装合成说明等。构件中封装的一个服务的实现可能会依赖其它构件中封装的服务，而这两个构件的关系恰好是互斥的，不能呈现并发，因而需要指定其互斥性。同时为了保证实时服务的正确执行，需要指定系统中构件之间交互的实时行为规约。为支持实时构件提供服务的可预测性，有必要在构件接口规约中引入调度性说明。

DRSCDE(Distributed Real-time Software Component Development Environment)是笔者研制的基于实时多任务操作系统RTMOS(Real-time Multitasking Operating System)用于基于构件的分布式实时多任务应用软件的图形化设计开发环境，为分布式的具有C/S体系结构的实时应用系统建模，辅助软件开发过程的架构设计、过程设计及代码生成。DRSCDE提供了一组图形符号支持实时软件的基于构件的结构建模以及构件的行为建模，在图形设计过程中即产生相应的伪码语言描述文档，通过伪编译器自动生成C++语言程序框架[3~5]。

本文主要论述DRSCDE构件的非功能性接口说明，诸如时间性、合成性及同步互斥等。首先定义了分布式C/S关系实时构件的接口。针对实时特性，提出构件的非功能性接口在时间性、调度性、合成性、同步、互斥以及资源设备控制方面的语义规约，以支持图形化设计构件及其接口的过程中，自动生成其文本描述语言文档的需要。

2 实时构件接口模型

应用对象AO(Applicative Object)是DRSCDE定义的基于C/S关系的高层类构件，是分布式实时应用构件的表示[3]。为了更好地表示分布式实时应用构件及构件之间的关系，分布式构件AO定义如下：AO刻画了分布式实时构件典型接口，包含功能、性能及其状态(激活和撤销等)等接口，包含一系列活动，是可编程的。可由其它子构件AO或底层原子对象复合构成。这些AO有自治的行动，有可访问的接口，通过接口定义其提供的服务、发送的服务请求及交互的协议。AO具有构件的包装性，分布性，服务性及封装边界(数据的完整性)，可并行操作。在实际应用中，AO可以是对象、子系统、系统或第三方开发的具有独立功能概念的部件。

*)基金项目：云南省教育厅科学研究基金项目(04Y467D)，云南省应用基础研究基金项目(2000F0004Z)。刘晓燕 博士生，副教授，主要研究方向为基于构件的软件工程及软件开发环境。张云生 教授，博士生导师，主要研究方向为计算机控制及实时软件开发环境。J.-J. Schwarz 教授，博士生导师，主要研究方向为基于构件的软件工程及实时软件开发环境。

维普资讯 http://www.cqvip.com

考虑到客户/服务器的体系结构、同外部环境的通信以及和其它构件的相互连接，构件接口 IF 定义为四元组：IF＝〈SPI，SRI，SI，CI〉。其图形符号定义如图 1 所示。其中：

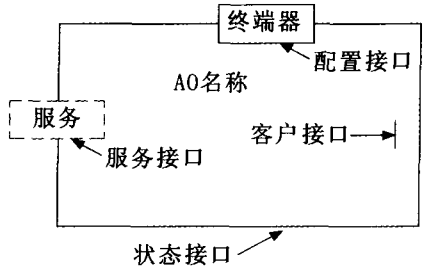

图 1　分布式实时应用构件 AO 的图形表示

1)提供服务接口 SPI (Service Providing Interface)

SPI＝{s_1，…，s_n}，表示构件封装的服务及交互协议的集合，通过此接口对外部提供服务以及同客户端构件的交互协议。在此定义服务及交互协议的文本描述语言。图形符号由虚线矩形表示，是构件的主要接口。

2)客户服务请求接口 SRI (Service Requesting Interface)

SRI＝{rs_1，…，rs_n}，表示客户构件请求的服务及服务交互协议集合。在构件的交互中，此接口表示客户角色构件向其它构件发送服务请求。

3)状态接口 SI (State Interface)

SI＝{ss_1，…，ss_n}，表示构件封装的每个服务的调度状态属性及状态原语的集合。修改各相应状态转换的动作称为状态原语，表示在实时应用环境中对实时构件交互的动态调度行为。在基于 RTMOS 应用中，为使设计高层的构件能在详细设计层赋给基于实时多任务操作系统应用可执行的任务对象，需要在构件的设计层设置状态接口表示在构件交互具体调度时，服务的状态属性及改变其它构件服务状态的动作。

4)配置接口 CI (Configuration Interface)

CI＝{cf_1，…，cf_n}，是对构件的每个服务非功能性的一些实时特征说明的集合，表示构件的非功能性接口，描述诸如时间性、合成性及同步等特性，是一个复合接口，包括资源控制接口、性能配置接口和合成接口。资源控制接口定义被构件监控或控制的外部实体。性能配置接口定义构件的时间约束，优先级等性能。合成接口定义构件的聚合关系及服务间的同步互斥关系等。

在分布式 C/S 体系结构中，实时应用构件之间的交互基于接口的消息交换。构件只能通过接口向外界提供服务。在本模型中 SPI 对构件提供的服务及其与客户构件的交互协议进行描述，SRI 对构件请求的服务及其与服务器构件的交互协议进行描述，状态接口 SI 描述实时构件间的动态调度行为，这些已在另文中论述。本文详细论述配置接口 CI 的定义及语义规约。

3　实时构件非功能性接口语义规约

现有的接口描述语言如 CORBA 的 IDL、DCOM 的 CDL 等，能够描述通用构件的接口语法语义规范，不能描述实时构件的实时特性，诸如时间和资源的约束等。本节针对基于 RTMOS 的 C/S 体系结构的分布式应用构件，定义服务非功能性接口语义规约。接口规约应遵循简单性、完整性、易理解性及信息最小化原则(即只包含用户所需的信息)[1]，在设计时是具体的，完全由设计者根据具体应用指定。

DRSCDE 构件的非功能性接口称为配置接口 CI，描述诸如时间性、合成性及同步等特性，是一个复合接口，包括性能配置接口、资源控制接口和合成接口。CI 定义为一个三元组：CI＝〈PCI，RCI，CIF〉。其中：

PCI(Performance Configuration Interface)：表示性能配置接口，是构件提供的服务名、该服务的时间特性及优先级属性三元组的集合，定义构件的时间约束、优先级等性能参数。

RCI(Resource Control Interface)：表示资源控制接口，定义被构件监控或控制的外部实体，如传感器、激励器、被监控的设备等。

CIF(Composition Interface)：表示合成接口，定义构件的聚合关系及服务间的互斥关系及执行的先后顺序(同步)等。

3.1　性能配置接口 PCI

性能配置接口 PCI 描述构件服务的时间特性及优先级属性。通过此接口可以根据需求及具体执行环境动态配置构件服务的时间属性及优先级参数，为实时特征约束的灵活配置提供方便。定义 PCI 为一个三元组：PCI＝〈SN，TDT，PD〉。其中：

SN(Service Name)：表示构件服务名，对构件封装的每个服务进行命名。

TDT(Time Descriptor)：表示构件服务的时间约束参数的设置。

PD(Priority Descriptor)：表示构件服务调度的优先级参数。

3.1.1　时间约束说明

对于一个实时多任务应用，其构件服务的时间约束特征要么是周期性的，要么是偶发性的[7]。因此，构件的接口应提供给设计者确定时间约束参数预估的设置，来描述构件服务的时间行为。定义一个时间描述子 TDT 描述构件服务的时间特性和约束，TDT 是一个五元组：TDT＝〈TT_{sn}，ET_{sn}，ST_{sn}，TP_{sn}，TD_{sn}〉。sn 代表指定的某个构件服务名。其中：

TT_{sn}(Time Type)：是构件服务的时间类型。有两个取值：周期性或偶发性。

ET_{sn}(Execution Time)：表示构件服务的执行时间。

ST_{sn}(Starting Time)：表示构件服务开始执行的时间。

TP_{sn}(Time Period)：若是周期性的服务类型，表示构件服务的执行时间周期。

TD_{sn}(Time Deadline)：表示构件服务的执行时间限制。

所有的时间参数在一个具体的构件服务实例中并不都是必须的，完全由开发设计人员根据具体应用而设定。如对一个时间偶发性的构件服务，其中的几个参数如 ET_{sn}，ST_{sn}，TP_{sn}等就不重要了，均为空值。对于时间特性为周期性的构件服务，可通过设置 ST_{sn}和 TP_{sn}指明起始时间和构件服务执行的时间间隔，即可得到时间周期属性。

若构件是事件驱动的，要么不需要指明时间属性，要么根据需求指明构件服务的执行时间限制 TD_{sn}。

构件的执行时间通过 ET_{sn}参数预设置。在执行时，构件实例的执行时间与它所封装的服务及与其它构件服务的交互特性相关联。因此，在设计构件实例时，由构件的服务实例执行时间来决定构件的执行时间。

3.1.2　优先级说明

DRSCDE 设计平台是对流行的 RTMOS 的抽象。在详细设计层，构件封装的服务由目前流行的 RTMOS 所支持的

(下转第 257 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

间的导航关系，为系统集成测试提供指导。

参 考 文 献

1 Wu Ye, Chen Mei-Hwa, Offutt J. UML-based Integration Testing for Component-based Software. In: The 2nd International Conference on COTS-based Software Systems (ICCBSS), Ottawa, Canada, February 2003
2 Nilawar M. A UML-based Approach for Testing Web Applications, 2003
3 Lee S, Offutt J. Generating Test Cases for XML-based Web Applications. In: Proceedings of 12th International Symposium on Software Reliability Engineering, 2001. 200～209
4 Wu Y, Offutt J. Modeling and Testing Web-based Applications. GMU ISE Technical ISE- TR- 02-08, 2002
5 Ricca F, Tonella P. Analysis and Testing of Web Applications. In: Proceedings of the 23rd International Conference on Software Engineering (ICSE 2001), 2001. 25～34
6 Conallen J. Building Web Applications with UML. Second Edition. Addison Wesley, 2002
7 Kung D, Liu C, Hsia P. An Object-oriented Web Test Model for Testing Web Applications. In: Proceedings of IEEE 12th Annual International Computer Software and Application Conference, 2000. 3～5
8 Conallen J. Modeling Web Application Architectures with UML. Comm of the ACM, 1999, 42(10): 63～70
9 Ricca F, Tonella P. Testing Processes of Web Appplications. Annals of Software Engineering, 2002, 14(1-4): 93～114
10 Andrews A, Offut J, Alexander R. Testing Web Applications by Modeling with FSMs. Software Systems and Modeling, August 2005, 4(3)
11 Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I, The Unified Modeling Language User Guide. Addison-Wesley, 1998
12 许蕾，徐宝文，陈振强. Web 测试综述[J]. 计算机科学，2003
13 颜炯，王朝，陈火旺. 基于模型的软件测试综述[J]. 计算机科学，2004, 31(2): 184～187

(上接第 252 页)

任务(Task)对象来执行。若实时执行体的调度算法是基于抢占式的调度，则开发者只需静态设置构件服务的优先级数值即可。在接口描述中设计 PD 优先级参数供设计者静态设置优先级，以方便 RTMOS 根据优先级对构件服务动态调度，可增强配置的灵活性。

当然此种调度算法并不适合所有情形，对于选择其它合适调度策略的 RTMOS(如时间轮询，事件驱动等调度)[7]，显式指定应用构件的时间特性是必要的，以便为 RTMOS 调度器的调度提供基础，并且这些时间特性在实时应用软件的仿真和验证阶段也要用到。

3.2 资源控制接口 RCI

资源控制接口 RCI 在构件模型的图形符号中由终端器表示。代表实时系统控制的外部设备，是同外部硬件环境通讯的接口。定义 RCI 是个二元组的集合：RCI=｛⟨DN, OP⟩｝。其中：

DN(Device Name)：表示实时系统控制的外部设备名。

OP(Operation)：表示作用于该设备操作的集合。

所监控的设备可以是数据采集部件传感器、机器人等。作用在这些设备上的操作有读数据、写数据和设置设备状态等。设备资源由详细设计层的中断或资源对象建模。其它的操作有通过远程服务调用请求服务，发送信号给异步事件，对设备资源中断进行管理，异常情况处理等。

其它构件通过服务接口的服务原语访问 RCI 提供的外部设备服务(操作)。

3.3 合成接口 CIF

合成接口 CIF 定义构件的聚合关系及服务间的同步互斥关系等。定义 CIF 是个三元组：CIF=⟨ADT, SDT, MDT⟩。其中：

ADT(Aggregation Descriptor)：聚合描述子，表示构件的聚合关系。

SDT(Sequence Descriptor)：执行先后顺序描述子，表示构件服务的同步关系。

MDT(Mutex Descriptor)：互斥描述子，表示构件服务的互斥关系。

定义聚合描述子 ADT 为各个子构件的集合：ADT＝｛AO_1, AO_2, …, AO_n｝。从构件层次化分解设计的角度看，构件可由下一层子构件复合而成，以形成更大粒度的可重用构件。其上层构件的接口应指定说明下一层组成的子构件，此构造称为聚合概念。表示了构件的内部构造。子构件又可由下一层子构件合成，因而构件的聚合关系定义是递归的。被聚合的子构件提供的服务接口通过其上层构件接口向外界展示。

定义序列描述子 SDT 是一个二元关系先后执行顺序序列组的集合：SDT＝｛Sequence⟨sn_i, sn_j⟩｝。其中，sn_i, sn_j 是各子构件或交互构件的服务，Sequence⟨sn_i, sn_j⟩表示执行先后顺序的二元关系，sn_i 在 sn_j 之前执行，表明 sn_i 与 sn_j 是同步的。构件服务的执行可能会调用其聚合的子构件服务或同层其它 AO 构件的服务。为方便实现层的任务构件对服务的执行时序的调度以及实时任务同步的要求，有必要指明同聚合的子构件服务或调用的同层其它 AO 构件服务之间的先后执行顺序，通过定义先后顺序关系及互斥关系来达到此目的。

定义构件服务之间的互斥关系描述子 MDT 是一个二元关系互斥序列组的集合：MDT＝｛Mutex⟨sn_i, sn_j⟩｝，Mutex⟨sn_i, sn_j⟩表示 sn_i 与 sn_j 有互斥关系。构件服务之间的互斥关系是对称的，如果 sn_i 与 sn_j 是互斥的，则意味着 sn_j 与 sn_i 互斥。根据具体应用，MDT 可以为空。

结束语 本文主要论述 DRSCDE 构件的非功能性接口模型，诸如时间性、合成性及同步互斥等。给出分布式 C/S 关系实时多任务应用系统图形化设计软件的实时构件的接口定义说明。针对实时特性，提出实时构件的非功能性接口在时间性、调度性、合成性、同步、互斥以及资源设备控制方面的语义规约。构件提供的服务接口、与客户构件的交互协议及状态接口已在另文中论述。该实时构件接口模型独立于基础设施，如操作系统、中间件等。将要做的研究工作是如何在 RT-CORBA 中间件上发布 DRSCDE 构件。

参 考 文 献

1 Atkinson C, BayerJ, et al. 顾剑，等译. 基于构件的产品线工程 UML 方法. 机械工业出版社，2005
2 OMG. UML Profile for Scheduling, Performance, and Time - Request for Proposal. OMG, Inc, OMG document ad/99, April 1999
3 刘晓燕，张云生，等. 复杂实时系统软构件对象设计. 计算机工程与应用，2003, 39(31): 119～121
4 刘晓燕，张云生，等. 基于构件的分布式实时系统架构图形化建模. 计算机应用研究，2005(增刊): 52～53
5 Schwarz J-J, Maranzana M, Skubich J J, Martinez Y. Applicative Objects Interconnection in a Graphical Design for Real-Time Applications [C]. In: 20th IFAC Workshop on Real Time Programming (WRTP'95), Florida, USA, November 1995
6 Skubich J, Schwarz J J, Maranzana M, Szmuc T. Time Requirement Specification in Graphical Real-Time Design. IFAC Control Engineering Practice, 1996, 4(2): 207～215
7 张云生. 实时控制系统软件设计原理及应用. 国防工业出版社，1998
8 Pasetti, Pree W. The component software challenge for real-time systems [C]. In: Proceedings of the First International Workshop on Real-Time Mission-Critical Systems, Scottsdale, AZ, Nov. /Dec. 1999
9 Wang Shengquan, Rho S, et al. Real-Time Component-based Systems [C]. In: IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS 2005), San Francisco, California, March 2005