

MATLAB 环境中 HLA 联邦成员开发技术研究

史璐莎^{1,2,3}, 张 斌³, 张 涛³

(1. 中国科学院大学, 北京 100080;

2. 中国科学院 光电研究院, 北京 100094;

3. 中国科学院 空间应用工程与技术中心, 北京 100094)

摘 要: MATLAB 具有强大的数据处理能力和建模仿真功能, 并提供了大量友好的接口, 但是并未绑定 HLA, 无法直接参与 HLA 仿真。在 MATLAB 与 java 相互调用和 prt1516 的 java API 基础上, 综合比较现存的 MATLAB 用于 HLA 仿真的各种方法的优劣, 以及 MATLAB 与 java 相互调用方法的优劣, 设计了 MATLAB-HLA Toolbox, 并详细介绍了工具包实现过程中的关键技术。通过工具包, 可以方便地实现在 MATLAB 环境中开发 HLA 联邦成员, 从而实现 MATLAB 用于 HLA 仿真, 实现 MATLAB 和 HLA 优势的结合。工具包的研究开发对于其他仿真软件用于 HLA 仿真具有一定的参考价值。

关键词: 高层体系结构; 仿真; 接口; 封装; 工具包

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)10-0010-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.10.003

Research of HLA Federate Development Technology in MATLAB Environment

SHI Lu-sha^{1,2,3}, ZHANG Bin³, ZHANG Tao³

(1. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China;

2. Academy of Opto-electronics, Chinese Academy of Science, Beijing 100094, China;

3. Technology and Engineering Center for Space Utilization, Chinese Academy of Science, Beijing 100094, China)

Abstract: MATLAB provides powerful data processing ability and a strong M&S function. It also has many friendly interfaces, but it can't be used in HLA simulation directly without an interface with HLA. Based on the interface of MATLAB and java as well as the java API of prt1516, compare the advantages and disadvantages of the methods that MATLAB being used in HLA simulation, and that MATLAB and java calling each other, design MATLAB-HLA Toolbox and introduce the keys in the process. Using the toolbox, one can develop HLA federates in MATLAB environment, which realizes the using of MATLAB in HLA simulation and the company of the advantage of the MATLAB and the HLA. Researching of the toolbox also gives other simulation software a reference to be used in HLA simulation.

Key words: HLA; simulation; interface; encapsulation; toolbox

0 引 言

高层体系结构 (HLA) 是用于产生计算机分布式仿真系统的通用技术框架, 是由美国国防部于 1995 年提出的, 其目的是希望通过提高仿真应用的互操作性和仿真资源的可重用性, 来提高建立仿真系统的开发运行效率。HLA 在解决异构、分布、协同的仿真模型和仿真系统的互操作及可重用性方面取得了重大的进展^[1]。

MATLAB 是一种用于算法开发、数据分析、可视化和数值计算的程序设计环境, 含有大量的计算算法和出色的图形显示功能, 可以在减少编程工作量的情况下方便地实现用户所需的各种计算功能, 并对数据进行直观的显示, 广泛应用于科学研究和工程计算多个领域中。MATLAB 含有大量的工具箱和模块, 方便地应用于仿真等多个领域。

通过对基于 MATLAB 的 HLA 联邦成员开发技术

收稿日期: 2012-12-25

修回日期: 2013-04-02

网络出版时间: 2013-07-24

基金项目: 国家重大专项; 载人航天应用系统总体设计 (Y2140102RN)

作者简介: 史璐莎 (1987-), 女, 山西阳城人, 硕士研究生, 研究方向为系统仿真; 张 斌, 工程师, 硕士, 研究方向为系统工程和仿真技术; 张涛, 研究员, 博士生导师, 研究方向为高可靠软件和仿真。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130724.1005.038.html>

进行研究,可以将 MATLAB 作为 HLA 联邦成员的开发运行环境,结合两者优势,充分发挥 MATLAB 在科学计算和工程实践中的数据处理能力,简化联邦开发过程。由于 MATLAB 解释性语言的特点,甚至可以将 MATLAB 作为联邦开发的调试环境或运行时的监控环境。

1 HLA 仿真简介

HLA 由 HLA 规则 (HLA Rules)^[2]、HLA 接口规范 (Interface Specification)^[3] 和 HLA 对象模型模板 (OMT, Object Model Template)^[4] 三部分构成。其中,HLA 规则共十条,定义了联邦设计阶段必须遵守的基本规则。其中前五条规定了联邦必须满足的要求,后五条规定了联邦成员必须满足的要求。这十条规则保证了联邦内部各联邦成员之间的正确交互。HLA 对象模型模板将联邦运行过程中的对象类模型和交互类模型按照统一标准进行描述,确保联邦成员的可重用性。OMT 定义了两类对象模型:联邦对象模型 (FOM) 和仿真对象模型 (SOM)。FOM 和 SOM 被存入相应的数据库中,作为仿真需求分析、建模和联邦执行过程使用。HLA 接口规范是 HLA 的关键组成部分,定义了仿真系统运行过程中,支持联邦成员之间互操作的标准服务,包括联邦管理、声明管理、对象管理、所有权管理、时间管理和数据分发管理六大类。

运行支撑系统 (RTI) 作为实现基于 HLA 框架的核心,所提供的功能类似于分布式操作系统,不仅具有分布式计算环境的特点,而且集成了分布式仿真所需要的功能。在 RTI 支持下,可以实现仿真应用层与底层支撑环境的分离,即将具体的仿真功能实现、仿真运行管理和底层传输三者分离,隐藏各自的实现细节,从而使仿真系统的各个部分可以相对独立的开发,同时满足应用系统的即插即用^[5]。RTI 还提供了仿真运行管理功能,开发人员不必再关心管理功能的实现,而可以将精力集中在具体仿真功能的实现。

一个完整的联邦成员由联邦成员仿真代码和本地 RTI 组件 (LRC) 构成。LRC 含有两个类:RTI 大使 (RTIAmbassador) 和联邦成员大使 (FederateAmbassador)^[6]。RTI 大使封装了由 RTI 提供的所有服务,联邦成员通过 RTI 大使向 RTI 请求服务;联邦成员大使定义了 HLA 接口规范中所有的回调函数,联邦成员通过联邦成员大使从 RTI 接收请求的数据和命令应答。

RTI 由于生产商和版本的不同,其 API 也会有所不同,一般以 C++、java 和 Ada 等通用编程语言实现。这些接口函数使得基于 HLA 的开发成为可能。在一般的 RTI 中,并没有实现对 MATLAB 的绑定,不能直接将 MATLAB 强大的仿真能力应用到 HLA 仿真中。

因此,需要对基于 MATLAB 的 HLA 联邦成员开发技术进行专门研究。

图 1 为 HLA 仿真的逻辑结构。

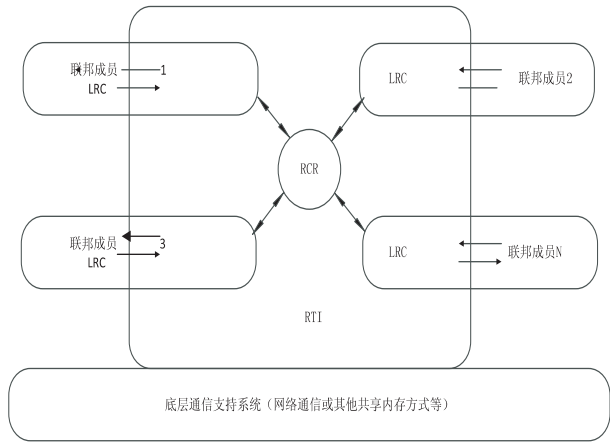


图 1 HLA 仿真的逻辑结构

2 MATLAB 实现 HLA 仿真

对基于 MATLAB 的 HLA 联邦成员开发技术,国内外已有多位学者做了不同程度的研究,总结其方法主要有:

1) 将 Simulink/Stateflow 模型改造成 HLA 成员的方法^[7]。

该方法先将 Simulink/Stateflow 模型利用 MATLAB 提供的 Real-time Workshop (RTW) 工具转换成 C 代码,再将该 C 代码利用作者自己开发的工具软件 SMIT (Simulink Model Import Tool) 自动转换为 HLA 成员。

这种方法可以推广到一般的 m 函数,但不具有灵活性。即使 Simulink/Stateflow 模型或 m 函数只有小的改动,也仍然需要重复上述整个过程。另外,该方法实际上已经脱离了 MATLAB 的运行环境,部分情况下,利用该方法甚至不如直接在 C/C++ 的联邦成员中调用 MATLAB 的数学库的方法更为简洁明晰。

2) RTI 接口模块的方法^[8]。

在现有的 Simulink 仿真模型的基础上加入 RTI 接口模块,负责模块间的数据通信。该 RTI 接口模块被作为新的 Simulink 模块放入 Simulink 模块库,使用时同其他 Simulink 模块一样直接使用。

该方法同第一种方法相比更加灵活,使用方便,实现了即插即用,但是该方法只适用于 Simulink/Stateflow 模型,且每个参与交互的仿真模型中均需要加入该 RTI 接口模块,这样使得大型联邦中该模块的大量冗余。

3) 通用适配器的方法^[9]。

通用适配器以联邦成员的方式加入仿真联邦,实现通用 RTI 服务和 MATLAB 通用 API 服务两个功能。另外,也有研究人员通过 RMI 等方式实现了 MATLAB

的 HLA 开发绑定,方法与之类似。

这种方法比较灵活,不需要用户再做进一步的加工,但该方法的数据映射机制不灵活,联邦成员之间的所有交互都需要经过该适配器的调度,过程比较麻烦,运行效率低,易造成服务拥堵。

4) 利用 MATLAB 的 MEX 接口和 RTI 的 C++ 接口开发工具包的方法^[10]。

该方法利用 MATLAB 的 MEX 接口和 RTI 的 C++ API,用 m 函数将 RTI 服务封装成工具包, MATLAB 联邦成员通过调用该工具包来实现与 RTI 的交互。

该工具包与一般的 RTI 接口规则一致,可以方便地掌握 MATLAB 环境下的联邦成员开发方法。但是,由于 MATLAB 单线程的特点,应用该方法时,不能选择用多线程的模式,容易造成消息饥饿和消息阻塞状态,降低了联邦运行的效率,而且用该方法开发需要做大量的工作,实现比较复杂。

事实上, MATLAB 从 5.3 起就已经集成了 java 虚拟机, MATLAB 的集成开发环境(IDE)就是使用 java 来实现的,用户可以直接在 MATLAB 中使用 java 的任何类、对象和方法。而 MATLAB 中的 JMI 包和 JMI 的封装 MatlabControl 包为 java 调用 MATLAB 提供了接口,因此可以实现对 MATLAB 函数的回调。

由于一般的 RTI 通过 java 实现或进行了 java 的开发绑定,因此可以通过 java 实现基于 MATLAB 的 HLA 联邦成员开发。而且 java 虚拟机支持多线程,因此 RTI 的进程模式也没有限制,可以在仿真联邦中充分发挥 MATLAB 强大的科学计算能力。

3 实现技术

文中选用 Pitch 公司的 prt1516,在 MATLAB R2011b 环境的支持下,实现 MATLAB-HLA Toolbox。仿真应用程序通过 MATLAB-HLA Toolbox 与 RTI 进行交互。

MATLAB-HLA Toolbox 的开发分为三个部分:联邦服务申请过程,回调过程以及其中的数据类型映射。

联邦服务申请过程为联邦成员应用程序(Federate.m)调用 RTI 服务(RtiService.m),RTI 服务调用 RtiAmbassador 的过程。联邦成员应用程序(Federate.m)通过 RtiAmbassador 调用 RTI 提供的服务。

回调过程为 LRC 中返回的应答或命令通过 FederateAMD 传送给联邦成员服务(FedService.m),从而将信息传送至联邦成员的过程。

由于 HLA 和 MATLAB 有各自的数据标准,所以交互过程需要实现两者之间的数据类型转换。联邦成员服务申请过程和回调过程中分别需要从 MATLAB 到 HLA 的数据类型转换和 HLA 到 MATLAB 的数据类型

转换。

图 2 为 HLA 联邦成员的 MATLAB 实现框架。

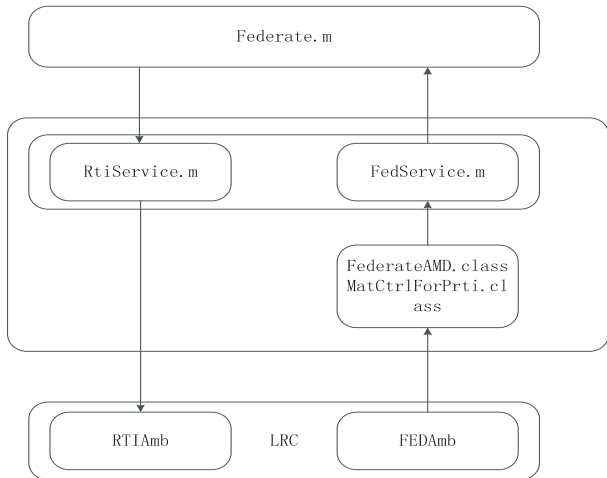


图 2 HLA 联邦成员的 MATLAB 实现框架

3.1 联邦服务申请过程

联邦成员大使(RtiAmbassador.class)中包含了 RTI 提供的所有标准服务接口。RTI 服务(RtiService.m)覆盖且对应于应用程序向联邦请求的所有标准服务,是对 RtiAmbassador.class 中的所有函数的 m 重载。

RtiService.m 对 RtiAmbassador.class 的重载通过 MATLAB 对 java 的调用来实现。文中的 MATLAB 2011b 集成有 java 虚拟机,通过 java 虚拟机来实现。运用 javaaddpath 将 prt1 1516 等相关的 jar 压缩包所在路径添加到 MATLAB 路径中,将所需的类导入(import)后,便可以调用相应的类以及其中的变量和方法。

3.2 回调过程

prt1516 中实现了纯虚类 RTI::FederateAmbassador 中的所有回调函数。联邦成员服务(FedService.m)需涵盖且对应于其中所有的回调函数,是对联邦成员大使纯虚类中所有回调函数的 m 重载。通过联邦成员服务函数来向应用程序返回请求的数据或命令应答。

为了对联邦成员服务(FedService.m)进行激活,需要实现接口函数与联邦成员服务函数的对应。文中将纯虚类 RTI::FederateAmbassador 在 FederateAMD 中重载,在重载重实现 m 服务函数的激活。在 FederateAMD.class 中调用联邦成员服务通过 java 对 MATLAB 的调用来完成。

MATLAB 提供了很多友好的接口,但是并未提供 java 接口,因此不能在 java 中直接调用 MATLAB。国内外对于 java 调用 MATLAB 的方法进行了大量的研究,并总结出了一些方法。

文献[11]中总结了三种方法:

(1) 利用 CORBA 技术实现连接。CORBA 定义了

一个开放的分布对象总线(对象请求代理 ORB)标准,允许不同编程语言实现的分布式对象应用程序之间进行通信。基于此技术,MATLAB 和 java 可以实现通信。

该方法的优点是完全遵照技术标准,可实现对 MATLAB 的远程调用;缺点是开发复杂。

(2)利用 JNI 技术和 MATLAB 引擎函数实现连接。JNI 是定义 java 程序如何调用非 java 程序的一种方法,已成为公开的标准。MEX 是一种可在 MATLAB 环境中调用的 C(或 fortran)语言衍生程序,实现了一种其他语言与 MATLAB 的接口。该方法利用 JNI 实现 java 与 C/C++的连接,利用 MEX 实现 MATLAB 与 C/C++的连接,最终实现以 C/C++为中间语言的 java 与 MATLAB 的交互。

该方法的优点是存在开源的调用程序库,可以快速实现;缺点是损失了 java 的平台无关性。

(3)利用 MATLAB 的 COM Builder 连接。该方法将 MATLAB 应用程序转换成标准 COM 组件的形式,并利用 java-COM 桥,完成 java 对 MATLAB 的调用。MATLAB 从 6.5 版后包含了 COM Builder 工具,可以将 m 文件转换成标准的 COM 组件。java 不能直接调用 COM 组件,通过 java-COM 桥实现 java 对 COM 组件的调用。

该方法的优点是不受操作平台的限制,缺点是通用性差。

除了上述优缺点之外,上述三种方法都需要第三方的技术、语言或工具的支持,都是间接的方法。

文献[12]中提出了 java 与 MATLAB 异步接口的方法。该方法利用 MATLAB 调用 java 的能力,引进了一个阶段性的异步 MATLAB 服务,由该 MATLAB 服务执行 m 函数来代替 java 对 m 函数的调用。

其流程为 java 产生的调用 m 函数的请求放入队列中,由阶段性异步 MATLAB 服务程序来代替 java 处理相应的 m 函数请求,再利用 MATLAB 对 java 的调用能力,将执行结果返回给 java。

这种方法仅使用 java 和 MATLAB,不需要第三方技术的支持,避免了对未文档化的 java 或 MATLAB 方法的使用,保证过程的正确性,实现平台无关性,方便移植。但是该方法过程复杂,且 java 多线程程序均交给单线程的阶段性异步 MATLAB 服务,可能会使 MATLAB 成为整个过程的瓶颈。

JMI 提供了一种直接的 java 调用 MATLAB 的方法。jmi.jar 包包含在 MATLAB 的标准安装目录中。只需将该 jar 包添加到 java 运行环境中即可实现 java 对 MATLAB 的调用。其中的主要方法 eval 和 feval 分别用于调用不带参数和带参数的 MATLAB 函数。

该方法有一个缺点:jmi.jar 虽然包含在 MATLAB

标准安装目录中,但是并未被官方承认,且 MATLAB 的说明文档中并未对相关内容进行说明。这使得该方法不太稳定,没有文档的指导,操作困难且容易出现不可估计的错误,调试比较困难。但是随着该方法越来越多的使用,逐渐积累了一些经验总结,并在此基础上进行了改进。

布朗大学的 Joshua Kaplan 的 MatlabControl 是对 JMI 的一种封装。它不仅可以脱离 MATLAB 运行,而且不需要人为干预。它基于 MatlabControl.java/class,不仅包含与 JMI 相同的可以调用 MATLAB 函数的功能,还可以调用 MATLAB 命令。

文中采用 MatlabControl 的方法,将 JMI 包和 MatlabControl 包添加到 java 的运行环境中,从而实现 java 对 MATLAB 的调用。

3.3 数据类型映射

混合编程中一个重要的问题是语言之间的数据类型映射问题。文中需要实现 MATLAB 与 HLA 数据类型之间的映射。以 java 作为中间工具,该过程可分为 MATLAB 与 java 之间的数据映射和 java 与 HLA 之间的数据映射两个部分。

java 作为 prt1516 java API 的实现语言,两者之间的数据映射已在开发过程中实现,在这里不再重复。文中需要实现 MATLAB 和 java 之间的数据映射,包括两个部分:联邦服务申请过程中从 MATLAB 到 java 的数据类型转换(m2j)和回调过程中从 java 到 MATLAB 的数据类型转换(j2m)。

MATLAB 的帮助文档中定义了 MATLAB 和 java 两者之间转换的规则和适用的范围,如表 1 和表 2 所示。

上述转换在 java 和 MATLAB 之间自动实现。其中,java 到 MATLAB 转换(j2m)规则适用于表 1 所列类型的标量、矢量、矩阵和 multidimensional 数组。无论是调用自己的方法,还是调用属于 MWArray 类的构造方法和代理方法,该规则都适用。MATLAB 到 java 的转换(m2j)规则也适用于表 2 中所列出的所有数据类型的标量、矢量、矩阵和 multidimensional 数组。

4 仿真实现

为了便于编写联邦成员应用程序,文中对 RTI 服务(RTIService.m)进行进一步封装。封装函数不对应于具体的单个 RTI 标准服务,而是多个标准服务的集合。封装函数的参数以 cell 数组的形式来表示,调用该封装函数可以代替多个相应的标准服务,以 cell 数组中某项的内容是否为 null 的形式来决定是否调用对应的标准服务函数。

在该工具包的支持下,文中建立了一个矩阵仿真

联邦(MatrixFed)。其运行环境为一台装有 Windows 7 操作系统的计算机(命名为 A)和一台装有 Windows XP 系统的计算机(命名为 B),两台机器之间通过网络连接。A 机上安装 MATLAB 2011b,B 机上安装 prt1516_jre6 和 jdk1.6.0_25。

表 1 java 到 MATLAB 类型转换规则

java 类型	MATLAB 类型
double	double
float	single
byte	int8
int	int32
short	int16
long	int64
char	char
boolean	logical
java. lang. Double	double
java. lang. Float	single
java. lang. Byte	int8
java. lang. Integer	int32
java. lang. Long	int64
java. lang. Short	int16
java. lang. Number	double
java. lang. Boolean	logical
java. lang. Character	char
java. lang. String	char

表 2 MATLAB 到 java 类型转换规则

MATLAB 类型	java 简单类型	java 封装器类
cell	无	Object
structure	无	Object
char	char	java. lang. Character
double	double	java. lang. Double
single	float	java. lang. Float
int8	byte	java. lang. Byte
int16	short	java. lang. Short
int32	int	java. lang. Integer
int64	long	java. lang. Long
uint8	byte	java. lang. Byte
uint16	short	java. lang. Short
uint32	int	java. lang. Integer
uint64	long	java. lang. Long
logical	boolean	java. lang. Boolean
Function handle		不支持
java class		不支持
User class		不支持

MatrixFed 包括两个联邦成员:一个是用 java 语言实现的 MatrixSender. java/class,负责发送矩阵数据;另一个是用 MATLAB 实现的 MatrixReceive. m,负责接收矩阵数据并进行矩阵运算。联邦的对象模型模板(matrix. xml)用 omt 工具实现。

其中 prt1516 和 MatrixSender. java/class 在 B 机上运行;MatrixReceive. m 在 A 机上运行,通过 B 机的 IP 地址实现对 prt1516 的访问。

联邦中矩阵运算部分在 MATLAB 中实现只需一条语句,而在 java 中则需要编写大量的语句。

该联邦的成功运行验证该工具包的正确性。联邦充分运用 MATLAB 在矩阵运算中强大的功能,展示了 MATLAB 强大的计算能力运用于联邦仿真的优越性,进一步体现了 MATLAB 用于 HLA 仿真的重要意义。

5 结束语

在综合比较各种方法优缺点的基础上,文中运用封装的思想,在 MATLAB 2011b 环境和 prt1516 的 java API 支持下,采用 MATLAB 与 java 混合编程的方法,利用 MATLAB 的 java 虚拟机和 JMI 的封装包 MatlabControl,开发了 MATLAB-HLA Toolbox,解决了 MATLAB 用于 HLA 联邦成员开发的问题,并与其他仿真工具用于 HLA 仿真提供了参考。

参考文献:

[1] 马善达,万晓冬,李云芳,等. 基于 HLA 和移动代理的负载均衡控制技术探讨[J]. 计算机技术与发展,2012,22(6): 163-166.

[2] IEEE Std 1516-2010 (Reversion of IEEE Std 1516-2000). IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-framework and rules[S]. New York: IEEE Inc,2010.

[3] IEEE Std 1516.1-2010 (Reversion of IEEE 1516.1-2000). IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-federate interface specification[S]. New York:IEEE Inc,2010.

[4] IEEE Std 1516.2-2010 (Reversion of IEEE 1516.2-2000). IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-object model template (OMT) specification[S]. New York:IEEE Inc,2010.

[5] 刘 雄,康凤举,王小宁,等. 基于 HLA 编队协同作战仿真研究[J]. 系统仿真学报,2007,19(4):784-786.

[6] 张建茂,刘耀周. 基于 HLA 的仿真程序设计研究[J]. 计算机仿真,2005,22(7):149-152.

[7] 田新华,冯润明,翁干飞,等. 一种将 Simulink/Stateflow 模型改造成 HLA 成员的方法[J]. 系统仿真学报,2002,14(7):883-886.

集建模; λ_e 和 λ_d 是平滑用的插值参数。

5 结束语

文中主要介绍了 XML 检索与传统信息检索的区别,指出了 XML 检索主要解决的问题。然后,从 XML 查询语言、XML 索引与存储、XML 检索模型三个方面对目前研究现状进行了介绍,并进行了简单对比。

XML 查询语言主要的问题是是否需要用户提供 XML 元素结构信息,XML 索引与存储目前主要有传统索引改进的和 XML 特有的方法,而 XML 检索模型方面目前几乎都是通过传统信息检索模型扩展而来,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Lalmas M, Trotman A. XML retrieval [M]. Berlin: Springer, 2009.
- [2] 张 博,耿志华,周傲英. 一种支持高效 XML 路径查询的自适应结构索引[J]. 软件学报,2009,20(7):1812-1824.
- [3] Guo L, Shao F, Botev C, et al. XRANK: ranked keyword search over XML document [C]//Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Management of Data. New York, NY, USA: ACM, 2003:16-27.
- [4] Xu Y, Papakonstantinou Y. Efficient keyword search for smallest LCAs in XML database [C]//Proceedings of the 24th ACM International Conference on Management of Data. Baltimore, Maryland, New York, NY, USA: ACM, 2005:527-538.
- [5] Cohen S, Mamou J, Kanza Y, et al. XSearch: a semantic search engine for XML [C]//Proceedings of the 29th ACM International Conference on Very Large Data Base. New York, NY, USA: ACM, 2003:45-56.
- [6] Fuhr N, Gro-johann K. XIRQL: a query language for information retrieval in XML documents [C]//Proceedings of the 24th Annual International ACM SIGIR Conference. New York, NY, USA: ACM, 2001:172-180.
- [7] Mass Y, Mandelbrod M. Retrieving the most relevant XML

components [C]//Proceedings of the 2nd Initiative on the Evaluation of XML Retrieval Workshop. Berlin: Springer, 2004: 53-58.

- [8] Sigurbjornsson B, Kamps J, Rijke M. The effect of structured query and selective indexing on XML retrieval [C]//Proceedings of the 4th Initiative on the Evaluation of XML Retrieval Workshop. Berlin: Springer, 2006:104-118.
- [9] Liu J, Lin H, Han B. Study on reranking XML retrieval elements based on combining strategy and topics categorization [C]//Proceedings of the 6th Initiative on the Evaluation of XML Retrieval Workshop. Dagstuhl Castle, Germany: INEX, 2007:170-176.
- [10] Sauvagnat K, Hlaoua L, Boughanem M. XFIRM at INEX 2005: Ad-Hoc and relevance feedback tracks [C]//Proceedings of the 4th Initiative on the Evaluation of XML Retrieval Workshop. Berlin: Springer, 2006:88-103.
- [11] 吉训遵,钟 声. 关系数据库中 XML 索引技术研究[J]. 科技传播,2010(14):233-234.
- [12] Geva S. GPX-gardens point XML information retrieval at INEX 2004 [C]//Proceedings of the 3rd Initiative on the Evaluation of XML Retrieval Workshop. Berlin: Springer, 2005:211-223.
- [13] Luk R, Leong H, Dillon T S, et al. A survey in indexing and searching XML documents [J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2002, 53(6):426-437.
- [14] Mass Y, Mandelbrod M. Using the INEX environment as a test bed for various user models for XML retrieval [C]//Proceedings of the 4th Initiative on the Evaluation of XML Retrieval Workshop. Berlin: Springer, 2006:187-195.
- [15] Alin D. XML-QL: a query language for XML [EB/OL]. 1998-08-19 [2012-12-23]. <http://www.w3.org/TR/NOTE-xml-ql/>.
- [16] Sigurbjornsson B, Kamps J, Tijke M. Anelement-based approach to XML retrieval [C]//Proceedings of the 2nd Initiative on the Evaluation of XML Retrieval Workshop. Berlin: Springer, 2004:19-26.

(上接第 14 页)

- [8] 乔海泉,田新华,黄柯棣. 将 Simulink 模型用于 HLA 仿真 [J]. 系统仿真学报,2006,18(2):335-337.
- [9] 郭 斌,熊光楞,陈晓波,等. MATLAB 与 HLA/RTI 通用适配器研究与实现 [J]. 系统仿真学报,2004,16(6):1275-1279.
- [10] Pawletta S, Drewelow W, Pawletta T. HLA-based simulation within an interactive engineering environment [C]//Proc of Fourth IEEE International Workshop on Distributed Simulation

and Real-time Application. Piscataway, NJ: IEEE, 2000:97-102.

- [11] 郭志强,黄 燕,吴 平. Java-MATLAB 集成方法的分析与探讨 [J]. 农业网络信息,2006(6):15-17.
- [12] Naderlinger A, Templ J, Resmerita S, et al. An Asynchronous java interface to matlab [C]//Proc of 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques. Brussels, Belgium: ICST, 2011:57-62.

作者：[史璐莎](#)，[张斌](#)，[张涛](#)，[SHI Lu-sha](#)，[ZHANG Bin](#)，[ZHANG Tao](#)
作者单位：[史璐莎, SHI Lu-sha\(中国科学院大学, 北京 100080; 中国科学院 光电研究院, 北京 100094; 中国科学院 空间应用工程与技术中心, 北京 100094\)](#)，[张斌, 张涛, ZHANG Bin, ZHANG Tao\(中国科学院 空间应用工程与技术中心, 北京, 100094\)](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(10)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201310003.aspx