第42卷 第7期
2010年7月

哈尔滨工业大学学报
JOURNAL OF HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Vol. 42 No. 7
July 2010

数控系统编程模型研究

高 荣[1], 王治森[2], 叶佩青[1], 章建科[2], 董伯麟[2]

(1. 清华大学 精密仪器与机械学系,北京 100084, ggrr7012@163.com;2. 合肥工业大学 CIMS 研究所,合肥 230009)

摘 要: 为了实现数控系统互操作和跨平台集成,研究了基于Web服务的数控系统编程模型,分析了数控功能、数控网络编程技术和数控系统的Web服务实现等核心问题,构造了XML Sechema数控功能模型,提出了一种新的基于XML Web服务的数控系统编程模型,构建了包括服务请求层、服务提供层和服务监控层的该模型的系统体系,对每层的功能以及软件架构进行了研究,实现了数控系统应用层和设备层的Web服务开发. 实验系统验证表明,基于Web服务的数控系统编程模型解决了数控系统的互操作性,支持互联网上异构系统的跨平台、跨地域无缝集成.

关键词: 数控系统;XML; Web服务;模型

中图分类号: TP391.73;TN92 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2010)07-1126-07

Research on CNC programming model

GAO Rong[1], WANG Zhi-sen[2], YE Pei-qing[1], ZHANG Jian-ke[2], DONG Bo-lin[2]

(1. Dept. of Precision Instruments & Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China, ggrr7012@163.com;
2. Institute of CIMS, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: To realize the interopration and integration in CNC, a CNC programming model is illustrated. According to CNC function, CNC system data structures are studied and fuction models based on XML Schema are established. The CNC network programming technology is studied, and the CNC software system includes three layers: Web Services requester, Web Services provider and Web Services monitor, thus a CNC programming model based on XML Web Services is established. Web Services in CNC application and equipments are studied. By experiments, the programming model based on XML Web Services is proved to be effective in trans-platform and trans-regional seamless integration and collaborative operation of numerical control equipments.

Key words: CNC system; XML; Web Services; programming model

在数字化制造领域,产品生命期的前期信息集成(包括PDM,CAD/CAM等)和上层信息集成(包括企业、管理和设计部门级别等的信息集成等)的研究和实施比较多,而制造业的底层,尤其是设备级的信息集成研究和实施得少. 后者已经成了先进制造模式和技术中的瓶颈[1-3]. 其主要原因是:①车间和设备运行环境的复杂性和多变性;②数控设备的控制和信息平台的多样性和异构性;③信息资源和处理能力的薄弱性. 因此,采用新的编程模型来实现这些异构平台间的信息集成十分重要. Web服务(Web Services)就是一种能实现这种信息集成的基于互联网分布式组件技术的新型编程技术基础.

1 数控系统Web服务模型

1.1 数控系统的Web编程模型定义

Web服务是创建可互操作的分布式应用系统的新平台,其主要目的是跨平台的互操作性. 新一代的Web编程通过广泛采用XML Web服务定义. 它由XML、SOAP、UDDI、WSDL几种Internet开放性的标准构成.

数控系统Web编程模型是针对Web服务数

收稿日期: 2008-12-11.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50375043);
江苏省自然科学基金资助项目(BK2009662);
江苏省高校自然科学基础研究项目(07KJD460017).
作者简介: 高 荣(1970—),男,博士后,副教授;
王治森(1936—),男,教授,博士生导师;
叶佩青(1963—),男,研究员,博士生导师.

控系统而言的,在这里定义它为如何编写数控功能代码,并生成 Web 服务供系统调用或者返回给最终数控系统用户的方法. 它包括两部分,一个是如何编写 Web 应用程序的规范,另一个则是实现这一规范的 Web 编程框架,而 ASP. NET 就是用来实现 WebForm 模型的框架,当然 ASP. NET 的功能比较强大,留下了足够的空间,足够在此基础之上实现另外的模型,比如 MonoRails.

1.2　数控系统 Web 服务模型解决方案

Web 服务通过定义一组可以通过 Internet 调用的服务以公开并统一的方式提供给使用者,支持应用程序实现 Internet 上的跨平台的动态功能集成. Web 服务是独立的模块化分布式组件,能够通过 WWW 描述、发布、定位及调用.

在数控系统 Web 服务模型的解决方案中共有 3 种工作角色,其中服务提供者(服务器)和服务请求者(客户端)是必需的,服务注册中心是一个可选的角色. 它们之间的交互和操作构成了数控系统 Web 服务的体系结构. 服务提供者定义并实现 Web 服务,然后将服务描述发布到服务请求者或服务注册中心;服务请求者使用查找操作从本地或服务注册中心检索服务描述,然后使用服务描述与服务提供者进行绑定并调用特定功能的数控 Web 服务. 图 1 表示了数控 Web 服务模型的 3 种角色及它们之间的操作关系. 正是由于服务提供者和服务请求者对 SOAP、WSDL 规范的全力支持,才可能实现数控系统在互联网上的互操作性和无缝集成[2,4].

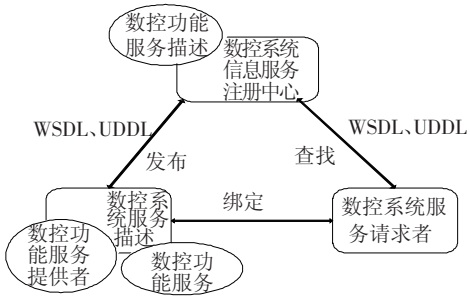

图 1　数控系统 Web 服务角色、操作和构件

2　基于 Web 服务数控系统的构建

2.1　Web 服务与数控系统

将 Web 服务运用到新一代服务型数控系统,统一以“标准零件”装配的方式将 Web 服务组装成各种数控软件系统,这样可以方便快捷地实现不同软件商之间的 Web 服务信息共享,也可以在不是基于 Web 服务的数控系统软件基础上增加一层 Web 服务,从而实现信息共享. 所以数控各个功能模块以 Web 服务的方式供其他应用程序使用,从而支持跨平台的互操作,完成比数据共享更高一级的服务共享. 而且,对于这种服务的访问和使用可以仅用 Web 浏览器就能实现,甚至可以通过将数控系统的非实时的部分(如编译、系统配置、参数设置等等)独立出来成为服务,实现分布式的数控系统[3,5-7].

2.2　基于 Web 服务数控系统的架构

2.2.1　基于 Web 服务数控系统的硬件架构

图 2 是基于 Web 服务的数控系统的硬件架构[7-8].

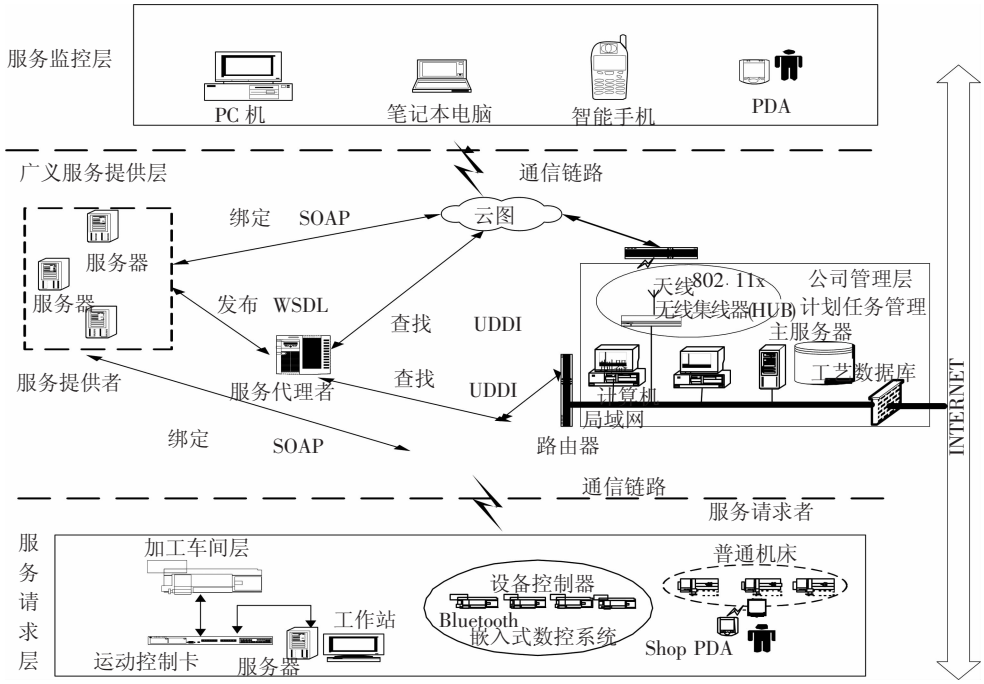

图 2　基于 Web 服务的数控系统的硬件架构

1)服务请求层. 将不能独立在本机上部分或全部完成任务,而需要借助网络向其他服务器寻求帮助的所有车间数字化设备(如数控机床、机器人、AGV 小车等)称为服务请求者或客户端. 服务请求者可以通过两种方式访问 Web 服务器:若有客户端具有 Web 浏览器,可以通过浏览器访问统一的 Web 服务界面(它在客户端表现为网页形式);对于不支持 Web 浏览器的设备,可通过客户端程序(如 Windows Forms)访问 Web 服务,这是一种非网页的形式.

2)广义服务提供层. 之所以称其为广义,主要是因为在这一层中,包括了面向 Internet 的 Web 服务. 这些服务可以是 Web 服务提供商提供的,也可以是企业独立开发的;同时也并存着其他技术开发的应用程序(如 CORBA、DCOM 开发的程序),这些应用程序分布在企业内部. 这一层的设备主要是功能强大的 Web 服务器和企业内部服务器.

3)服务监控层. 这一层除了传统的台式机,还包括了大量的移动设备. 在这一层中,任何设备都可以通过 Web 浏览器查找相关的 Web 服务,实现对车间设备的远程监控、远程维护和远程技术咨询等功能. 既使是基于智能手机或 PDA 的移动控制器,也能出色地完成任务,从而到达"信息化的 3 个"Any"(Anywhere、Anytime、Anything)的境界.

2.2.2 基于 Web 服务数控系统的软件架构

数控系统是一个多任务的复杂软件系统. 从时间响应上可以分为非实时性任务、弱实时性任务和强实时性任务. 通过对数控系统信息处理的时间要求分析,将整个软件架构化分为:系统层软件、设备层软件和应用层软件. 重点是开发设备层和应用层的基于 Web 服务的数控组件模块.

1)本地服务设备层软件主要涉及实时性强的数控服务模块,称之为本地服务. 这些模块一般都驻留在本地设备上(如数控机床、机器人、AGV 小车等),完成插补、伺服控制、PLC 等功能;对外则提供一些可监控和检测的 Web 服务接口. 一般采用的开发方式是"托管代码 + 本地代码". 托管代码对外提供 Web 服务接口,可以使用 Visual C#. NET 的 C#来开发;本地代码实现对设备的控制,可以使用 Visual C + +来开发.

2)远程服务应用层软件主要涉及实时性弱或非实时性的数控服务模块,称之为远程服务. 这些模块即可以驻留在本地设备上,也可以驻留在其他设备上或 Web 服务器上. 一般采用的开发方式是"托管代码".

通过对框架的层次分析和软件开发方法的总结,提出了基于 Web 服务的新型数控系统编程模型的软件结构,如图 3 所示[7-8].

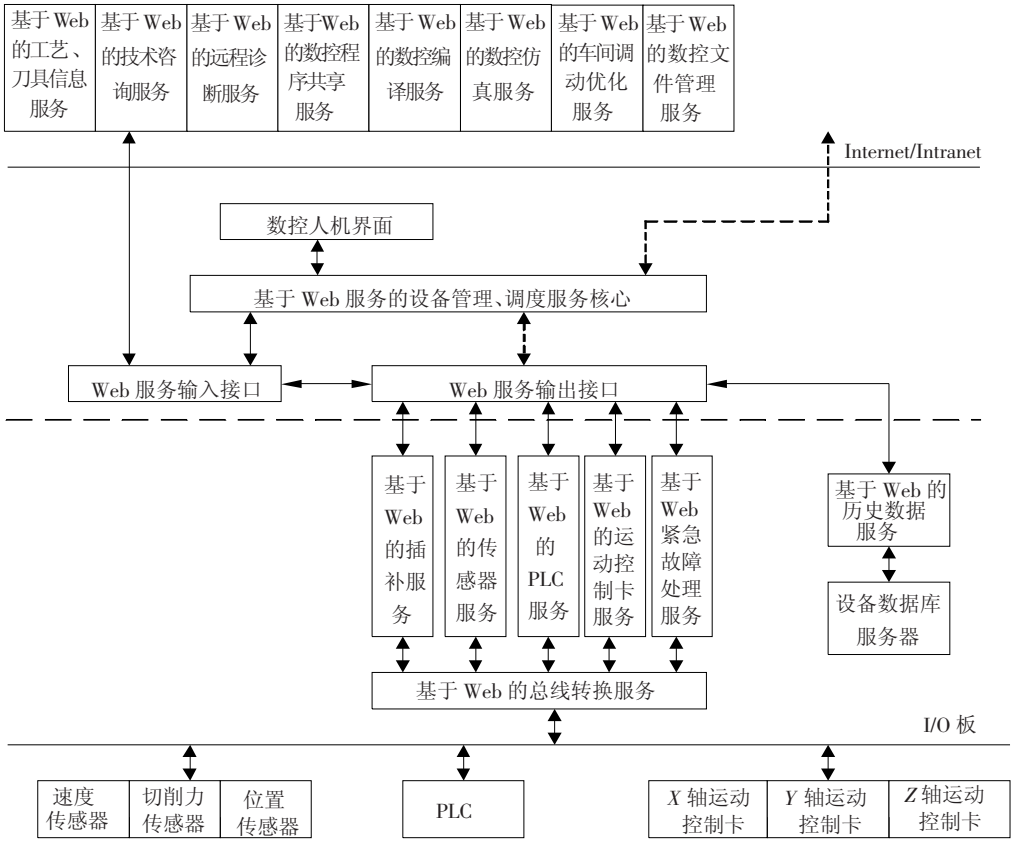

图 3 基于 Web 服务的数控系统软件结构

3　基于 XML 的数据结构

XML 是一种面向 Internet 应用的元标记语言,具有数据自描述性,即用户可以根据自身的需求定义新的标记用于描述其特定的数据信息. XML 曾经被人称为“Web 上的 ASCⅡ码”. XML Schema 是预先定义的用于描述 XML 文档结构和内容的一系列规则,本身也是由 XML 语言书写的. 它可以准确描述 XML 文档所包含的元素、元素的数据类型和元素相关联的属性及其相互间的关系. XML Schema 相当于面向对象领域的类,而根据其创建的 XML 文档则相当于一个实例.

数控系统中定义了许多复杂的数据结构. 各个数控模块间的联系依赖于这些复杂的数据结构. 在 Internet/Intranet 上,要实现这些模块间的跨平台互操作,可以将这些数据结构转换成相应的 XML Schema,而这些数据结构的具体应用则转换成 XML 文档. 这样,每个 XML 文档,都符合相应的 XML Schema 语法要求. 如一数控机床上有插补模块,可是没有编译模块,但是知道有一基于 XML Web 服务的数控编译模块的 URL(如服务模块的网址),那么它把 NC 文件发送至该 URL,数控编译模块编译该 NC 文件,将得到的编译结果——NC 执行模块(定义为一个由构成的 FST 链表[9]),它包括了 G、M、F、T、S 等可执行的数控功能结点和数据结构. 通过 XML 序列化成一个符合 FST 链表架构的 XML 文档,然后将该 XML 文档返回给数控机床. 该机床则使用 XML 反序列化成 FST 链表,供给相应的数控执行模块使用. 在整个过程中,XML 文档始终严格符合 XML Schema 的语法要求.

图 4 的 XML Schema 是一个简化的 FST 链表模型. 在这个 FST 链表架构中,一个程序集由一个或多个程序组成,每个程序由一个或多个 G01、Program_No(程序名)、M02 元素组成. 当有多个程序时,通过 M02 来标志主程序和子程序.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<xs:schema ? ?  targetNamespace="http://tempuri.org/XMLSchema.xsd"
element FormDefault="qualified"
        xmlns="http://tempuri.org/XMLSchema.xsd" xmlns:mstns="http://tempuri.org/XMLSchema.xsd"
        xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
        <xs:complexType name="G01">                                          //定义G01元素
                <xs:sequence>
                        <xs:element name="X" type="xs:int" />
                        <xs:element name="Y" type="xs:int" />
                        <xs:element name="Z" type="xs:int" />
                        <xs:element name="F" type="xs:int" />
                        <xs:element name="Mode" type="xs:int" />
                </xs:sequence>
        </xs:complexType>
        <xs:simpleType name="M02">                                           //定义M02元素
                <xs:restriction base="xs:boolean">
                        <xs:pattern />
                </xs:restriction>
        </xs:simpleType>
        <xs:simpleType name="Programe_No">                          //定义Programe_No元素
                <xs:restriction base="xs:int">
                        <xs:pattern value="\d{6}" />
                </xs:restriction>
        </xs:simpleType>
        <xs:element name="ProgramAssemble">
                <xs:complexType>
                        <xs:sequence>
                                <xs:element name="Program">
                                        <xs:complexType>
                                                <xs:sequence>
                                                        <xs:element name="No" type="Programe_No" />
                                                        <xs:element name="G01" type="G01" />
                                                        <xs:element name="M02" type="M02" />
                                                </xs:sequence>
                                        </xs:complexType>
                                </xs:element>
                        </xs:sequence>
                </xs:complexType>
        </xs:element>
</xs:schema>
```

图 4　简化的 FST 链表 XML　Schema 模型

4　数控系统的 XML Web 服务开发

4.1　数控系统的 Web 服务体系结构堆栈

经过对数控系统 Web 服务技术的研究和分析,重点研究 3 个关键组成部分:描述堆栈(Description Stack)、发现堆栈(Discovery Stack)和线堆栈(Wire Stack). 描述堆栈处理描述 Web 服务的各种技术,以便促进 B2B 关系中的业务处理模型和工作流程结构的通用性. 发现堆栈处理那些供目录、发现和审查服务使用的技术. 线堆栈由为数控系统 Web 服务运行期引擎提供信息流的技术组成,如图 5 所示[4,10-11].

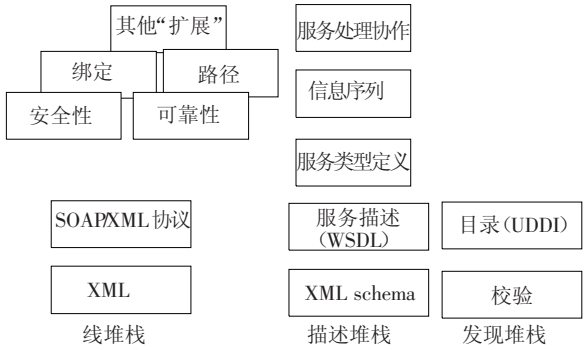

图 5 数控系统 Web 服务体系结构堆栈

4.2 数控系统的 XML Web 服务实例

4.2.1 数控系统应用层 XML Web 服务

PC + 运动控制卡模式是目前开放式数控系统的主要模式. 在这种结构中,由于上层是 PC 机,采用 WindowsNT/2000/XP 操作系统,支持. NET Framework,可以方便地使用 VS. NET2003/2005 环境中的 ASP. NET Web 服务模板来创建数控 XML Web 服务.

使用 ASP. NET 创建的 XML Web 服务符合 SOAP、XML 和 WSDL 等行业标准,它允许其他平台上的客户端与使用 ASP. NET 创建的 XML Web 服务交互操作. 只要客户端可以发送符合标准的 SOAP 消息(根据服务说明进行格式化),该客户端即可调用使用 ASP. NET 创建的 XML Web 服务,而与该客户端所驻留的平台无关.

当使用 ASP. NET 生成 XML Web 服务时,将自动支持 SOAP、HTTP - GET 和 HTTP - POST 客户端通信协议. HTTP - GET 和 HTTP - POST 支持以 URL 编码的“名称/值对”的形式传递消息,这两种协议的数据类型支持不如 SOAP 支持的数据类型丰富. 在基于 Web 服务的数控系统编程模型中选用了 SOAP 方式,从而能使用 XML Schema 定义复杂数据类型. 在部署 ASP. NET 创建数控 XML Web 服务时,必须保证 WindowsNT/2000/XP 操作系统安装有 IIS(The Internet Information Server)模块.

基于 XML Web 服务的数控组件完成后,通过在使用 Web 服务的应用程序(Windows Forms/Web Forms)中添加 Web 引用并创建 XML Web 服务代理类来使用这些数控 Web 服务[3,7-8,10-11].

4.2.2 数控系统设备层 XML Web 服务

不同的运动控制卡厂商的运动控制卡各不相同,它们提供的驱动程序各不相同. 有些以 DLL 文件的形式提供,有些以 Lib 库文件形式提供. 在 VS. NET 中,托管代码能直接调用的是 DLL 文件,Lib 库文件必须经过转换.

泓格的三轴运动控制卡 PISO - PS300 驱动程序提供的是动态链接库文件 MSTEP32DLL,如其三轴直线插补功能 MSTEP3_INTP_XYZ 就是该 DLL 中的一个输出函数. 通过在 VS. NET 的项目中的 P/Invoke 实现引用,完成对输出函数的调用. P/Invoke 函数和属性位于 System. Runtime. InteropServices 命名空间中. 下面的示意性代码说明了如何将 DLL 文件中的输出函数转换成一个 Web 服务:

```
using System. Runtime. InteropServices;
…
[DllImport("MSTEP32. dll")]  //DllImport 指定 DLL 路径,这里指定的是相对路径
extern static int MSTEP3_INTP_LINE01(byte cardNo, byte plane, long x, long y, long z, uint speed);
…
[WebMethod]
public int WebServices_G01(byte cardNo, byte plane, long x, long y, long z, uint speed)
{
  MSTEP3_INTP_LINE01(cardNo, plane, x, y, z, speed);
}
```

C#中的数据类型和 VC 中的数据类型在表达上有区别,因此,必须保证 C#写的 MSTEP3_INTP_XYZ 引用和 VC 提供的 MSTEP3_INTP_XYZ 实现中数据类型相对应,且参数的顺序保持一致. VC++中的 unsigned char 是 8 位的无符号整数,而 C#中与其对应的数据类型是 byte,数据类型 unsigned char 在 C#中不存在[3,7-8,10-11].

5 系统试验原型

Web 服务的数控系统建立的基础是 HTTP、XML、SOAP、MSDL 和 UDDI 等全球通用的新一代分布式网络技术,因此能支持互联网上异构系统的跨平台、跨地域无缝集成[3]. 这种集成不仅包括数据集成,更包括服务集成. 后者指运行于分布系统上的进程之间的服务(可理解为方法或函数)的相互调用,即互操作性. 服务集成是比数据集成更高级的集成,它具有更高的自动化程度和动态实时性. 例如,为了实现车间的实时闭环调度,调度系统就要随时轮询各台机床的加工统计数据. 这时,车间调度系统就成了客户,而机床控制系统必须提供加工统计服务;更重要的是这种服务不是以静态数据的形式提供,而是以客户端调用 Web 服务(即运行时函数)的形式提供的,因

此能支持进程间自动化的实时动态集成. 这个特点对于解决制造业信息化中设备级的信息集成具有十分重要的意义. 针对以上 Web 服务数控系统模型研究成果，以研究所实验车间为背景，在国家科技攻关项目“圆柱齿轮（轴）准柔性生产线示范工程”的基础上，设计了把数控系统应用到人机协同控制车间原型系统的框架，如图 6[2,9,12].

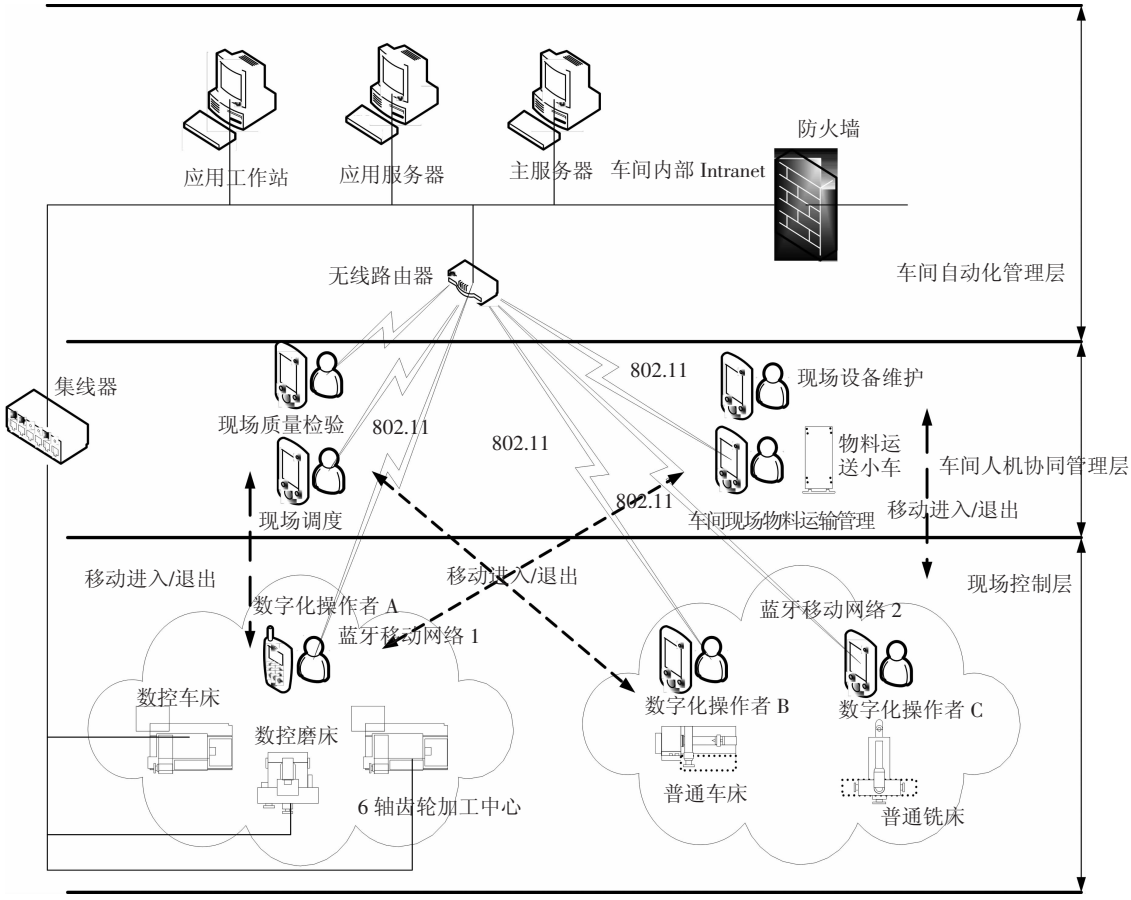

图 6　基于 Web 服务数控系统的车间协同控制原型系统网络结构

1）现场控制层. 以零件类为基础按照成组技术，将 FMS 实验室所存在设备分类为两个加工单元：齿轮类零件加工单元和轴类零件加工单元. 齿轮类零件加工单元主要由一个加工单元（包括一台数控车床、一台数控磨床、6 轴数控滚齿插齿加工中心）组成，且每个数控设备均改用基于 Windows CE. NET 的 Web 服务数控系统. 轴类零件加工单元由一台普通车床及一台普通铣床组成.

在现场控制层中，存在 3 个数字化操作者，其中齿轮柔性加工单元的数字化操作者 A 由智能手机（多普达 575 智能手机）与操作者组成，普通车床及普通铣床的数字化操作者 B、C 均由 DELL Axim X50v 型 PDA 与普通操作者组成.

现场控制层网络结构是混合网络结构，其中齿轮柔性加工单元中 3 种数控设备不仅能通过有线网络和车间自动化管理层连接，而且与数字化操作者 A 能形成蓝牙移动自主网络 1（Ad - Hoc）；数字化操作者 B、C 均处于同一工段中，他们之间可以形成蓝牙移动自主网络 2（Ad - Hoc）同时，各个数字化操作者可以通过 802. 11 与自动化管理层连接.

2）人机协同管理层. 在本原型系统中，人机协同管理层主要由一名现场调度员、车间现场物料运输管理员、车间现场质量检验及车间现场设备维护（DELL Axim X50v 型 PDA 与普通管理人员）组成. 他们不仅可以通过 802. 11 与车间自动化管理层连接，而且可以动态加入与退出各个加工单元的蓝牙移动自主网络 1 和 2.

3）车间自动化管理层主要由主服务器、应用服务器、应用工作站和车间固定网络组成，并且通过无线（802. 11）路由器与各类数字化操作者与管理员连接. 主服务器以 Windows 2000 Server 为平台，装有 IIS 和 MTS，提供 Web 服务和事务服务，同时装有 SQL Server 2000，作为车间数据库平台；应用服务器和应用工作站采用 Windows 2000

Professional 和 Windows XP 系统.

6 结 论

1)数控系统 Web 编程模型是为如何编写数控功能代码,并生成 Web 服务供系统调用或者返回给最终数控系统用户的方法. 它包括两部分,一个是如何编写 Web 应用程序的规范,另一个则是实现这一规范的 Web 编程框架.

2)构建了基于 Web 服务的数控系统的软硬件体系,硬件架构包括:服务请求层、广义服务提供层和服务监控层. 整个软件架构有系统层软件、设备层软件和应用层软件 3 个层次.

3)解决了基于 XML 的数据和服务共享问题,定义了一个基于 XML Schema 的 数控系统的数据模型,使其可以支持异构系统的无缝集成.

4)通过数控系统 Web 服务实例和试验系统原型,实现了比数据集成具有更高的自动化程度和动态实时性的服务集成,解决了数控系统的互操作性,支持互联网上异构系统的跨平台、跨地域无缝集成.

参考文献:

[1] CHENG Kai, BATEMAN R J. Bateman. E-Manufacturing: Characteristics, applications and potentials [J]. Progress In natural Science, 2008, 18 (11): 1323 - 1328.

[2] 王治森,董伯麟,高荣,等. 车间数字化制造模式和 Web 服务移动控制数控系统研究[J]. 数字制造科学,2006,4(3):1 - 30.

[3] ZHAO LI-zhong, WANG YAN-bin, GAO GUO-an. A model for mold collaborative manufacturing execution system based on Web Service[J]. High Technology Letters,2006,12(4):372 - 378.

[4] ZHANG Wei, WANG Tai-yong. Virtual system solution of CNC machine for spiral bevel and hypoid gears[J]. Transactions of Tianjin University,2006,12(5):373 - 377.

[5]易红,倪中华. 适用于网络化制造模式的数控系统的研究[J]. 东南大学学报:自然科学版,2002,32(3):387 - 391.

[6] SHIN J, CHO H. Rapid development of a distributed shop floor control system from an XML model - based control software specification[J]. International Journal of Production Research, 2006,44(1):2 - 15.

[7] 章建科. 基于 Windows CE. NET 的新型数控系统编程模型和 Bluetooth 通信技术的研究 [D]. 合肥:合肥工业大学, 2006:30 - 50.

[8] DENG Hong, CHEN Li. Multilevel manufacturing system of virtual enterprise based on manufacturing grid and strategies for member enterprise selection and task assignment [J]. Journal of Shanghai University: English Edition,2008,12(4):330 - 338.

[9] ZHANG Kaisheng, SUN Yanming, ZHENG Shixiong. Interaction of units and research methods of control performances of distributed manufacturing information system[J]. J of Donghua University: English Edition, 2008,25(2):175 - 182.

[10] XU Donghong, QI Yong. MAS-based dynamic web service composition formal model[J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2008, 24 (3): 289 - 292.

[11]SHIN B C, KIM G H. A Web-based machining process monitoring system for E-manufacturing implementation [J]. Journal of Zhejiang University Science, 2006, 7 (9):1467 - 1473.

[12]高荣. 支持人机协同制造的 WS - mCNC 关键技术研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2007:40 - 60.

(编辑 杨 波)