

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.05.005

引用格式:王万玉,陶孙杰,冯旭祥,等.遥感卫星接收系统故障诊断专家系统设计[J].电讯技术,2015,55(5):491-496.[WANG Wanyu,TAO Sunjie,FENG Xuxiang,et al.Design of Fault Diagnosis Expert System for Remote Sensing Satellite Receiving System[J].Telecommunication Engineering,2015,55(5):491-496.]

遥感卫星接收系统故障诊断专家系统设计*

王万玉^{1,**},陶孙杰²,冯旭祥¹,马彬彬²

(1.中国科学院 遥感与数字地球研究所,北京 100094;2.中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:针对遥感卫星接收系统故障诊断智能化、自动化的技术需求,分析了遥感卫星接收系统的故障特征,给出了故障诊断专家系统的架构。通过对系统设备监测信息及任务流程的分析、故障树的建立与分析,利用产生式的知识表示方式,建立了故障诊断专家系统的知识库;采用启发式的正向推理模式,实现故障的定位。该故障诊断专家系统已用于实际工程项目,提高了遥感卫星接收系统故障诊断的效率。

关键词:遥感卫星;接收系统;故障诊断;专家系统;知识库

中图分类号:TN80;TP182 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2015)05-0491-06

Design of Fault Diagnosis Expert System for Remote Sensing Satellite Receiving System

WANG Wanyu¹,TAO Sunjie²,FENG Xuxiang¹,MA Binbin²

(1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;
2. Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: According to technical requirements of intelligence and automation for fault diagnosis of remote sensing satellite receiving system, fault characteristics of system is analyzed and the architecture of fault diagnosis expert system is presented. Through analysis of the system equipment monitoring information and task flow, the establishment and analysis of the fault tree, using production rule for knowledge representation, the knowledge base of fault diagnosis expert system is established and fault location is realized by heuristic model of forward reasoning. The fault diagnosis expert system is used in actual engineering projects and has improved the fault diagnosis efficiency of remote sensing satellite receiving system.

Key words: remote sensing satellite; receiving system; fault diagnosis; expert system; knowledge base

1 引言

遥感卫星接收系统复杂,设备功能越来越强大,种类越来越多,运行的自动化程度越来越高,且系统中设备之间紧密耦合,一处故障可能导致系统不能正常工作,影响卫星数据的接收,造成宝贵的卫星数据资源的丢失。另一方面,卫星数据接收站实现无人值守运行可降低运行成本,是一种发展趋势。这些均对接收系统的故障发现、故障诊断和故障处

理能力提出了更高的要求。

随着智能故障诊断技术的发展,其应用领域越来越广泛^[1],但在针对遥感卫星接收系统的故障诊断技术的应用研究相对较少。目前,遥感卫星接收系统大多仍采用人工方式进行系统故障诊断,该方式对故障诊断人员技术要求高且效率低,已不能适应新的技术发展需求^[2]。因此,采用先进的智能故障诊断技术,提高遥感卫星接收系统本地和远

* 收稿日期:2015-01-06;修回日期:2015-04-27 Received date:2015-01-06;Revised date:2015-04-27

** 通讯作者:wywang@ceode.ac.cn Corresponding author:wywang@ceode.ac.cn

程的故障诊断能力,已成为遥感卫星地面接收系统的重要发展趋势,具有重要的研究价值和现实意义。

本文在对已有故障诊断技术进行分析总结的基础上,依据遥感卫星接收系统的故障特征,给出了故障诊断专家系统的架构,并结合实际工程项目完成了遥感卫星接收系统故障诊断专家系统的设计和实现。设计时将系统的故障诊断分解为故障检测、故障识别和定位、故障处理决策三部分,用故障树模型表述较为复杂的专家知识,并且关联其他类型的专家知识,完成了故障诊断系统的知识组成和架构,采用启发式的正向推理模式及 RETE 模式匹配算法,实现故障的定位。

2 遥感卫星接收系统故障特征分析

遥感卫星接收系统是一类复杂系统,主要由天伺馈系统、跟踪接收系统、测试系统、记录系统和站监控管理系统组成^[3]。系统中包含有天线、座架等机械设备,还包含大量各类电子设备,如变频器、解调器、调制器、误码仪、功率计和频谱仪等设备。站监控管理系统监测和控制系统的各设备,各设备在站监控管理系统的控制下完成对遥感卫星数据的跟踪接收任务。一个典型的遥感卫星接收系统如图 1 所示。

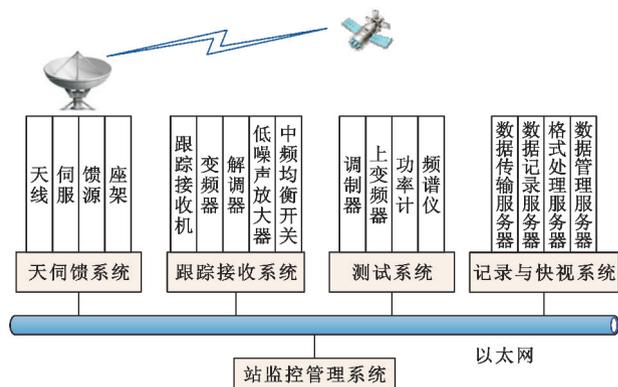


图 1 遥感卫星接收系统组成图

Fig. 1 Composition diagram of remote sensing satellite receiving system

总体来说,遥感卫星接收系统具有以下故障特性:

(1) 系统组成复杂,结构层次多。与此相对应,系统故障点多、故障类型多、故障状态多、故障因素多,因果关系复杂,快速、高效、准确、可信诊断故障难度高,故障排查、处理决策难度高;

(2) 系统涉及专业领域广,知识构成复杂,知识表述及规则制定等难度大;

(3) 系统处于数据接收的工作状态与等待数据

接收状态的交替运行模式,系统不是处于稳定、连续的运行状态之中,故障突发性概率高;

(4) 系统工作受卫星、空间链路、工作环境等外部因素影响大,出现问题时区分内、外部因素难度大;

(5) 故障位置、类型对系统工作的影响程度差别大,故障影响级别的分类、处理决策难度大。

3 故障诊断系统设计

从以上故障特点可知:遥感卫星接收系统的故障即有层次性,而更多的是其形态的多样性和不确定性。为此,将系统的故障诊断分解为故障检测、故障识别和定位、故障处理决策三部分。

故障检测功能利用站监控管理系统和测试系统来实现,其主要任务是完成各类信息的采集、记录,包括故障信息、设备状态、任务执行信息、测试结果信息等。

故障识别和定位是根据故障检测结果及知识库信息,经分析、推理确定故障类型(如设备硬件故障、软件故障、设备参数设置错、设备需要标校等)和发生故障的设备。

故障处理决策是在故障识别和定位的基础上对故障进行解释和评估,并提供处理决策。

3.1 系统组成

故障诊断系统包括故障诊断服务器和故障诊断软件包。

(1) 故障诊断服务器

根据站监控管理系统采集的故障信息、设备状态信息、任务执行信息等,依据故障情况利用测试系统进行相关测试,对异常状态、故障进行分析诊断。

(2) 故障分析诊断软件

故障分析诊断软件主要由任务控制模块、数据库管理模块、分析诊断模块等组成。任务控制模块负责诊断任务的调度和控制,根据诊断请求启动任务、从数据库读取相关数据、调用相关诊断流程和程序、输出诊断结果等。分析诊断模块是故障分析诊断的核心,主要任务是利用知识库,实现各种具体的分析诊断算法,完成故障的分析诊断、定位。数据库管理模块主要完成数据库的维护和管理以及新信息、新知识的添加等。

3.2 体系架构

故障诊断专家系统主要包括知识库、综合数据库、推理机、解释机、知识获取及人机接口六部分,其架构如图 2 所示。

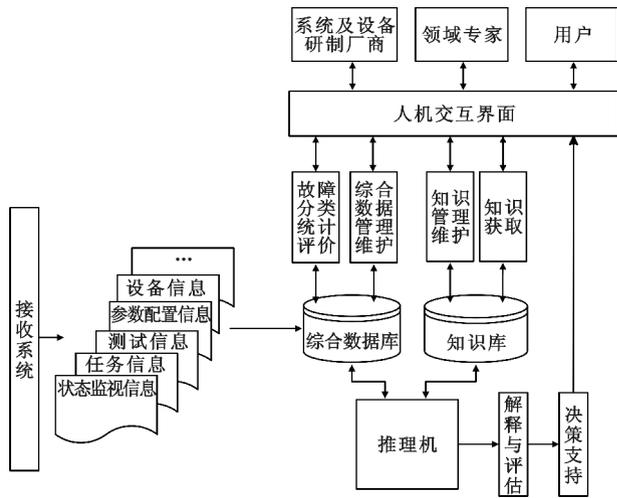


图 2 故障诊断系统架构
Fig. 2 Architecture of fault diagnosis system

知识库包含领域中的大量事实和规则,是领域知识和相关常识性知识的集合;这些知识可以用一种或多种知识表示方法来表示,知识表示方法决定了知识库的组织结构,并直接影响整个专家系统的工作效率。

综合数据库存储所有原始特征数据的信息、推理过程中得到的中间信息和解决问题后输出的结果

信息等。

推理机是专家系统的组织控制机构,它根据输入信息,运用知识库中的知识,按一定的策略进行推理,完成故障诊断。

解释机能解释推理过程,并能够询问需要的补充特征信息;此外,还可以解释推理得到的确定性结论,并对诊断结论做评估。

知识获取是专家系统和领域专家及知识工程师的接口,通过它与领域专家和知识工程师交互,使知识库不仅可以获得知识,而且可使知识库中的知识不断更新,从而使专家系统的性能得到不断改善。

人机接口是专家系统和用户之间进行信息交互的媒介,它可以以文字、图形、表格等多种方式与用户交互。

3.3 工作流程

系统工作流程主要包括基于设备故障监测点状态的设备故障诊断流程和任务失效的故障诊断流程。

如图 3 所示,基于监测点状态的设备故障诊断流程主要用于检测到接收系统设备故障监测点状态异常时的故障诊断,根据各设备的故障模型,并结合各种闭环检测结果进行故障分析及诊断,确定故障设备。

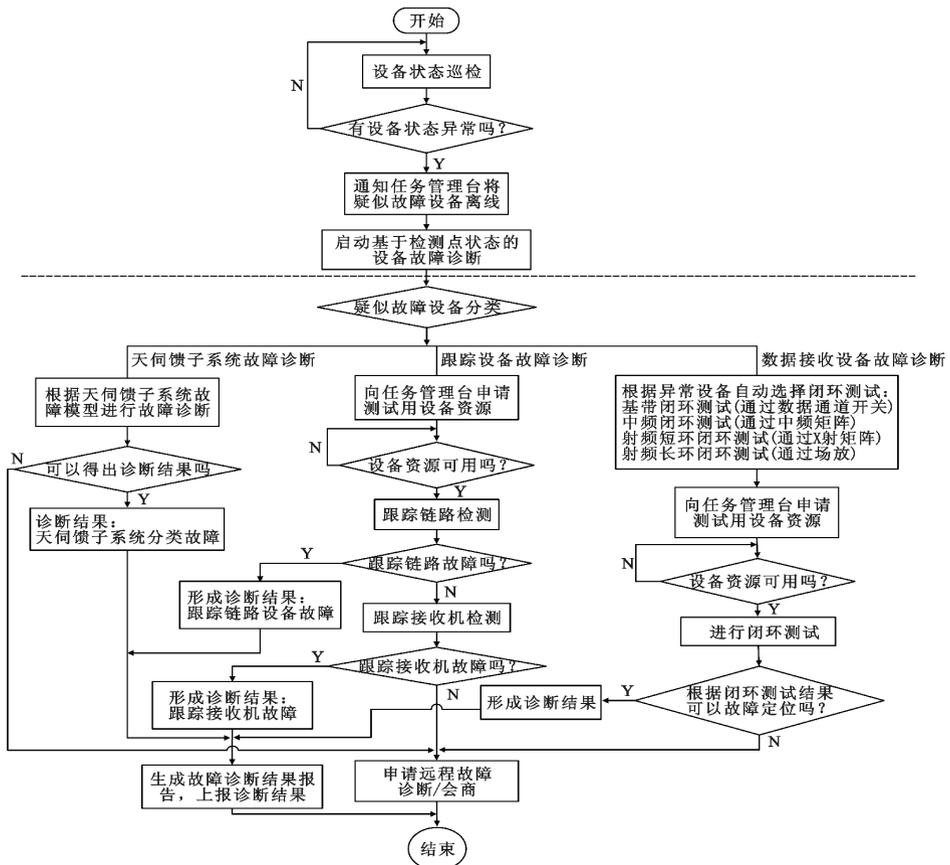


图 3 基于监测点状态的设备故障诊断流程
Fig. 3 Flowchart of device fault diagnosis based on monitoring point status

如图 4 所示,任务失效故障诊断流程主要用于分系统任务失效时,根据各类记录的信息,并结合相应的测试手段进行故障分析及诊断,确定故障设备。

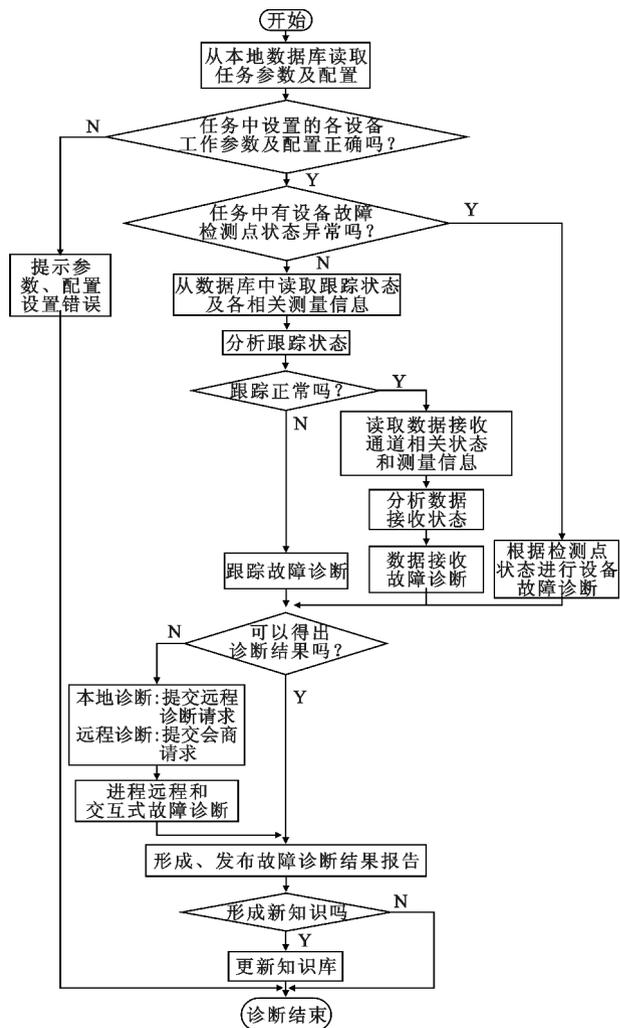


图 4 任务失效故障诊断流程

Fig. 4 Flowchart of fault diagnosis on task failure

3.4 知识库设计

知识库设计是专家系统的关键环节,包括问题知识化、知识概念化、概念形式化、形式规则化和规则合法化^[4]。本系统故障诊断的知识库由知识主表、业务知识主表、业务知识从表的结构组成。知识库存储在数据库中,通过层级结构,对专家知识进行存储和管理。设计时用故障树模型表述较为复杂的专家知识,并且关联其他类型的专家知识,完成故障诊断系统的知识组成和架构,形成和真实人工诊断基本一致的知识存储方式。

规则的表达有产生式、框架、语义网络、神经网络等表示形式^[5],也可以简单地理解为一组条件和

满足此条件下的操作^[6]。本系统用产生式规则来存储领域专家的故障诊断知识。产生式规则的通用表达方式如下:

IF A, THEN B

其中,A 为规则前件,表示触发该规则需要满足的先决条件;B 为规则后件,表示触发规则后可以得出的结论或者应该执行的操作;A 包含一个或多个前件元素(又称为“模式”),B 也包含一个或多个后件元素,当 A 中的所有前件元素能在全局数据库中得到匹配时,称为模式匹配成功,该规则可以触发,推出规则后件元素。规则主要有如下属性:

- 规则名称:
- 规则代号:
- 规则描述:
- 规则前件元素列表:
- 规则后件元素列表:
- 后件元素关系:
- 参数:
-

规则名称:规则的中文 ID,方便用户和开发人员理解规则的意义;

规则代号:规则的英文 ID,唯一,不可重复,在知识库中规则的唯一标识;

规则描述:规则所实现功能的详细说明;

规则前件元素列表:需要哪些事实得到匹配,才会触发该规则,是事实代号的集合;

规则后件元素列表:规则触发后可以推出哪些结论;

后件元素关系:标准关系有与或非,当然用户也可以自定义关系;

参数:后件元素关系可能会包含某个参数。

3.5 推理机设计

推理机设计采用启发式的正向推理模式,即从已知事实出发,通过运用相关的知识逐步推出目标结论的过程。

诊断推理模块根据征兆信息借助 Drools 规则引擎,模式匹配算法采用业界使用最为广泛的 RETE 算法。RETE 匹配算法是推理中经典的模式匹配算法,在工作时会形成一个 RETE 网络,RETE 算法一般利用产生式规则系统的时间冗余性和结构冗余性来提高推理效率^[7]。

推理机流程如图 5 所示。首先将已知事实放到全局数据库工作区,推理机检测到全局数据库工作区的事实有改变,则进行 RETE 模式匹配。如果没有规则匹配上,则不进行任何操作,等待新事实的到来;如果有规则匹配上,则执行这些规则。将已执行的规则加入队列,以方便推理机解释,再将推出的新事实加入全局数据库工作区,进行下一次匹配。

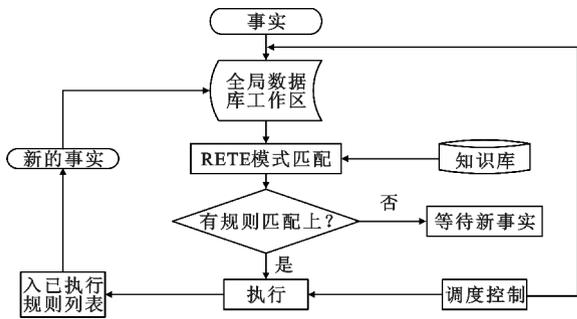


图 5 推理机流程

Fig. 5 Flow diagram of inference engine

当有几条规则同时匹配上的时候,调度控制程序应该决定规则执行的顺序,控制策略一般有随机策略、优先级策略、前件匹配特殊者优先策略等。如果推理陷入死循环或者其他异常的状态,调度控制程序也需及时发现并且跳出异常状态。

3.6 解释机制

故障诊断系统诊断结束后,需要对诊断结论的得出过程及相关支持数据给出详细描述,以达到诊断结论的客观、可信的目的。

本系统设计中,采用路径跟踪法的解释机制。路径跟踪法就是在推理过程中记录下正确的推理路径,当推理结束后,回溯该推理路径,形成从故障原因到故障现象的详细推理路径。

3.7 软件设计

如图 6 所示,故障诊断软件采用三层 C/S/S 体系结构,由故障诊断服务端部件、故障诊断客户端部件和数据库应用服务部件构成。其中,故障诊断客户端部件可多重部署,主要负责人机会话,执行用户命令和操作,提供用户关注信息和数据显示;故障诊断服务端部件部署在故障诊断服务器上完成业务处理和数据处理,负责故障的实时诊断、专家系统引擎知识库的管理,故障诊断任务的管理等功能;数据库应用服务部件提供数据库数据访问服务,简化故障诊断软件访问数据库操作,保障数据安全,为故障诊

断软件运行提供数据支持。

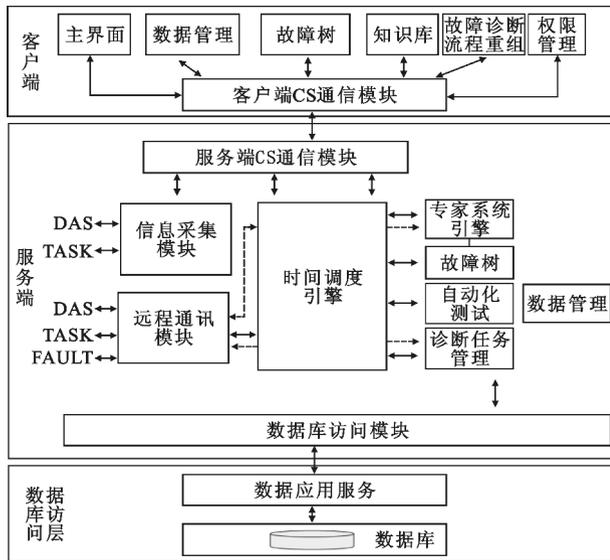


图 6 故障诊断软件体系结构

Fig. 6 Architecture of fault diagnosis software

正常运行时,故障诊断客户进程连接在故障诊断服务主进程上,故障诊断服务进程同时连接在两个数据库应用进程,由故障诊断客户进程、故障诊断服务主进程、数据库应用进程、数据库进程等共同组成一个完整的运行体系,实现故障诊断软件完整的功能。

4 结束语

遥感卫星接收系统故障诊断专家系统将系统的故障诊断分解为故障检测、故障识别和定位、故障处理决策三部分,建立了故障诊断专家系统的架构、故障诊断专家系统的知识库,采用启发式的正向推理模式实现了故障的定位。该故障诊断专家系统已应用于实际工程项目,测试及实际使用结果表明,该系统提高了遥感卫星接收系统故障诊断的效率,具有较高的实用价值。

遥感卫星接收系统组成复杂,结构层次多,系统故障点多、故障类型多、故障状态多、故障因素多,因果关系复杂。因此,如何将故障诊断方法尤其是智能故障诊断技术应用到遥感卫星接收系统中还需做更深入研究。

参考文献:

[1] 陈玉东,施颂椒,翁正新. 动态系统的故障诊断方法综述[J]. 化工自动化及仪表,2001,28(3): 1-14.
CHEN Yudong, SHI Songjiao, WENG Zhengxin. A Survey

- of Fault Diagnosis Methods for Dynamic System[J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2001, 28(3): 1-14. (in Chinese)
- [2] 冯旭祥, 王万玉, 张宝全. 遥感卫星接收系统的故障诊断技术综述[C]//中国空间科学学会空间探测专业委员会第 26 次学术会议论文集. 三亚: 中国空间科学学会, 2013: 195-201.
FENG Xuxiang, WANG Wanyu, ZHANG Baoquan. Survey of Fault Diagnosis Technology for Remote Sensing Satellite Receiving System[C] //Proceedings of the 26th Academic Conference of Chinese Society of Space Science Space Exploration Professional Committee. Sanya: Chinese Society of Space Research, 2013: 195-201. (in Chinese)
- [3] 王万玉, 张宝全. 频率复用高码速率遥感卫星数据接收系统设计[J]. 电讯技术, 2012, 52(4): 423-428.
WANG Wanyu, ZHANG Baoquan. Design of Data Receiving System for Frequency Reuse High Data Rate Remote Sensing Satellite[J]. Telecommunication Engineering, 2012, 54(4): 423-428. (in Chinese)
- [4] 张志杰. 测控设备故障诊断专家系统的设计和实现[J]. 舰船电子工程, 2012(6): 95-97.
ZHANG Zhijie. Design and Implementation of Expert System for Measurement and Control Equipment Fault Diagnosis[J]. Ship Electronic Engineering, 2012(6): 95-97. (in Chinese)
- [5] 王帆. 基于故障树的空间有效载荷故障诊断系统研究[D]. 北京: 中国科学院空间科学与应用研究中心, 2007: 21-23.
WANG Fan. Research on Space Payload Fault Diagnosis System Based on Fault Tree [D]. Beijing: Center for Space Science and Applied Research, 2007: 21-23. (in Chinese)
- [6] 戎月莉. 计算机模糊控制原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.

RONG Yueli. Computer Fuzzy Control Principle and Application [M]. Beijing: Beihang University Press, 1995. (in Chinese)

- [7] 汪靖玢, 王瑞. Rete 算法的应用研究[J]. 微型机与应用, 2013, 32(6): 98-100.

WANG Jingfen, WANG Rui. The Application Research of Rete Algorithm [J]. Microcomputer & its Application, 2013, 32(6): 98-100. (in Chinese)

作者简介:



王万玉(1962—),男,安徽人,1990 年获硕士学位,现为研究员、硕士生导师,主要研究方向为信号与信息处理;

WANG Wanyu was born in Anhui Province, in 1962. He received the M. S. degree in 1990. He is now a senior engineer of professor and also the instructor of graduate students. His

research direction is signal and information processing.

Email: wywang@ceode. ac. cn

陶孙杰(1977—),男,江西人,2002 年获硕士学位,现为高级工程师,主要研究方向为计算机软件工程;

TAO Sunjie was born in Jiangxi Province, in 1977. He received the M. S. degree in 2002. He is now a senior engineer. His research direction is computer software engineering.

冯旭祥(1984—),男,湖南人,2009 年获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为信号与信息处理;

FENG Xuxiang was born in Hunan Province, in 1984. He received the M. S. degree in 2009. He is now an engineer. His research direction is signal and information processing.

马彬彬(1979—),男,江苏人,2005 年获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为计算机软件工程。

MA Binbin was born in Jiangsu Province, in 1979. He received the M. S. degree in 2005. He is now an engineer. His research direction is computer software engineering.