

基于 SIP 协议的嵌入式 VoIP 语音终端实现和协议分析

林 旺 田洪现

(北京交通大学电子信息工程学院 北京 100044)

摘 要 实现了一款嵌入式语音通信终端。该终端硬件系统采用飞凌嵌入式开发板 OK6410,其核心板采用以 ARM11 为内核的处理器 S3C6410。该终端软件部分基于嵌入式 WINCE 操作系统,实现了基于 SIP 协议的 LINPHONE 代码的移植和分析。首先,分析了所涉及语音通信终端的硬件和软件架构;其次,重点对 LINPHONE 的工作流程和 SIP 协议进行了分析;最后,通过测试表明该终端系统具有良好的语音通信质量。

关键词 VoIP, WINCE, LINPHONE, SIP, ARM11 平台, Asterisk

中图法分类号 TP399 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.6.018

Implementation and Protocol Analysis of Embedded VoIP Voice Terminal Based on SIP

LIN Wang TIAN Hong-xian

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract An embedded voice terminal system was achieved. The hardware of the terminal system uses a Feiling embedded development board OK6410. Its core board employs S3C6410 processor which takes ARM11 as the kernel. The software of the terminal system uses embedded WINCE operating system and achieves the transplant of LINPHONE code based on SIP protocol. This paper analyzed the architecture of the entire VOIP voice system including hardware and software. Then, we focused on the analysis of LINPHONE work process and SIP protocols. Finally, the test shows that this system has good voice communication quality.

Keywords VoIP, WINCE, LINPHONE, SIP, ARM11 platform, Asterisk

1 引言

VoIP(Voice over Internet Protocol, IP 电话)^[1]是一种将模拟语音数据数字化并封装成数据包,然后利用 IP 网络进行语音实时传输的一种技术,其基本原理如图 1 所示。通过对一系列模拟信号进行数据的采样、编码、压缩、打包,将模拟语音信号变成 IP 报文的形式在网络中传输和交换,最后再通过一系列相反的操作,将 IP 报文还原为模拟语音信号^[2]。

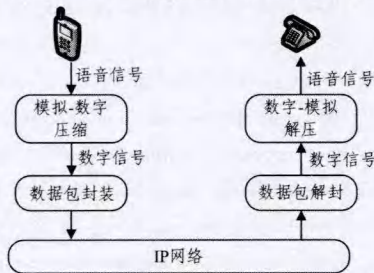


图 1 VoIP 数据处理流程

本文所涉及的语音通信终端系统采用 SIP(Session Initiation Protocol)协议,即初始会话协议。SIP 是应用层控制协议^[3],相比于 H. 323 等协议而言,结构小巧、灵活,具有良好的扩展性、可移植性。该系统硬件采用以 ARM11 为内核的处理器 S3C6410,软件采用开源的 Linphone 代码,并将其移

植到 WINCE 操作系统上。

2 VoIP 语音终端系统硬件结构

图 2 所示为该语音系统硬件平台所采用的飞凌嵌入式 OK6410 开发板,其设计采用“核心板+底板”的结构,二者之间通过 4 组共计 320 个引脚的高质量连接器连接,从而为二次开发提供了良好的扩展接口。

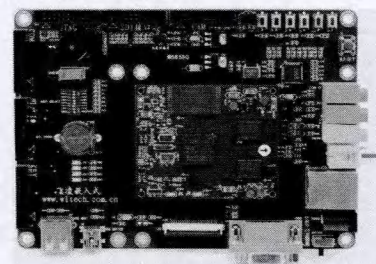


图 2 VoIP 语音终端系统硬件平台

S3C6410 作为 OK6410 开发板的处理芯片,是三星公司生产的一款低功耗、高性价比的 RISC 处理器,其内核采用 ARM1176JZF-S。相比于 ARM7、ARM9 等,ARM11 是一种“准 64 位”处理器,即部分地实现了 64 位微架构,其内部集成了强大的硬件加速器:音频处理、视频处理、2D 加速、显示处理等,可稳定运行在 533MHz/667MHz。

到稿日期:2015-06-01 返修日期:2015-07-26

林 旺(1990-),男,硕士,主要研究方向为无线通信、嵌入式系统, E-mail: w_lin1025@163.com; 田洪现(1973-),男,讲师,主要研究方向为无线自组织网络、宽带无线通信。

图3所示为本文中VoIP语音系统相关的接口,主要包括:1个基于SDIO接口的符合802.11g无线网络标准的网络模块,用于语音数据的传输;1个音频I/O接口,其音频处理芯片采用WM9713;1个标准串口,用于开发板和上位机之间的交互;1个USB下载口,用于烧写系统的镜像文件,如内核等,以及1个1G字节的NAND FLASH。

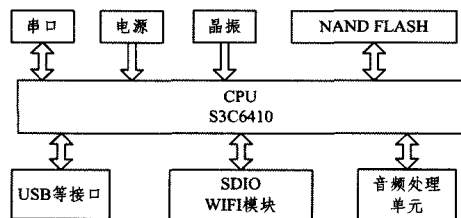


图3 VoIP语音终端系统相关接口

3 VoIP语音终端系统软件结构

本文中的VoIP语音终端系统的软件开发是基于开源Linphone代码,将其移植到WINCE操作系统,从而实现语音通信。

Linphone是一款基于SIP协议的跨平台可视电话客户端系统,开源的软件结构特性使其可以用于多种主流操作平台,如Windows, Linux, WINCE等。在主流的嵌入式操作系统中,主要有图形架构的WINCE操作系统和命令行形式的Linux操作系统,而与此对应的是Linphone软件,也有两种操作模式:与WINCE操作系统对应的图形界面模式和与Linux对应的命令行模式。本文采用的是WINCE操作系统和Linphone的图形界面模式。

Linphone的开源架构如图4所示,其SIP协议的处理是基于oSIP以及eXosip两个开源库来实现的,媒体数据的整合处理使用Mediastream2完成,并通过oRTP完成基于RTP协议的音视频数据传输^[4]。

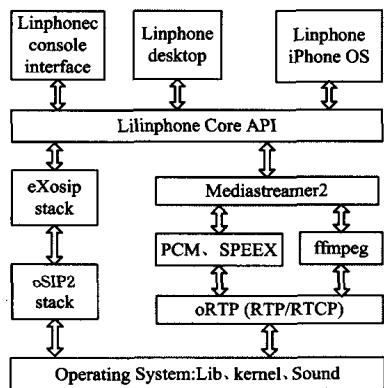


图4 Linphone架构及组件

oSIP2协议栈作为SIP协议的一个重要组成部分,隶属于GNU的一个开源项目,完全使用标准C语言实现,但是其并不是一个完整的SIP协议栈,其主要功能是进行SIP协议解析和事务管理。oSIP2的优点和缺点都很明显,优点是效率值较高并且注重SIP底层功能解析;缺点是实用性较差,没有很好的API接口。

eXosip针对oSIP2可用性差且没有很好地封装API等缺点,部分封装了oSIP2协议,并为应用层提供了良好的API接口。为了使应用层更好地调用其功能以及增加实用性,eXosip在oSIP2的基础上增加了registration、call、subscription、dialog等解析过程。为了确保对资源的合理利用,eXosip增

加了对各种transaction的超时处理,二者共同完成路由、媒体协商以及会话的建立和管理,为直接的媒体流传输提供基础。

4 Linphone架构及工作流程

由于Linphone的程序量较大,实现流程比较复杂,本文将重点论述其核心工作流程。

图5所示为主函数工作流程。鉴于搭载本程序的操作平台是WINCE系统,所有的程序均是从WINCE函数开始,依次是初始化、注册、呼叫或效应、挂断、结束,在进行Linphone初始化过程中,先对记录下来的数据进行配置,然后启动socket网络监听线程以便获取相应的数据进行处理。

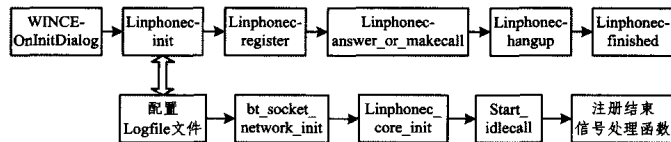


图5 Linphone-main()流程

在图5中,单箭头表示程序模块依次执行,双向粗箭头表示程序模块被调用,阅读程序流程图的方式是从上到下、从左到右。

5 oSIP协议栈分析

随着VoIP技术的迅猛发展,SIP协议作为下一代互联网(NGN)的重要组成部分越来越受到人们的关注,并且正在逐渐取代H.323协议成为VoIP的信令核心协议。如图6所示,SIP独立于传输层,是应用层信令控制协议,其作用是随时发起、修改、结束一个或者多个多媒体会话^[5]。

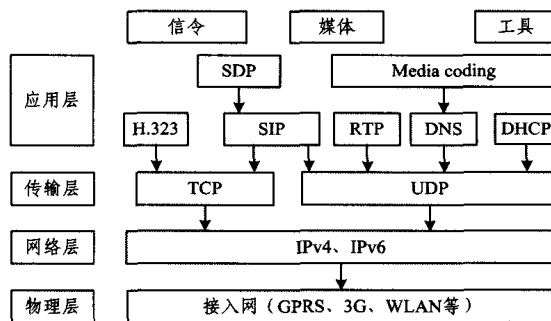


图6 SIP在网络结构中的位置

oPenh323在H.323开源协议栈中占据主导地位,SIP相对于H.323更加灵活、简单,所以在SIP开源协议栈中涌现出许多具有代表性的协议,如OPAL, VOVAL, sipX, oSIP等,本文将把oSIP协议栈作为研究对象。

如图7所示,按照功能可以将oSIP协议栈划分为3部分:状态机模块、解析器模块、工具模块。

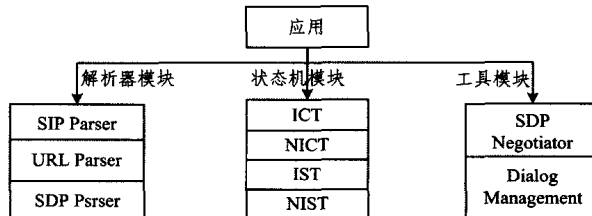


图7 oSIP协议栈结构图

5.1 解析器模块

oSIP解析器模块主要完成RFC3261和RFC3265所定义的SIP语法解析工作,如SIP消息的结构解析、SDP消息的结构解析、URI的结构解析,包括:Via, Call-ID, To, From, Contact, INVITE, OPTIONS, BUY等。

5.2 状态机模块

oSIP 的状态机模块围绕着事务 (Transaction) 展开, 请求和应答构成了事务的基本属性。请求包括 Invite 和 Non-Invite 两种机制, 应答由响应和确认两种应答机制构成, 一个事务包括一个请求、至少一个响应和一个确认应答。根据不同的事务类型, 将 oSIP 状态机分为 4 种: 客户端邀请事务 ICT (Invite Client Transaction)、客户端非邀请事务 NICT (Non-Invite Client Transaction)、服务端邀请事务 IST (Invite Server Transaction)、服务端非邀请事务 NIST (Non-Invite Server Transaction), 这 4 种状态机囊括了 SIP 所有的事务类型。下面以 SIP 客户端中最常见、最典型的客户端邀请事务 (ICT) 为例进行说明。

如图 8 所示, 客户端邀请事务 (ICT) 共有 5 个状态^[6]。

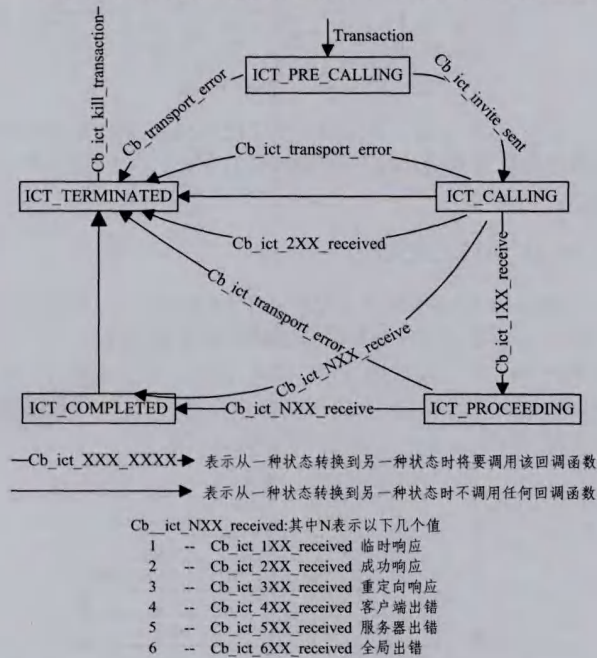


图 8 ICT 状态机

ICT_PRECALLING: 呼叫前状态, 此时系统处于准备状态, 当发送 Invite 请求消息时, 系统跳转到 ICT_CALLING。

ICT_CALLING: 呼叫状态, 当系统已经成功发送 Invite 请求消息, 并且还没有收到任何回应时, 系统处于此状态。

ICT_PROCEEDING: 当系统发送 Invite 请求消息并接收到了对方的 100 Trying 时, 则系统会跳转到此状态。

ICT_COMPLETED: 当系统接收到 Cb_ict_3456XXX_received 时, 系统会跳转到此状态, 同时发送 ACK 返回给对方。

ICT_TERMINATED: 当系统处于此状态时, 表示完成了一个 Invite 呼叫过程, 这是整个状态链的最后一个环节。

其它的 3 种状态机与 ICT 类似。从这 4 种状态机可以得出结论: 就 SIP 的整个通信架构而言, Transaction 是最基本的通信单元, 在利用 oSIP 协议栈实现 SIP 的过程中, 对这 4 种状态机的维护和管理是重中之重。

5.3 工具模块

工具模块包括 SDP Negotiator 和 Dialogue Management, 主要提供一些 SDP、对话等处理功能。

6 VoIP 语音系统构建

SIP 协议模型定义了用户代理 (即 UA) 和服务器等两类主要实体^[7]。图 9 示出了 VoIP 系统采用 C/S 架构, 简单来

说, 一个 VoIP 系统只需要客户端、服务器两部分构成, 客户端作为 SIP 的用户代理 (UA), 根据会话中所担任的不同功能将其分为用户代理服务端 (UAS) 和用户代理客户端 (UAC)。根据服务器在逻辑功能上的不同, 分为 3 类: 1) SIP 代理服务器 (Proxy Server) 主要负责消息路由; 2) SIP 注册服务器 (Registrar Server) 主要负责处理用户注册信息; 3) 具有定位和路由功能的重定向服务器 (Redirect Server)。需要注意的是, 从实现的角度上看, SIP 代理服务器、重定向服务器、注册服务器可以集成到一个硬件上^[8]。

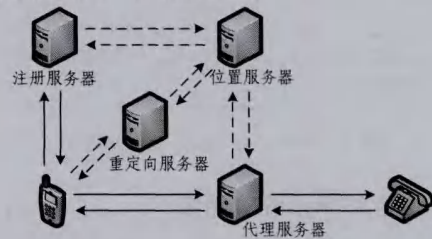


图 9 SIP 网络实体结构关系

在本文所论述的 VoIP 语音系统中, SIP 代理服务器采用的是 Asterisk, 两个客户端分别在 WinCE 和 Windows 操作系统下运行, WinCE 上使用基于 Linphone 的终端软件, Windows 上使用 X-lite 软电话。

7 系统测试

在第 6 节中完成了整个 VoIP 系统的搭建, 并在 Asterisk 中预先建立了两个用户 1001 和 1002。其中 1001 用户对应的是嵌入式 VoIP 语音终端, 其在局域网下的 IP 地址为 192.168.1.101; 1002 用户对应的是 X-lite 软电话, 其在局域网下的 IP 地址为 192.168.1.111。Asterisk 在局域网下的 IP 地址为 192.168.1.90。下面对 VoIP 语音终端进行功能性测试。

该语音终端的操作系统如图 10 所示, 主要分为 3 个部分: 1) register, call 等信息填写; 2) 注册、挂断、呼叫/应答 3 个功能; 3) 信息显示窗口。

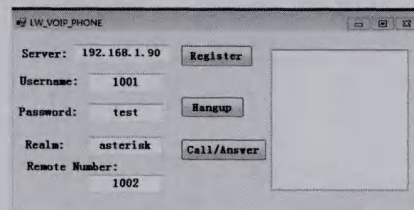


图 10 VoIP 语音终端的操作界面

7.1 register 功能测试

图 11 示出了 SIP 标准注册流程, 在 VoIP 语音系统通信过程中用 Wireshark 进行抓包解析, 以此来验证 VoIP 语音终端的注册功能的完备性。以 VoIP 语音终端注册到 Asterisk 服务器为例。

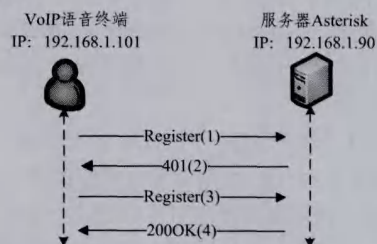


图 11 标准注册流程

如图 12 所示,将抓包数据分成 4 步来解释:

(1)VoIP 语音终端向 Asterisk 服务器发送注册命令。

(2)Asterisk 服务器通过获得的注册信息查询数据库,发现数据库中无用户信息,于是将 401 Unauthorized 信息返回给注册的 VoIP 语音终端。

(3)VoIP 语音终端根据服务器提示的标识,再次向 Asterisk 服务器发起注册请求。

(4)Asterisk 服务器将接收二次注册信息,经过认证/计费中心验证其合法性后,在数据库中将添加该用户信息,并最终将成功响应消息 200 OK 返回给注册的语音终端。

Source	Destination	Info
192.168.1.101	192.168.1.90	Request: REGISTER sip:192.168.1.90
192.168.1.90	192.168.1.101	Status: 401 Unauthorized (0 bindings)
192.168.1.101	192.168.1.90	Request: REGISTER sip:192.168.1.90
192.168.1.90	192.168.1.101	Status: 200 OK (1 bindings)

图 12 VoIP 语音系统注册抓包解析

采用同样的方法进行 X-lite 软电话注册,如图 13 所示,最终在 Asterisk 服务器上可以显示 1001(IP:192.168.1.101)和 1002(IP:192.168.1.111)两个用户。

```
linwang-virtual-machine*CLI> sip show peers
Name/username      Host
1001/1001          192.168.1.101
1002/1002          192.168.1.111
```

图 13 Asterisk 服务中的用户

7.2 Call/Answer 功能测试

图 14 示出了 SIP 标准呼叫流程。在 VoIP 语音系统通信过程中,用 wireshark 进行抓包解析,以此来验证 VoIP 语音终端呼叫/应答功能的完备性。以 VoIP 语音终端作为呼叫发起方为例。

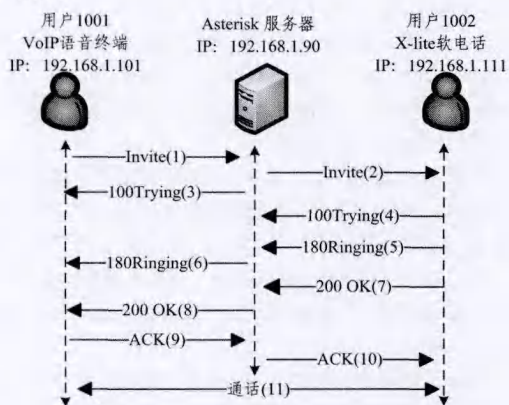


图 14 标准呼叫流程

如图 15 所示,将这个抓包数据分成以下几步来解释:

(1)VoIP 语音终端需要通过服务器 Asterisk 的权限验证才能发送 Invite 信息。

(2)Asterisk 服务器把 Invite 信息转发给 X-lite 端,并向 VoIP 终端返回 100 Trying。

(3)X-lite 端接收到 Invite 信息后返回给服务器 180 Ringing,服务器将 180 Ringing 转给 VoIP 语音终端。

(4)X-lite 端接听电话,此时向服务器发送了一个 200 OK,与此同时服务器返回给 X-lite 一个 ACK。

(5)服务器给 VoIP 终端转发一个 200 OK。

(6)VoIP 语音终端收到 200 OK,返回给服务器一个 ACK 确认信息。

最后,服务器将 ACK 确认信息转发给 X-lite,二者建立通话。

Source	Destination	Info
192.168.1.101	192.168.1.90	Request: INVITE sip:1002@192.168.1.90, with session
192.168.1.90	192.168.1.101	Status: 401 Unauthorized
192.168.1.101	192.168.1.90	Request: INVITE sip:1002@192.168.1.90, with session
192.168.1.90	192.168.1.101	Status: 100 Trying
192.168.1.90	192.168.1.111	Request: INVITE sip:1002@192.168.1.111:5060, rinastar
192.168.1.111	192.168.1.90	Status: 180 Ringing
192.168.1.90	192.168.1.101	Status: 180 Ringing
192.168.1.111	192.168.1.101	Status: 200 OK, with session description
192.168.1.90	192.168.1.111	Request: ACK sip:1002@192.168.1.111:5060, rinastar
192.168.1.90	192.168.1.101	Status: 200 OK, with session description
192.168.1.111	192.168.1.90	Status: 100 Trying
192.168.1.101	192.168.1.90	Request: ACK sip:1002@192.168.1.90:5060
192.168.1.90	192.168.1.101	Request: INVITE sip:1001@192.168.1.101:10060, in-di
192.168.1.111	192.168.1.90	Status: 200 OK, with session description
192.168.1.90	192.168.1.111	Request: ACK sip:1002@192.168.1.111:5060, rinastar

图 15 VoIP 语音系统呼叫抓包解析

经过对 wireshark 抓包数据的分析,并与标准 SIP 呼叫流程比对,可以确认 VoIP 语音终端呼叫/应答功能完备。

7.3 Hang up 功能测试

图 16 示出了 SIP 标准呼叫释放流程。在 VoIP 语音系统通信过程中用 wireshark 进行抓包解析,以此来验证 VoIP 语音终端呼叫/应答功能的完备性。以 VoIP 语音终端作为呼叫发起方为例。

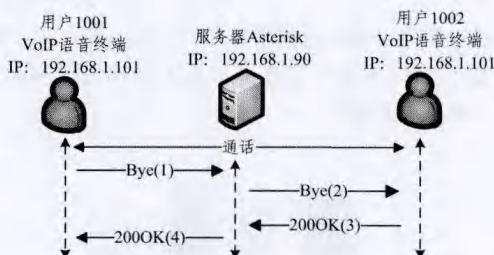


图 16 标准呼叫释放流程

如图 17 所示,将这个抓包数据分成以下几步来解释:

(1)VoIP 语音终端挂机(Hang up),并向服务器发送 Bye 消息。

(2)服务器将 Bye 消息转发至 X-lite 端。

(3)X-lite 端接收到此信息后返回给服务器 200 OK。

(4)服务器将 200 OK 转给 VoIP 语音终端。

Source	Destination	Info
192.168.1.101	192.168.1.90	Request: BYE sip:1002@192.168.1.90:5060
192.168.1.90	192.168.1.101	Status: 200 OK
192.168.1.90	192.168.1.111	Request: BYE sip:1002@192.168.1.111:60658;ri
192.168.1.111	192.168.1.90	Status: 200 OK

图 17 VoIP 语音系统呼叫释放抓包解析

经过对 wireshark 抓包数据分析,并与标准 SIP 呼叫释放流程比对,可以确认 VoIP 语音终端 Hang up 功能完善。

结束语 本文设计并实现了基于 SIP 的嵌入式 VoIP 语音终端系统。为了实现语音终端的注册、呼叫、挂断等基本功能,本文的研究从硬件设计、软件架构、协议分析 3 方面对研究目标进行了详细的分析、论述。经过实验测试,该语音终端的基本功能完备,注册、呼叫、挂断 3 个主要功能均能正常使用。

参考文献

[1] Wen Song-song. Design and implementation of voice intercom system based on SIP protocol [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013 (in Chinese)
文松松. 基于 SIP 协议的语音对讲系统的设计与实现 [D]. 成都: 西南交通大学, 2013

[2] Chen Hong-yu. Packet voice technology [J]. Radio Communication Technology, 2002, 28(3): 58-60 (in Chinese)
陈红宇. 分组语音技术 [J]. 无线电通信技术, 2002, 28(3): 58-60

[3] Rosenberg J, Schulzrinne H, Camarillo G. SIP: Session Initiation Protocol; RFC 3261 [S]. 2002

[4] Sha Ai-jun, Shen Wei-kang, Mao Qi-lin. Implementation of em-

bedded VoIP terminal based on LINPHONE[J]. Information Communication, 2013(8): 77-79(in Chinese)

沙爱军, 沈卫康, 毛其林. 基于 LINPHONE 的嵌入式 VoIP 终端实现[J]. 信息通信, 2013(8): 77-79

[5] Zhao Xin. Design and implementation of call control model based on SIP protocol[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2010(in Chinese)

赵昕. 基于 SIP 协议的呼叫控制模型设计与实现[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010

[6] Lu Hua, Wang Bao-bao. Research and application of oSIP protocol stack[J]. Electronic Science and Technology, 2006(2): 61-64 (in Chinese)

卢华, 王保保. oSIP 协议栈的研究及应用[J]. 电子科技, 2006(2): 61-64

[7] Liu Xi-yi. Research and implementation of VoIP soft terminal based on SIP protocol[J]. Information Security and Technology, 2011(10): 33-35(in Chinese)

刘习义. 基于 SIP 协议 VoIP 软终端的研究与实现[J]. 信息安全与技术, 2011(10): 33-35

[8] Li Zhen-jun, Zeng Ling-yun. Research and implementation of embedded SIP terminal[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(7): 141-144(in Chinese)

李振军, 曾凌云. 嵌入式 SIP 终端的研究与实现[J]. 制造业自动化, 2011, 33(7): 141-144

(上接第 58 页)

对于第二点, 本文分别使用 2、3、4、5 台节点的集群来处理数据集 FX1、FX2、FX3、FX4。从图 10 中可以看出, 当集群规模和数据集大小都呈比例增长时, Hadoop 平台对数据的处理能力基本持平, 这两点都充分体现了该算法在 Hadoop 平台上具有较强的扩展性。

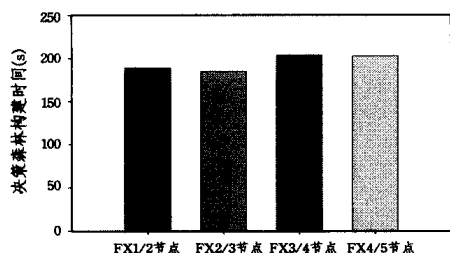


图 10 数据和资源同比例增长和减少时随机森林构建速度

结束语 传统的分类算法在面对大规模数据集时, 显得力不从心。本文在已有研究成果的基础上, 提出了一种基于弱相关化特征子空间选择的离散化随机森林并行分类算法。实验证明, DWRF 算法不仅能有效提高分类准确率, 降低森林的空间开销, 而且在分布式环境下有着良好的并行性和扩展性, 因此说明本文所采用的方法是有效的。

参考文献

[1] HE Qing, LI Ning, LUO Wen-Juan, et al. A Survey of Machine Learning Algorithms for Big Data [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2014, 27(4): 327-336(in Chinese)

何清, 李宁, 罗文娟, 等. 大数据下的机器学习算法综述[J]. 模式识别与人工智能, 2014, 27(4): 327-336

[2] Breiman L. Random forests [J]. Machine learning, 2001, 45(1): 5-32

[3] Wang Y, Goh W, Wong L, et al. Random forests on Hadoop for genome-wide association studies of multivariate neuroimaging phenotypes [J]. BMC bioinformatics, 2013, 14(16): 1-15

[4] Zhang Lei, Wang Lin-lin, Zhang Xu-dong, et al. The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of Pinus yunnanensis [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 650-659(in Chinese)

张雷, 王琳琳, 张旭东, 等. 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 650-659

[5] Lee S L A, Kouzani A Z, Hu E J. Random forest based lung nodule classification aided by clustering [J]. Computerized Medical

Imaging and Graphics, 2010, 34(7): 535-542

[6] Luo Zhi-lin, Chen Ting, Cai Wan-dong. Microblogging Retweet Prediction Algorithm Based on Random Forest [J]. Computer Science, 2014, 41(4): 62-64, 74(in Chinese)

罗知林, 陈挺, 蔡皖东. 一个基于随机森林的微博转发预测算法[J]. 计算机科学, 2014, 41(4): 62-64, 74

[7] Wang De-wen, Sun Zhi-wei. Big Data Analysis and Parallel Load Forecasting of Electric Power User Side [J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(3): 527-537(in Chinese)

王德文, 孙志伟. 电力用户侧大数据分析与并行负荷预测[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(3): 527-537

[8] Guo Shan-qing, Gao Cong, Yao Jian, et al. An Intrusion Detection Model Based on Improved Random Forests Algorithm [J]. Journal of Software, 2005, 16(8): 1490-1498(in Chinese)

郭山清, 高丛, 姚建, 等. 基于改进的随机森林算法的入侵检测模型[J]. 软件学报, 2005, 16(8): 1490-1498

[9] Yao Dong, Luo Jun-yong, Chen Wu-ping, et al. Online Double Random Forests Intrusion Detection Based on Non-extensive Entropy Features Extraction [J]. Computer Science, 2013, 40(12): 192-196(in Chinese)

姚东, 罗军勇, 陈武平, 等. 基于改进非广延熵特征提取的双随机森林实时入侵检测方法[J]. 计算机科学, 2013, 40(12): 192-196

[10] Hu Qing, Sun Cai-xin, Du Lin, et al. Transformer Fault Diagnosis Method Using Random Forests and Kernel Principle Component Analysis [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(7): 1725-1729(in Chinese)

胡青, 孙才新, 杜林, 等. 核主成分分析与随机森林相结合的变压器故障诊断方法[J]. 高电压技术, 2010, 36(7): 1725-1729

[11] Yao Ya-fu, Xing Liu-tao. Improvement of C4.5 decision tree continuous attributes segmentation threshold algorithm and its application [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2011, 42(12): 3772-3776(in Chinese)

姚亚夫, 邢留涛. 决策树 C4.5 连续属性分割阈值算法改进及其应用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2011, 42(12): 3772-3776

[12] Xu B, Huang J Z, Williams G, et al. Classifying very high-dimensional data with random forests built from small subspaces [J]. International Journal of Data Warehousing and Mining (IJDW-M), 2012, 8(2): 44-63

[13] Xiang Yao, Yuan Jing-ling, Zhong Luo, et al. A Coarse-Grained Clustering Unit Based Parallel Algorithm for Big Data Set [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2014, 35(10): 2370-2374 (in Chinese)

向尧, 袁景凌, 钟璐, 等. 一种面向大数据集的粗粒度并行聚类算法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2014, 35(10): 2370-2374