



第三届全国期刊奖百种重点期刊 中国科技核心期刊
工信部优秀科技期刊 中国五大文献数据库收录期刊

ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN

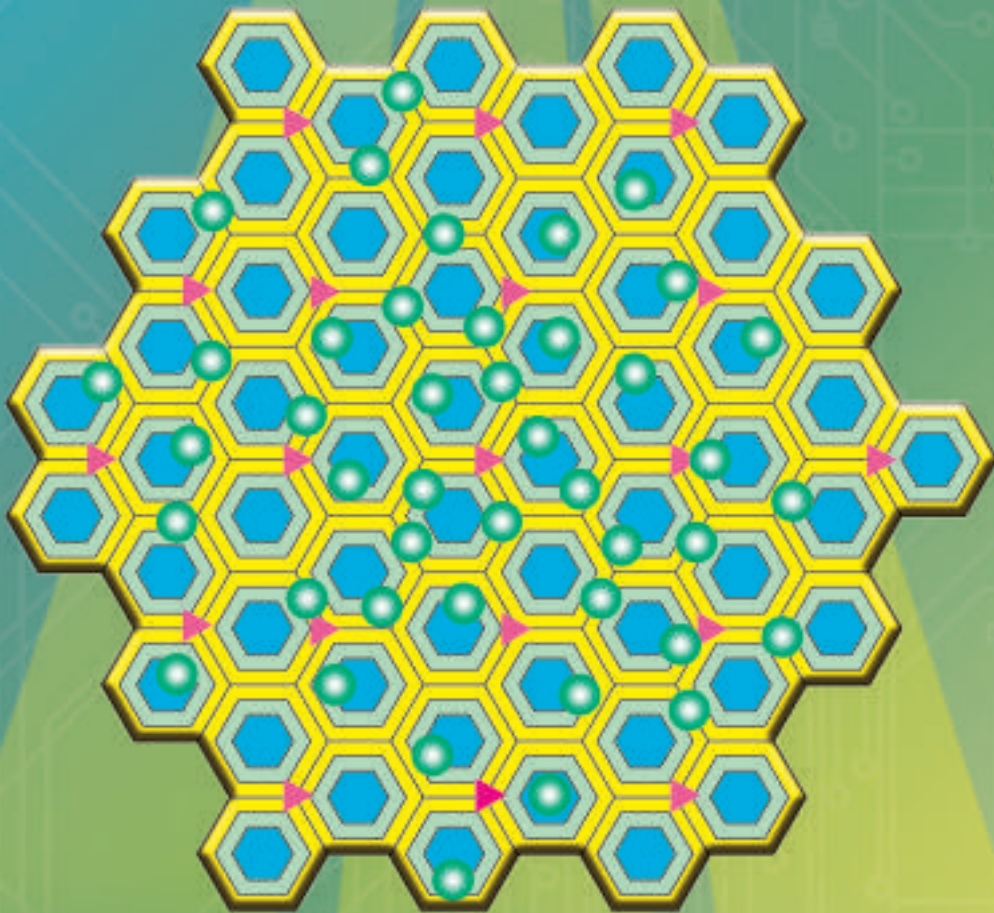
中兴通讯技术

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

www.zte.com.cn/magazine

2013年2月 • 第1期

专题：自组织网络技术与应用



ISSN 1009-6868



9 771009 686007

02>

专题：自组织网络技术与应用

专 | 题 | 导 | 读

移动通信已经成为人们日常生活的一部分。移动通信的新型终端设备层出不穷,种类可包括智能手机、PC 数据卡、嵌入了无线通信的用户设备、机器与机器通信等。与此同时,无线数据业务呈爆炸式增长,移动网络运营商不得不支持非常广泛的数据业务和更高带宽的数据应用。另外,2G/3G 无线移动通信的网络规模也极其惊人,拥有上万个蜂窝小区的中心城市数量与日俱增。为了改善无线覆盖并提高其容量,微微小区(picocell)和 Femto 家庭基站逐步建设并投入使用,与现存 2G/3G/LTE/Wi-Fi 等多种制式和技术网络并存共用。网络正变得更加复杂和异构化。

然而,在这样多种网络制式并存、网络复杂性呈指数增长、优化配置的参数和无线环境评价指标越来越多的背景下,目前的无线网络还主要依赖于人工配置网元及其参数。另外为确保网络效率和可靠运行而开展的网络规划和网络优化也需要依赖于人工工作经验,既耗时又易错配参数,不能适应网络快速发展。随着网络配置管理复杂程度的增加,智能技术在网络管理中的应用应运而生。

2007 年,3GPP 组织在 RAN 3 和 RAN 5 启动了在 LTE 网络中引入自组织网络(SON)的用例和标准提案的研究工作。自组织网络通过自组织的配置网络、优化网络以及在网络发生故障以后可以自适应的愈合,极大地提高了网络的智能化水平,减少了网络运营和维护中的人工干预,降低了通信网络的运营和维护成本。迄今为止,3GPP 已经在其 R8、R9、R10 和 R11 版本中逐渐实现网络自组织、自优化、自愈的功能,SON 已经有实实在在的工业界应用。

本期专题收录的 8 篇论文,既有对 SON 现有研究成果的分析介绍,也有对其未来发展方向的认识与讨论,都代表了中国在 SON 研究方面的最新成果。希望这些成果与观点能够给读者一定的启示。在此,对各位作者的积极支持和辛勤工作表示衷心的感谢。

陈前斌

本期专题策划人



陈前斌

重庆邮电大学教授、博士生导师,重庆邮电大学通信与信息工程学院执行院长,移动通信技术省部级重点实验室主任,重庆市高等学校巴渝学者特聘教授;长期从事通信网络理论及关键技术的研究与开发;研究方向为信息与通信网理论、多媒体通信技术、无线移动通信技术。

2013 年第 1—6 期专题计划

- 1** 自组织网络技术与应用
陈前斌 重庆邮电大学通信与信息工程学院院长
- 2** 下一代互联网与 IPv6 技术演进
崔勇 清华大学计算机系网络所副所长
- 3** 单波长 Tb/s 以上超高速光通信系统技术与器件
张成良 中国电信北京研究院副总工
- 4** 大数据技术与应用
刘鹏 解放军理工大学教授
- 5** 软件定义网络
王文东 北京邮电大学网络技术研究院副院长
- 6** 移动互联网的发展趋势和技术方向
蒋林涛 工信部电信研究院科技委主任



目次

办刊宗旨

以人为本，荟萃通信技术领域精英；迎接挑战，把握世界通信技术动态；立即行动，求解通信发展疑难课题；励精图治，促进民族信息产业崛起。

中兴通讯技术

ZHONGXING TONGXUN JISHU

双月刊 1995年创刊 总第108期

2013年2月 第19卷第1期

主管：安徽省科学技术厅
主办：中兴通讯股份有限公司
安徽省科学技术情报研究所
编辑：《中兴通讯技术》编辑部

总编：谢大雄
副总编：赵今明
常务副总编：黄新明
责任编辑：杨勤义
编辑：徐焯，卢丹，朱莉，Paul Sleswick
排版制作：余刚
发行：王萍萍
编务：王坤

《中兴通讯技术》编辑部
地址：合肥市金寨路329号凯旋大厦12楼
邮编：230061
网址：www.zte.com.cn/magazine
投稿平台：www.zte.com.cn/paper
电子信箱：magazine@zte.com.cn
电话：(0551)65533356
传真：(0551)65850139

出版、发行：中兴通讯技术杂志社
发行范围：全球发行
印刷：合肥中建彩色印刷厂
出版日期：2013年2月10日
刊号：ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN
广告经营许可证：皖合工商广字0058
定价：每册10.00元，全年60.00元

卷首特稿

01 宽带中国与4G移动通信展望 杨震

专题：自组织网络技术与应用

- 05 LTE/LTE-A系统自组织网络技术和标准化进展 鲍炜, 孙韶辉, 李国庆
- 09 自组织网络中的自优化技术与方法 邵泽才, 陈亚迷
- 13 LTE-Advanced系统的网络自愈技术 马昱, 薛文倩, 彭木根
- 18 自组织无线网络中的移动负载均衡技术 潘志文, 尤肖虎
- 21 异构网中移动鲁棒性优化技术仿真研究 金圣峯, 陈琛, 胡宏林
- 26 异构自组织网络中的干扰管理机制研究 王亮, 盛敏, 张琰
- 31 基于动态业务感知的蜂窝网络重配置方案 周旋, 冯钢, 秦爽
- 35 利用数据挖掘的网络智能感知与自适应优化 刘占军, 陈前斌

专家视点

39 软件定义网络：正在进行的网络变革 王文东, 胡延楠

运营应用

44 决策级数据融合技术在远程医疗监护中的应用 娄梦茜, 邓硕, 孙知信

研究论文

49 可见光通信的研究 陈特, 刘璐, 胡薇薇

开发园地

53 基于云计算的数据挖掘平台架构及其关键技术研究 丁岩, 杨庆平, 钱煜明

系列讲座

57 大数据(1) 于艳华, 宋美娜

综合信息

中兴通讯企业网数据产品荣膺“2012年度最佳ICT产品”大奖(4) 中兴通讯EPC产品再次凸显业内领先地位(25) 中兴通讯“跨代双模”方案开启10G-EPON宽带接入无感知升级时代(38) GoTa被ITU国际标准采纳 中国在通信标准领域再获突破(43) 广告索引(48)

Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol.19 No.1 Feb. 2013

Guest Paper

01 Broadband in China and 4G Mobile Outlook YANG Zhen

Special Topic: Self-Organizing Network Technology (SON) and Its Applications

- 05 Self-Organizing Networks for LTE
and LTE-A: Technologies and Standardization BAO Wei, SUN Shaohui, LI Guoqing
- 09 Self-Optimization Technology SHAO Zecai, CHEN Yami
- 13 Self-Healing Network in LTE-Advanced Systems MA Yu, XUE Wenqian, PENG Mugen
- 18 Mobility Load Balancing Techniques
in Self-Organizing Networks PAN Zhiwen, YOU Xiaohu
- 21 Simulating Optimal Mobility Robustness
for Heterogeneous Networks JIN Shengyao, CHEN Chen, HU Honglin
- 26 Managing Interference in Self-Organizing
Heterogeneous Networks WANG Liang, SHENG Min, ZHANG Yan
- 31 Dynamic Traffic-Aware Reconfiguration
of Efficient Cellular Networks ZHOU Xuan, FENG Gang, QIN Shuang
- 35 Network Self-Optimization and Intelligence Based
on Data Mining LIU Zhanjun, CHEN Qianbin

Expert View

39 Software-Defined Network:
Ongoing Network Transformation WANG Wendong, HU Yannan

Operational Application

44 Decision-Level Data Fusion Technology
in Remote Medical Care Systems LOU Mengqian, DENG Shuo, SUN Zhixin

Research Paper

49 Visible Light Communication CHEN Te, LIU Lu, HU Weiwei

Development Field

53 Architecture and Key Technology of a Data Mining Platform
Based on Cloud Computing DING Yan, YANG Qingping, QIAN Yuming

Lecture Series

57 Big Data (1) YU Yanhua, SONG Meina

敬告读者

本刊享有所发表文章的版权,包括英文版、电子版和网络版版权,所支付的稿酬已经包含上述各版本的费用。

未经本刊许可,不得以任何形式全文转载本刊内容;如部分引用本刊内容,须注明该内容出自本刊。

邮购须知

本刊常年办理邮购订阅业务,欢迎订阅。订阅方法:从邮局汇款至编辑部,在汇款单上将订阅者的详细地址、收件人姓名及联系电话填写清楚,并在汇款单附言栏注明所购杂志期次及数量。

当今世界新技术、新产业的迅猛发展,孕育了新一轮产业革命,新兴产业正在成为引领未来经济社会发展的重要力量。值此新年来临之际,我刊荣邀南京邮电大学校长杨震就宽带中国与4G移动通信发表观点。

杨震校长认为宽带中国战略将对信息产业的发展发挥巨大的推动作用,它不仅可以带动网速的提升和IT企业收入的增长,还将拉动光纤制造、网络设备、计算机和家电等相关制造业的发展,形成很强的产业链延伸与带动效应。

杨震校长指出云计算、物联网、大数据以及各类网络信息的应用引致的信息消费有可能成为新一轮拉动经济的热点。目前的技术应更多关注4G通信终端产品,它也将逐步深入到人们的日常工作和生活中,根本改变人们的工作和生活方式。

宽带中国与4G移动通信展望

杨震/YANG Zhen



杨震,南京邮电大学校长、教授、博士生导师,第十、十一届全国人大代表,中国农工民主党中央副主席,中国通信学会副理事长和学术工作委员会主任,工业和信息化部电信经济专家委员会副理事长,中国通信企业协会常务理事,江苏省通信学会理事长,亚太通信会议APCC Steering Committee 主席,《电子学报》、《通信学报》等刊物编委;长期从事信号与信息处理、通信理论与技术的教学科研工作;主持和参加完成了国家科技支撑计划、国家“863”、国家自然科学基金、省部级等科研项目20多个;在全球学术刊物和会议上发表学术论文近200篇;目前研究兴趣包括无线通信网络、物联网和传感网、基于网络的分布式信号处理等。

信息通信科技的进步成就了现代社会的繁荣,各种信息通信设施已经成为了社会赖以生存和发展的基础设施,推动社会和经济快速发展。2008年世界金融危机之后,复杂多变的宏观形势要求中国加快经济发展方式的转型升级,而扩大消费已成为促进经济转型升级的关键。从消费环境看,随着信息技术的不断升级,新的信息产品和服务不断涌现:从移动互联网、物联网、云计算等商务应用到远程教育、网络社区、电子商务、游戏娱乐等个性化多维虚拟现实平台,网络催生的信息消费热点不断兴起,社会信息化进程的稳步推进,将极大丰富各类信息资源,进而拉动信息消费的快速增长。

未来的十年将是一个“大数据(Big Data)”引领的智慧科技的时代。谷歌公司执行总裁Eric Schmidt说:“从世界诞生之日到2003年,人类一共创造了5EB数据,现在我们每两天就创造这样多的数据”。信息消费的高速增长和网络应用的极速普

及,迅速带动了通信带宽的市场需求。与此同时,智能终端的广泛应用,视频业务和3D场景乃至全景式感受的通信需求(如新兴的可穿戴计算、触觉通信 Haptic Communication 等一系列新技术)已使传感与通信终端融为一体,移动通信业务量也将呈几何级数增长。

大数据离不开宽带传输管道和网络,宽带既促成了大数据时代的到来,同时又承载大数据的基础设施一大管道。我们既需要为按摩尔定律增长的信息量提供通道,又需要为信息消费可能拉动的经济做好铺垫。宽带中国的战略是未来美好中国的基础。

1 信息消费——经济增长的强劲动力

当今世界新技术、新产业迅猛发展,孕育着新一轮产业革命,新兴产业正在成为引领未来经济社会发展的重要力量,世界主要国家纷纷调整发展战略,大力培育新兴产业,抢占

未来经济科技竞争的制高点。2012年上半年,国务院讨论通过了《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》,提出重点发展的战略性新兴产业,并以新一代信息技术作为重要方向,同时明确了宽带中国工程的具体目标:到2015年,要实现宽带接入用户达2.5亿,在宽带接入能力上,城市家庭平均达到20 Mbit/s以上,农村平均达到4 Mbit/s以上。

战略性新兴产业的设定,是为了给经济增长装上强劲动力。预计“十二五”期间的新一代信息技术产业销售收入年增长将在20%以上,这只是信息消费中的基础产业(新一代信息网络产业、电子核心基础产业)增幅,而信息消费涉及的物联网、云计算、大数据等商务应用以及远程教育、网络社区、电子商务、游戏娱乐等个性化应用服务将会带来更为可观的经济拉动。

我们可以想象这样一个场景,当你向手中苹果终端中的Siri软件用语音提问:“附近最有情调的餐馆在哪?”后,短短1-2秒内就能得到答案。看似简单的操作后面,隐藏着复杂的计算:涉及到语音识别、内容分析、信息传递、用户定位、资料检索、存取、数据交换等一系列动作。当成千上万人同时享受类似的信息服

务时,这一系列操作如果没有高带宽提供的信息接入,如果没有高带宽提供的信息传输,如果没有强大计算能力的云服务,是不可能完成的。而深层次的信息消费,信息的维度更大,结构更复杂。现阶段,计算机处理的大多是结构化数据(可用二维表结构来逻辑表达实现的数据),这些结构化数据只占未来网络上流动信息的10%左右。网上90%的数据是非结构化数据,记录公众视、听、感全景式感受的信息。可以说,信息消费和宽带密不可分,没有宽带的信息高速路,就不可能进入信息消费真正的应用时代。

动设备,包括智能手机、平板电脑、笔记本、甚至是马路上飞驰的汽车,他们可能会在同时访问同一个数据中心。让我们再看一个信息消费的现实场景:铁道部2011年底推出的在线订票系统,当几亿人同时访问的时候,网站陷入瘫痪,引致一片责备声。可以认定,大数据时代信息消费带来的数据中心压力是前所未有的。随着全球经济一体化的发展,未来任何一个数据中心要面临的都不仅是一个地区或一个国家的访问量,更多的是面向全球的高并发数的访问量。此时,如何布局带宽战略及应对日益激增的信息消费需求就成为每一个国家确保经济强劲增长不可逾越的话题。

带宽的不断提升,极大地便利了社会生活。对于个人而言,随手拍、随手查已经成为一种生活习惯;对于企业而言,以往更多企业内部商业数据来自于企业资源计划(ERP)建设、客户关系管理(CRM)建设以及相关的生产应用,但随着带宽和移动通信终端的发展,企业可能更倚重于外部数据,比如来自社交网站、手机、传感器等。我们来看刚刚发生在我们身边的一个场景:2012年11月11日,天猫商城1111购物狂欢节一天的交易额是191亿元,在交易的第一个小时访问流量已到1.8 TB!这些更依赖高带宽传输的信息消费加快了大数据时代的到来。根据互联网数据中心(IDC)的研究结果显示,2011年全球创造的信息数量达到1 800 EB,并且还在以每年60%的速度高速增长,预计到2020年,全球每年信息消费产生的数字信息将达到35 ZB。

2 宽带中国——未来中国的基础设施

信息消费就是对信息资源的利用,包括与信息收集、保存、传输等有关的产品和服务的消费。随着信息

传播、处理速度和信息存储能力呈几何级数增长,信息消费已渗透到社会各个领域,信息技术不仅改善了人们处理问题的能力,而且改变了人们的工作模式和生活方式,进而影响了人们的思维方式和社会形态,可以说人们已经进入了信息时代。信息时代最突出的特点可以概括为:信息载体多样化、信息覆盖泛在化、信息应用全息化,这体现了任何时间、任何方式、任何地点、任何信息的信息、通信和技术(ICT)服务发展理念;信息技术发展面向高带宽、大数据、协同处

战略性新兴产业的设定给经济增长装上强劲动力

理;消费方式趋于即时化、移动化、便捷化。

这样美好愿景的前提是通畅的信息流,然而我们信息的跑道究竟如何?近年来中国宽带网速国际排名不容乐观。来自权威内容分发网络(CDN)服务提供商Akamai的最新数字表明,2011年年底,中国互联网接入速率为1.4 Mbit/s(通信企协最新数据表明,2012年9月底网速提高到2.31 Mbit/s),国际排名降到了第90位。而网络测速机构Speedtest的数据显示,2010年上半年中国宽带网络实际下载能力居全球第79位,不到全球平均水平的一半。一方面,中国宽带人口普及率仅11.7%,与发达国家的普及率差距从2005年的10个百分点已经扩大到了13.4个百分点。另一方面,中国在网速、网络质量方面与全球平均水平的差异,在网络覆盖率方面与发达国家的差距都在急剧拉大。这与我们作为全球经济第二大国、电信用户和网络用户第一大国的国际地位形成了巨大的落差。

差距是现实,而需求也是现实。

截至2012年6月底,中国网民数达5.38亿,互联网普及率再上台阶,达39.9%,手机网民首次超越台式电脑网民数达3.88亿,手机已成为中国网民第一大上网终端。其中手机即时通信、搜索、微博、视频、网络支付都呈快速增长态势。同时,在云计算、物联网等技术的带动下,中国移动互联网流量近些年急剧增加,过去短短的18个月,中国移动互联网流量增加了10倍。

“宽带中国”战略应运而生。宽带网络作为国家新一代信息技术的

宽带建设对GDP增长的拉动作用明显

基础设施,随着网络业务流量的爆炸式增长,正朝着宽带化、智能化、融合化、集成化的方向演进。宽带中国战略带来的不仅是网速的提升和IT企业收入的增长,还将拉动光纤制造、网络设备、计算机和家电等相关制造业,形成很强的产业链延伸与带动效应。研究表明,宽带建设对GDP增长的拉动作用明显。如对欧盟国家GDP增长的贡献率达到了0.71%。同时,宽带建设对就业的促进作用突出,宽带普及率每增加1%,就业率上升0.2~0.3%。另一方面,每个宽带制造业岗位将带来2.91个其他新工作岗位,每个宽带服务业岗位将带来2.52个其他岗位。宽带产业对上下游的就业拉动作用是传统行业的1.17倍。

宽带中国战略的实施,提出了把握信息技术升级换代和产业融合发展机遇,加快建设宽带、融合、安全、泛在的下一代信息网络,明确要求在构建的下一代国家信息基础设施中,需要统筹宽带接入、新一代移动通信、下一代互联网、下一代广播电视网络建设。

宽带中国战略将对信息产业的

发展发挥巨大的推动作用,可以预见,光纤宽带升级,信网、广播电视网、互联网向宽带通信网、数字电视网、下一代互联网演进,都大大加快了不同网络融合的实施进程。网络的融合,不是物理合一,而是高层业务应用的融合,它带来的是广泛的融合应用,遍及智能交通、环境保护、政府工作、公共安全、平安家居等多个领域。我们需要关注高带宽网络融合中的用于全息(图文声像感)数字信号的编码、传输、交换、选路、处理等基础数字技术,解决巨大容量、快速流量和高服务质量的光通信技术,并面向多功能、个性化和复杂业务的智能软件技术,应对综合资源调度、集成应用、互连互通的IP技术,以及适应物联网、云计算和大数据处理的网络架构技术,当然还有面向融合的各类丰富的应用业务开发。

宽带中国战略的核心在于提升用户的入户带宽,实现宽带的真正提速。从早期的数字用户线路(DSL)到光纤接入(FTTx),还有灵活性和适应性强的无线接入,从目前三大运营商的现网部署来看,广纤到户(FTTH)和宽带无线接入已渐成为主流的接入模式。随着FTTH和无线局域网(WLAN)的规模普及,家庭网络已经成为运营商布局的重心所在。从网络接入延伸到家庭组网、从业务承载聚焦到应用呈现,以智能终端为牵引,围绕数字家庭网络的应用日渐繁多,智能家居、交互式网络电视(IPTV)以及多样化的多媒体应用都成为运营商下一步主推的业务内容,这些基于终端之上的丰富业务和用户体验将是运营商的竞争核心。

所有技术的发展都不可能在一夜之间实现,从全球移动通信系统(GSM)、通用分组无线服务技术(GPRS)、EDGE、3G、LTE再到4G、B4G,都是需要不断演进,而且这些技术可以同时存在。4G开发具有明确的目标性:提高移动装置无线访问

互联网的速度。B3G的发展一直在IEEE和3GPP之间展开,IEEE 802.16m以及全球微波互联接入(WiMAX)在北美大行其道,而LTE-Advanced(包括FDD和TDD两种模式)经国际电信联盟审议,已于2012年1月和WirelessMAN-Advanced共同成为4G(IMT-Advanced)国际标准。第四代移动通信系统主要是以正交频分复用(OFDM)和多输入多输出(MIMO)为技术核心,为了充分利用4G通信给人们带来的先进服务,人们还必须借助各种各样的4G终端才能实现。我们目前的技术应更多关注4G通信终端产品,例如生产具有高速分组通信功能的小型终端、生产对应配备摄像机的可视电话以及电影电视的影像发送服务的终端,或者是生产与计算机相匹配的卡式数据通信专用终端。有了这些通信终端后,人们手机用户就可以随心所欲漫游,随时随地享受高质量的通信了。

网络安全实质就是网络上的信息安全,从硬件、软件到传输、数据、内容,安全不仅从一般性的防卫而是一种非常普遍的防范。网络安全体系需要关注:网络安全来源于安全策略与技术的多样化,如果采用一种统一的技术和策略也就不安全了;网络的安全机制与技术要不断地演进和变化;随着网络在社会各方面的延伸,接入网络的手段也越来越多,因此,网络安全技术是一个十分复杂的系统工程;同时网络作为一种文化,安全还涉及内容和网络舆情。为此构建网络安全体系,除了技术因素,还需要国家政策和法规的支持,同时网络安全产业也将是一个随着新技术发展而蓬勃发展的产业。

3 4G移动通信——产业链的盛宴

目前全世界手机用户已达45亿,移动通信不仅实现了人与人的互联,并正在实现人与互联网的互联。2012年6月,中国手机网民首次超越

台式电脑网民数,而3G用户数也超过了1.8亿,智能手机更将迎来人与人、物与物之间互联的物联网时代。据全球移动通信系统协会预测,15年后将有500亿件物品被移动互联网,未来的移动通信“随时、随地、无所不在”将成为基本特征。开发手机新用途将是未来竞争的焦点。工信部部长苗圩近期首度明确:“大约在一年之内发放4G牌照”,伴随着4G脚步的渐行渐近,一场关乎通信产业的饕餮盛宴即将开始。

运营商作为产业链的主导,首先是最大的受益者。从2012年下半年开始,中国移动已全面启动4G网络建设,中国移动的这一投资总额将达到约1800亿元。中国电信和中国联通也将加快推进4G网络的商用进程,目前已宣布在上海等地进行4G网络规模测试和各项商用测试。运营商的动作,已预示中国在1-2年内将提前跨入4G时代。

4G的提速首先将拉动整个移动通信产业链的投资,可以预测直接拉动的投资市场规模在5000亿元左右,网络正式商用后,还将带动终端制造和软件等上下游行业,产业链投

资规模有望突破万亿元大关。

从2009年3G的巨额投资带来中国通信行业相关上市公司业绩的快速增长,可以预期,相比3G网络,由于2GHz以下无线频谱资源的紧缺,4G网络将工作在更高的频率上(中国刚刚颁布规定,将2.5~2.69GHz的190MHz带宽分配给4G系统),信号覆盖范围更小,基站建设数量更多,对于主设备厂商、射频器件厂商、网络优化和网络维护厂商来说,形成了有力的需求支撑。同时,4G采用多输入多输出(MIMO)技术来提高网络的频谱效率,对基站天线、终端天线厂商的天线需求量和天线性能提出了更高要求,将直接带动天线生产厂家的投资收益。基于4G的数据通信速率将是3G速率的几十倍以上,为满足需求,4G基站数量势必增加,从而引致的大规模建设将带动光通信设备商的投资收益。随着基站建设的完成,网络优化服务需求将随着基站数量、用户数量、流量的增长而增长,这将带动网络优化以及SP增值服务厂商的投资收益。

云计算、物联网、大数据以及各类网络信息的应用引致的信息消费

有可能成为新一轮拉动经济的热點。以4G移动通信宽带建设投入为主的网络信息基础设施的建设投资每年将数以千亿元计,它带动的电子信息类产品的销售在中国每年将数以万亿元计,应用将有可能达到10万亿元。

让我们用一个可以预期的前景来结束展望:未来的手机我们可以想象为“指尖上”的教室、银行、影院、商店,还可以为您提供定位服务,当您抵达目的地后,可以导航购物,提供购物中心各楼层、各柜台的实时信息和优惠信息(优惠券等),您可以选择所需的柜台直接购物,您甚至可以远程指挥家中的洗衣机和微波炉,因为汽车、冰箱、微波炉等等都可以嵌入SIM卡,成为移动通信网的一个终端。医疗设备也可以大量嵌入SIM卡,手机还能用于医疗保健,进行远程疾病诊断、健康监测和报警。手机还可以代替银行卡,进行移动支付。我们的手机(应该改称智能终端)已经不仅仅是一个通信工具,它已经深入到日常工作和生活中,根本改变人们的工作和生活方式。

收稿日期:2012-12-02

综合信息

中兴通讯企业网数据产品荣膺“2012年度最佳ICT产品”大奖

【本刊讯】2012年12月20日消息,在德国权威通信媒体《Funkschau》举办的“年度最佳ICT产品”评选中,中兴通讯全千兆智能交换机ZXR5250以其优异性能和高效服务脱颖而出,荣登三甲,备受欧洲读者和企业用户的青睐。

《Funkschau》作为德国主流通信媒体,其举办的年度读者评奖已成为德语区信息与通信技术行业B2B领域规模最大的投票之一。2012年是该奖项举办的第4年,共有超过44000张选票参与评选,该奖项在欧洲通信业内极具权威性和影响力。

“我们很高兴获得这个奖项。这说明中兴通讯交换

机产品在业界树立了良好的口碑。”中兴通讯德国总经理John Lee表示:“这充分证明我们的渠道拓展战略已经在德国市场这片沃土上生根发芽并逐步壮大,作为客户可信赖的全行业ICT解决方案提供商,中兴通讯优秀的ICT解决方案将服务于更多的德语区企业客户。”

《Funkschau》出版人Ralf Ladner表示:“中兴通讯无疑2012年最耀眼的明星之一,投票结果证明其在通信技术行业B2B领域占据优势地位。”

近年来,中兴通讯承载网交换机产品取得快速发展,据Ovum最新研究报告(2012Q2)显示:在全球运营商市场,以太网交换机已经连续7个季度排名第二,并且持续拉近与第一名的差距。在亚太市场,中兴通讯以21%的份额成为毋庸置疑的亚太第一。

LTE/LTE-A 系统自组织网络技术和标准化进展

Self-Organizing Networks for LTE and LTE-A: Technologies and Standardization

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0005-004

摘要: 文章指出利用自配置技术,每个基站可以在电信管理网络(OAM)节点允许的范围内,自主地选择物理小区标识并建立和维护邻区关系;利用自优化技术,每个基站可以根据当前的负载和性能统计情况,进行参数调整,优化系统性能;利用自治愈技术,OAM持续监测通信网络,一旦发现可以自动解决的故障,就启动对相关必要信息的收集,进行故障分析,并根据分析结果触发恢复动作。文章认为不断增加的基站数量、共存的2G/3G/4G系统、异构网络(HetNet)引入的分层网络架构等,导致网络变得越来越复杂,巨大的管理工作和高昂的运维成本,使得采用以自配置、自优化和自治愈为核心特征的SON技术成为LTE/LTE-A系统的必然选择。

关键词: 自组织网络;自配置;自优化;自治愈

Abstract: Self-configuration, self-optimization, and self-healing are key functionalities in a self-organizing network. The eNB can automatically select the physical cell ID and configure a neighbor relationship within the range allowed by OAM. The eNB can optimize system performance by automatically adjusting its parameters according to statistics on system load and performance. Self-healing aims to solve or mitigate faults that can be solved automatically. The OAM is responsible for monitoring collected information and detecting faults, and appropriate recovery actions are triggered. Networks are becoming more complicated with increasing numbers of eNBs; coexistence of 2G, 3G and LTE/LTE-A; and heterogeneous HetNet architecture. Manual network planning and optimization is difficult and expensive for operators. To reduce capex and opex and to improve network deployment and operation, SON is the inevitable choice for LTE and LTE-A systems.

Keywords: self-organization network; self-configuration; self-optimization; self-healing

自组织网络(SON)的概念最早基于Ad Hoc通信机制提出,它是一种无固定拓扑,无中心节点,可以随时随地动态组建的无线通信网络形式,具有自发现、自配置、自组织和自治愈等核心特征。

在2007年3GPP进行LTE标准制

基金项目:国家科技重大专项(2010ZX03003-001)

订时,决定引入LTE SON机制。引入LTE SON技术旨在自动完成蜂窝移动通信网络设备的参数配置和优化工作,减少网络操作管理过程中的人工参与,提高网络可靠性,降低运营成本,提升LTE系统在未来移动通信市场上的竞争力。LTE SON机制提供3种功能,即自配置、自优化和自治愈。其中,自配置指演进型基站

鲍炜/BAO Wei
孙韶辉/SUN Shaohui
李国庆/LI Guoqing
(大唐电信科技产业集团 无线移动通信国家重点实验室,北京 100191)
(State Key Laboratory of Wireless Mobile Communications, Datang Telecom technology and industry group, Beijing 100191, China)

(eNB)具有即插即用、自动下载安装软件、自动配置无线和传输参数以及自主管理邻区关系等功能;自优化指网络设备根据运行状况,自适应调整无线参数,如发射功率、切换门限和小区个性偏移量等,优化网络性能;自治愈指通过监测和分析错误数据、告警信息,网络自主发现故障并及时隔离和恢复。

1 SON 标准化的进展

在LTE SON标准化过程中重点研究了两方面的内容。第一方面是SON在LTE无线接入网(RAN)中的应用场景定义和实现方案设计;第二方面是SON对电信管理网络(OAM)的影响、需求以及实现方案。前者由3GPP RAN3工作组牵头研究,RAN2/RAN4辅助;后者由系统网络架构中的SA5工作组负责完成。其中,自配置和自优化相关内容在RAN3和SA5工作组都开展研究,而自治愈功能工作主要在SA5工作组开展。相关标准化成果体现在3GPP LTE标准的RAN侧技术规范TS36.300、TS36.423、

TS36.413、TS36.331、TS25.331 以及网络架构侧技术规范 TS32.500、TS32.501、TS32.511、TS32.521 和 TS32.541 等 SA5 网管规范中。

3GPP 对 SON 的标准化工作始于 LTE Rel-8 阶段^[1],并一直延续至最近的 Rel-11 阶段,各版本的标准化时间点如图 1 所示。

Rel-11 阶段,为了满足运营商不断增长的网络部署需求,对 SON 继续增强项目进行了立项,立项目标定位于提升 MRO 在新应用场景性能。标准化的内容包括:制订 Intra-LTE 异构网络(HetNet)MRO 机制、Inter-RAT 切换失败检测方法和 Inter-RAT 乒乓切换检测机制。

SON 在 SA5 的标准化工作与 RAN 侧同时进行,除了定义了 RAN 侧各技术方案所对应的电信管理网络支持技术外,还完成了自治愈相关功能的标准化。

由于项目规划的原因,SON 项目重点研究了 TR36.902 中所定义 9 种用例中的 5 种。余下的 4 种,即覆盖和容量优化、干扰降低、节能以及干扰协调,分别在最小化路测、节能和干扰协调项目中进行了研究^[2-3]。

2 关键技术方案

SON 机制中的自配置、自优化和自治愈相关的技术方案和标准制订情况。

2.1 自配置技术

在 LTE 标准中,自配置包括物理小区标识(PCI)自配置和 ANR 功能。通过自配置,每个基站可以在 OAM

节点允许的范围,自主地选择物理小区标识并建立和维护邻区关系。通过这两种技术不仅可以大大减轻运营商规划和优化工作量,也为后继家庭基站等非运营商部署节点的广泛使用提供了便利。

(1) PCI 自配置方案

在为 LTE 小区配置 PCI 时,网络部署的基本要求是相邻小区间的 PCI 配置做到不冲突,不混淆。不冲突是指任何两个相邻的同频小区不能使用相同的 PCI 配置;不混淆是指在小区的所有邻区中不应出现两个或以上同频小区使用相同物理小区标识的情况。

PCI 自配置过程如下:根据 OAM 为小区提供的候选 PCI 列表,eNB 根据不冲突、不混淆的要求,排除其中不合适的 PCI 选项,并在剩下的 PCI 中随机选择一个 PCI 配置给下辖小区。需要排除的 PCI 包括:eNB 通过用户终端(UE)上报或空口监听获得的邻小区已用物理小区标识;通过 X2 接口消息获得的邻 eNB 下辖小区以及相邻 eNB 的邻小区所使用的物理小区标识等。

PCI 自配置功能对网络和终端规范影响不大,是目前较为成熟的一个功能。它的广泛使用,将大幅减轻运营商网络规划和配置的工作量。

(2) ANR 方案

为了进行切换和干扰协调,eNB 需要为下辖小区建立和维护邻区关系表。自动邻区关系功能用于辅助 eNB 发现未配置的邻小区,触发邻区关系表中相应表项的建立和维护操作。自动邻区关系机制不仅适用于

发现同频邻区,还可用于发现异频和异系统邻区。邻区发现的过程如图 2 所示。

在图 2 中,eNB A 下 UE 完成常规邻小区测量并上报测量结果,测量报告中以小区 B 的 PCI 作为被测小区标识。eNB A 发现测量报告中携带的 PCI 对应于一个未配置的邻小区,则指示 UE 读取该 PCI 对应小区的广播信息,获得小区 B 的全球小区标识(GCI)、跟踪区域码和公共陆地移动网络标识等参数。根据 UE 反馈的信息,eNB A 可以将小区 B 添加到小区 A 的邻区关系表中。

虽然自动邻区关系(ANR)功能位于 eNB 实体内,但是 OAM 仍然保持着对邻区关系的完全控制,SA5 工作组为 OAM 定义了 eNB 邻区列表管理模块,用于增加、删除邻区关系,设置和修改邻区属性。

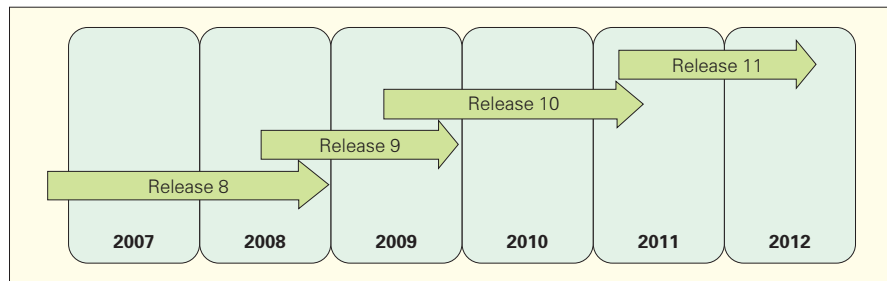
相比传统的邻区关系人工配置过程,通过自动邻区关系机制,不仅避免了规划阶段的工程参数测算、优化阶段的路测辅助,还减少了邻区漏配、错配情况的发生,在降低成本的同时,提高了配置效率。

2.2 自优化技术

自优化主要包括移动负载均衡(MLB)、随机接入信道(RACH)优化和移动健壮性优化(MRO)功能。通过自优化,每个基站可以根据当前的负载和性能统计情况,进行参数调整,优化系统性能。基站的自优化需要在 OAM 的控制下进行,基于对网络性能测量及数据收集,OAM 可以在必要的时候,启动或终止网络自优化操作;同时,基站对参数的调整也必须在 OAM 允许的取值范围内进行。

(1) MLB 方案

MLB 是指 eNB 自动调整移动性参数,将下辖重负载小区的业务部分转移到相邻或同覆盖的其他轻负载小区,以实现业务负荷在小区间的合理分配。MLB 机制同时适用于 LTE 接入系统内部(Intra-LTE)和接入网



▲ 图 1 3GPP LTE/LTE-A 规范版本演进时间表

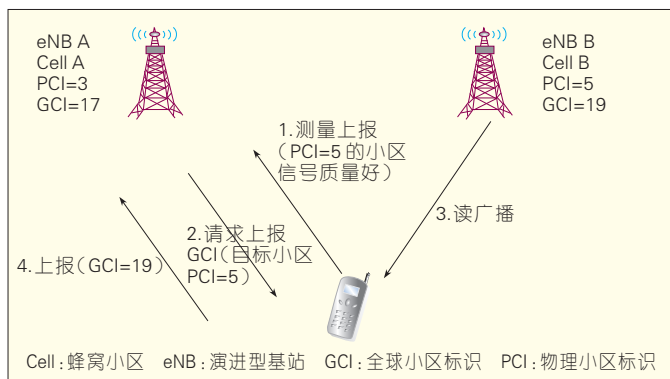


图2 ANR 功能示例

络间(Inter-RAT)的场景。

在MLB的实现过程中,eNB对下辖小区的负荷状态进行监控,并通过X2或者S1接口与邻节点交互负载信息。根据获得的负载信息,eNB调整过载小区的移动性参数,使得其所服务的UE可以更容易的切换或重选到邻近轻负载小区。

对于Intra-LTE MLB场景,为了避免重负载eNB单方调整切换参数导致乒乓切换,还引入了eNB间的切换参数协商机制;对于Inter-RAT MLB场景,考虑到不同系统的切换参数设置和切换算法不具通用性,所以未采用切换参数协商机制。

相比人工调整参数进行负载均衡,MLB机制具有调整迅速,对业务突发适应性好等突出优点。

(2) RACH 优化方案

RACH优化旨在通过调整RACH的配置参数,保证合理的UE随机接入成功率和接入时延。在RACH过程中,基站基于UE随机接入成功率以及对接入时延统计和估算等方式判断RACH是否需要优化。为了协助基站进行统计,标准中引入了UE随机接入相关信息的上报过程。例如UE需上报成功进行接入时所进行的接入尝试次数。根据统计结果,eNB对不合理的RACH参数进行调整。调整后的RACH参数需要在相邻eNB之间交互,以协调RACH配置,减少相邻小区间的相互干扰。

LTE之前的蜂窝通信系统对RACH性能的统计一直比较困难,对

RACH参数的设置更多的是依靠经验和路测。RACH优化机制的引入极大的简化了RACH参数的配置过程。

(3) MRO 方案

移动健壮性优化(MRO)技术用于对切换参数设置问题进行自动检测,通过对大量连接失败现象进行分析和统计,确定问题原因,以便进行相应的参数调整。

在Rel-9阶段,MRO首先研究了Intra-LTE场景中由于切换参数设置不合理而导致的UE连接失败问题,并将问题原因归纳为3类:过迟切换、过早切换和切换到错误小区。MRO给出了如下描述性定义:过迟切换指已经在服务小区驻留了一段时间的UE,在未收到切换命令的情况下,与服务小区连接中断,随后UE选择了除服务小区外的其他小区进行了重建;过早切换指UE在接入目标小区的过程中发生切换失败或在接入目标小区后短时间内发生连接中断,随后UE在源小区进行重建;切换到错误小区定义为UE在接入目标小区的过程中发生切换失败或在接入目标小区后短时间内发生连接中断,随后UE在除源和目标小区外的其他小区进行重建。

为了便于基站判断切换失败的类型,需要获得UE的切换上下文和重建小区信息。3种Intra-LTE MRO错误的检测如图3、图4、图5所示。

图3是一个过迟切换的检测过程。在进行问题检测时,重建基站将重建小区的标识和重建UE的标识通

过X2接口通知给UE连接中断前所连的服务基站,即最后服务基站。由最后服务基站根据本地存储的UE上下文确定UE连接中断的原因。

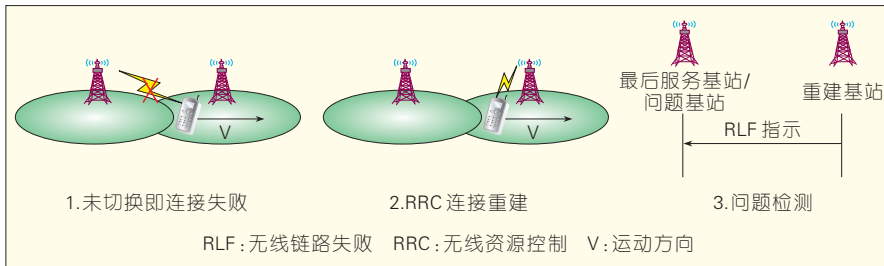
过早切换的检测过程如图4所示。与过迟切换检测过程类似,最后服务基站根据从重建基站所获得的信息和本地存储的UE上下文确定UE连接中断的原因。最后服务基站再将检测结果发送给问题切换所对应的基站,以便问题基站参数调整。

切换到错误小区的检测过程如图5所示。与前两种检测类似,最后服务基站首先确定导致UE连接中断的原因,再将检测结果通知给问题切换所对应的源基站,即问题基站,以便问题基站进行参数调整。移动健壮性优化功能详细的检测流程可以参见文献[3-4]。

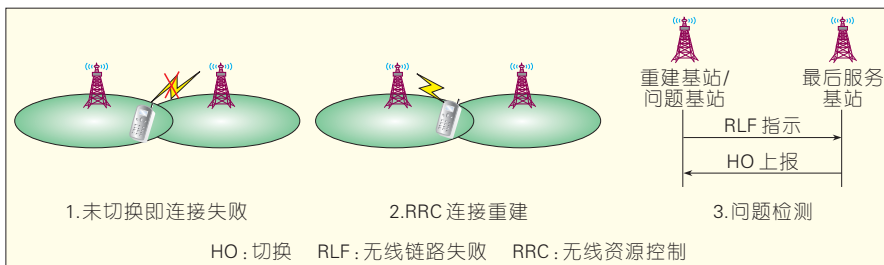
除了切换参数设置问题外,网络覆盖漏洞也可能导致UE连接失败,因此在进行MRO检测时,需要能区分出覆盖问题和参数设置问题。为此,在Rel-9和Rel-10阶段,分别引入和增强了UE测量上报机制,允许UE将连接失败前后的测量结果上报,以辅助对连接失败原因的判断^[5]。为了解决异系统间切换参数配置错误所导致的UE连接失败问题,在Rel-11阶段,MRO在已有Intra-LTE过早和过迟切换检测机制的基础上进行了扩展,支持了对异系统到LTE的过早切换和LTE到异系统的过迟切换的检测^[6]。

异系统间的非必要切换和乒乓切换虽然不会导致UE掉话,但是会引起大量核心网信令交互,造成不必要的信令开销。因此,相关问题的检测也先后在Rel-10和Rel-11阶段进行了标准化。

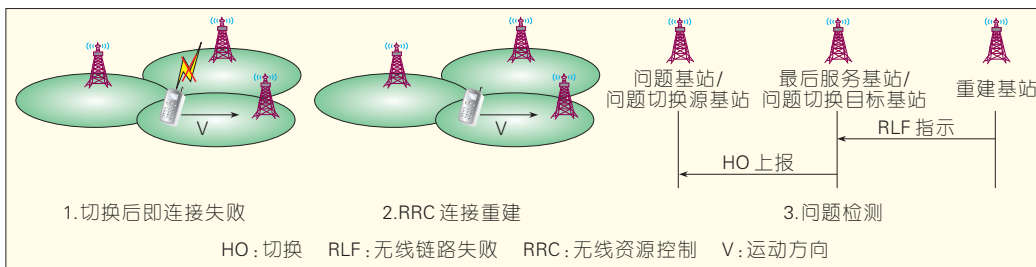
异系统间非必要切换指UE在LTE系统可以保持良好连接的情况下,被切换到其他系统。为了检测非必要切换,当UE从LTE小区切换到异系统小区时,目标小区需配置UE继续测量LTE频点的信号质量,如果



▲图3 过迟切换检测示例



▲图4 过早切换检测示例



▲图5 切换到错误小区检测示例

LTE 小区的信号质量满足预设门限，则可判定发生了非必要切换。

异系统间乒乓切换指 UE 从 LTE 系统切换到异系统后，在很短的时间内回切到 LTE 系统的情况。乒乓切换的检测基于在网络节点间传输的 UE 历史信息进行，UE 历史信息中记录了 UE 最近所接入的最多 16 个小区的标识以及在每个小区的停留时间。通过 UE 历史信息，在 UE 从异系统切入 LTE 小区时，目标 LTE 小区可以判断 UE 是否发生了乒乓切换。为了排除由于 LTE 系统覆盖漏洞引发的乒乓切换，可以配置 UE 在异系统小区内检测 LTE 小区的信号质量。

切换参数优化一向是移动通信网络优化的重点和难点，移动健壮性优化机制的引入将有助于对切换问题的自动分析和定位，提升网络优化

的效率。

2.3 自愈技术

自愈技术指 OAM 持续监测通信网络，一旦发现可以自动解决的故障，就启动对相关必要信息的收集，如错误数据、告警、跟踪数据、性能测量、测试结果等，并进行故障分析，根据分析结果触发恢复动作。自愈功能同时也将监测恢复动作的执行结果，并根据执行结果进行下一步操作，如有必要可以撤销恢复动作。

目前，在 LTE 规范^[7]中，标准化了两种自愈触发场景，一种是由于软硬件异常告警触发的自愈；另一种是小区退服触发的自愈。相应的，一些可用的自动恢复方法有：根据告警信息定位故障，通过软件复位或切换到备份硬件等方式，进行故障恢

复；调整相邻小区的覆盖，补偿退服小区的网络覆盖等。

现代移动通信网络设备种类繁多，一旦发生故障，排查起来费时费力。自愈功能可以自动、迅速地发现网络故障，并尝试恢复，降低对用户体验的不利影响。自愈对保障通信网络运行稳定性具有重要意义。

3 SON 技术发展趋势

SON 技术自 2007 年被引入 LTE 系统以来，经历了 Rel-8 到 Rel-11 4 个版本的标准演进，功能日渐丰富。但 LTE SON 的研究工作还远未完成，未来的标准化应朝 3 个方向发展：

(1) 功能需要进一步优化和完善

在标准化过程中，SON 还有一些遗留问题待解决。例如，对 HetNet 场景下广泛存在的乒乓和短时驻留问题，尚未确定解决方案；系统间 MRO 机制对 UE 从异系统到 LTE 的过迟切换，从 LTE 到异系统的过早切换，UE 从异系统切换到错误的 LTE 小区等问题，目前还尚未标准化。

(2) SON 的研究范围还

将延伸和扩展

随着 LTE/LTE-A 系统自身的演进，新技术和新场景的出现必然会对 SON 提出新的需求。例如，在即将开始的 Rel-12 阶段，小小区 (Small Cell) 技术将作为一个关键特性被引入，UE 将可能同时保持与宏小区和小小区的连接。小小区所带来的 LTE 系统网络拓扑的改变需要 SON 设计与之匹配的自配置机制；连接机制的变化需要 SON 的连接失败检测技术进行必要的增强。

(3) SON 的已有机制还有待现网的检验

除了自配置的部分功能外，SON 的其他大部分功能还没有经过商用网络的规模使用。随着商用网络的部署，SON 现有机制可能会暴露出各

➡下转第 12 页

自组织网络中的自优化技术与方法

Self-Optimization Technology

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0009-004

摘要: 文章介绍了移动通信网络的自组织网络(SON)技术;该技术使得网络设备可以自主部署、优化以及操作,从而能够降低网络运营开销、同时提升用户感知。文章重点讨论自优化方案,包括移动负载均衡方案、移动鲁棒性优化方案、随机接入信道(RACH)优化方案、节能优化方案。文章指出未来SON研究将会在新场景下的方案更新、无线接入技术间(Inter-RAT)场景考虑、节能方案的更新等领域进行深化。

关键词: 移动通信;自组织;自配置;自优化;自治愈

Abstract: In this paper, we introduce self-organization technology for mobile communication networks. This technology reduces the cost of equipment deployment, optimization, and operation yet does not affect service quality. We discuss self-optimization methods such as mobile load balancing, mobile robustness optimization, random access channel (RACH), and energy saving. In the future, SONs will be used in inter-RAT scenarios to address energy saving issues.

Keywords: mobile communication; self-organizing; self-configuration; self-optimization; self-healing

邵泽才/SHAO Zecai
陈亚迷/CHEN Yami

(中国移动通信有限公司研究院,北京
100053)
(China Mobile Research Institute, Beijing
100053, China)

世界上最大的GSM网络,也有数量众多的TD-SCDMA网络,并即将部署LTE等网络。

为了应对这些挑战,未来的网络运营应该充分利用网元设备自身的处理能力,尽量提高网络设备自身的自动化与智能化水平,将现有移动网络中网络维护经验和工具集成于统一的设备平台中,充分发挥网络的自主计算能力,减少甚至消除人工干预,最大程度降低网络运营的工作量和成本。

移动通信中的自组织网络是指自身能够探测周围环境信息并能够由此做出自主决策,并拥有自配置和自优化功能的通信网络,同时能够有效应对网络异常,它是解决未来网络维护工作,提高网络服务质量并大幅降低网络维护成本的一条有效途径。目前自组织网络主要在3GPP/NGMN等移动运营商和移动通信标准化组织中研究和标准化^[1],并主要基于LTE及LTE-A等版本进行讨论^[2]。

1.2 框架和内容

从功能上划分,移动通信中的自组织网络(SON)功能分为:自配置、自优化和自治愈3部分,功能部署框架则有集中式、分布式和混合式架构3种。

1 移动通信自组织网络

1.1 背景

未来的通信网络要求越来越高的性能、更低的故障率和更高可靠性以承载更为复杂的业务。可以预期未来的通信系统的规模和复杂度将越来越大。为了满足不同用户和不同业务的需要,多种网络制式并存和设备有多家供应商提供的情况会对网络维护方案提出新的需求。当前网络维护所面临的主要挑战有:

(1) 现有网络维护手段很难满足网络发展的需求。现有的移动网络维护内容和优化手段往往基于特定厂家特定制式的设备,通用性受限,

基金项目:国家科技重大专项
(2008ZX03-003-005)

不适合多厂家设备的同时维护,维护工具相互较为独立,不容易相互结合成统一平台,往往形成所谓的“信息孤岛”,同时人力物力投入巨大。

(2) 业务重点的转移对网络维护提出了更高的要求。无线网络上承载的业务不断推新。丰富的语音、数据、视频等综合业务正蓬勃发展,运营商维护的重点逐渐由“打造精品网络”向着“信息提供商转移”,后者要求网络维护的内容和手段有新的变化。尤其是进入移动互联网时代后,业务量的增加几乎以翻番指数级别增长,业务的种类和需求更加复杂,传统的业务假设出现偏差。

(3) 多种接入网络并存的移动网络发展趋势引发网络维护复杂度的显著提高。对中国移动而言,既有世

(1) 自配置

自配置指的是动态可插拔基站(eNB)的能力,基站可以自主配置其小区标识(PCID)、频点及功率,从而可以加快其启动效率。目前,自配置功能已支持S1/X2接口动态配置、PCID自动配置和自动邻区关系等,详细请参见文献[2]。目前该功能已基本在LTE Rel-8版本实现

(2) 自优化

顾名思义,指的是设备较为自主的完成常规的优化功能。包括自主的优化覆盖、切换、容量和干扰,包含移动负载均衡(MLB)、移动鲁棒性优化(MRO)、节能(ES)功能和随机接入信道(RACH)优化等方案,目前大部分已在LTE Rel-9完成,后续正在进行增强版本的讨论。

(3) 自治愈

自治愈即网络自主发现和处理故障的功能,目前大部分故障自动发现与修复和自动参数调整的功能在LTE Rel-10进行探讨,目前讨论的有方案有覆盖和容量优化(CCO)和最小化路测(MDT)。

2 自优化案例和方案

2.1 移动负载均衡

移动业务具有时间以及空间的不均衡性特征。空间的不均衡性表现在相同时间不同小区之间的负载差异可能较大,导致部分小区资源紧张引发过载阻塞,而另一部分小区的资源过于空闲、资源利用率低下,难以实现资源的有效配置和利用。随着移动应用的日益丰富以及移动蜂窝日益小型化,移动业务的空间不均衡特征将进一步加剧,给传统静态的小区选择以及静态的切换参数带来了巨大挑战。移动负载均衡的主要目标就是平衡移动业务的空间不均衡性。通过优化蜂窝网络的移动性参数以及切换行为,将过载小区的业务量分流到相对空闲的小区,平衡不同小区之间业务量的差异性,提升系

统容量。目前,3GPP的MLB方案同时支持LTE内部(Intra-LTE)以及无线接入技术(RAT)之间(Inter-RAT)的移动负载均衡(两种用户场景)。

SON MLB实现的功能架构如图1所示。图1主要包含负载报告、基于切换的负载均衡以及切换重选参数的调整3个功能模块。

(1) 负载报告

负载报告发起负载均衡的源小区和目标小区交换负载水平。其具体方式随下面的不同场景而不同:

- Intra-LTE 场景。通过X2接口交换,具体信息包括上下行的无线资源利用率、硬件负载指示、传输网络层(TNL)负载指示、可用于负载均衡的容量百分比以及小区相对容量指示(需要保证不同RAT之间相对容量的伸缩比例一致)。

- Inter-RAT 场景。通过S1接口交换,具体信息包括小区相对容量指示(需要保证不同RAT之间相对容量的伸缩比例一致)以及可用于负载均衡的容量百分比。

(2) 基于切换行为的负载均衡

基于切换行为的负载均衡发起负载均衡的小区向目标小区发起切换流程,目标小区对从源小区切换过来的UE执行负载均衡切换对应的接纳控制。

(3) 调整切换以及/或者小区重选的参数配置

调整切换以及/或者小区重选的

参数配置发起负载均衡的小区可以请求目标小区在操作管理维护(OAM)允许范围内改变切换以及/或者小区重选参数,以支持负载均衡的实现^[3]。

目前MLB方案对邻区资源可用性的考虑只考虑直接邻区,一般而言热点区域的范围会包含一个小区簇,为了防止产生局部拥塞等问题,可以对现有方案进行扩展,例如考虑邻区的邻区等。

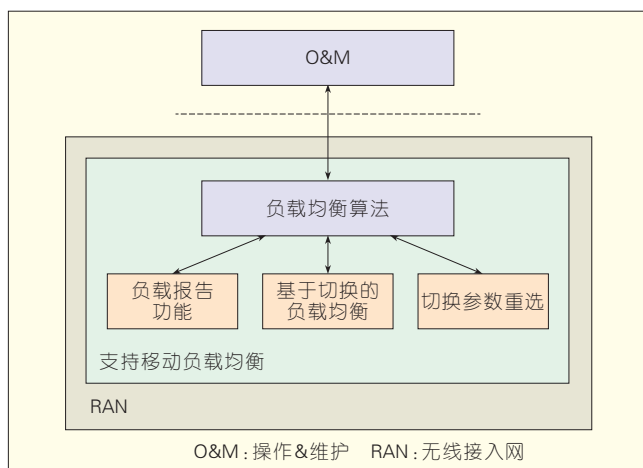
2.2 移动鲁棒性优化

当前的2G/3G系统中手动设置切换参数是一个十分费时的工作,不正确的切换参数设置会负面影响用户体验,例如会产生乒乓效应、切换失败和无线链路失败等。移动鲁棒性优化的主要目标就是减少与切换相关的无线链路失败的次数,提高网络资源的使用效率。Rel-9版本的MRO方案主要解决过早切换、过晚切换和切换到错误小区引起的无线链路失败(RLF)。

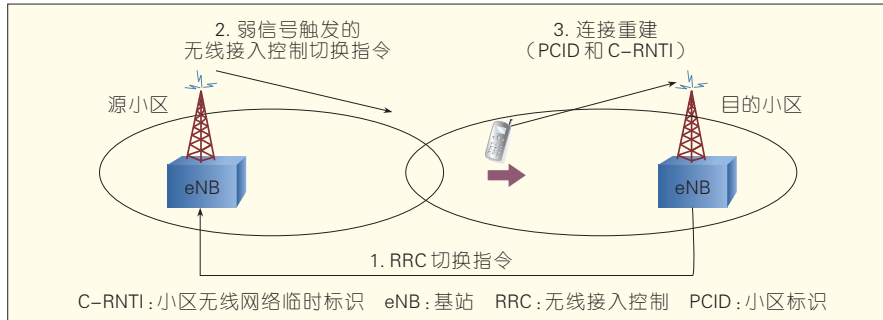
(1) 过晚切换方案

该场景中,源小区的切换过程启动得过晚,当服务小区发出切换命令时,信号强度太弱,从而到达不了UE,连接丢失。UE会在目标小区上发出连接重建消息,该消息带有源小区的PCID和小区无线接入网络临时标识(C-RNTI)等信息。目标小区将该事件通知源小区(通过RLF指示消

图1 SON负载均衡的功能架构



息^[4]),从而使源小区调整对应的参数。过晚切换的场景如图2所示。



▲图2 过晚切换的场景

(2)过早切换

该场景中,由于源小区启动切换时机过早,UE虽然能够成功接收到切换命令,但是由于切换时机启动太早,目标小区的无线质量不好,连接会中断。此时UE会在源小区启动连接重建消息,该消息携带目标小区的PCID和目标小区的RNTI等信息。源小区会向目标小区发送RLF指示消息,目标小区接收到该消息后,会检查其设置,从而确定该RLF是由于源小区发送的切换引起。因此目标小区会发送一个切换报告消息,告知源小区此切换为过早切换,源小区据此调整切换参数。过早切换场景如图3所示。

2.3 RACH优化

空闲状态下的UE接入网络时要首先申请RACH信道接入,RACH信道的设置会直接影响RACH的碰撞概率,从而影响接入和切换时延及上行失步带来的数据重传等,从而影响接入和切换成功率。同时,RACH资源的规划还会影响系统的总容量以及UE接入时产生的上行干扰。总之,RACH参数的优化是成功部署网络的重要因素。

影响RACH参数的主要因素有:

- 物理上行共享信道(PUSCH)的上行干扰
- RACH负荷
- PUSCH容量

RACH优化功能检测一些主要因素,例如RACH负荷干扰、上行干扰

等,从而计算并设置合适的RACH参数取值。RACH信道优化的主要目标是:降低UE接入时延、最小化RACH信道上行干扰、减少RACH尝试间的干扰。

RACH优化功能将会自动设置与RACH性能相关的几个参数,例如物理随机接入信道(PRACH)配置索引(资源单元分配和格式)、RACH前导拆分、RACH回退参数值、PRACH传输功率控制参数等^[5]。

2.4 节能优化

网络能耗在运营商运营支出占据重要比例,且随设备数量的增加而增长迅速。因此,提高运营商网络资源利用率、降低运营商网络能耗具有重要意义。目前,除了常规的提高功放效率和硬件效率外,节能优化方案的主要思路是当业务量降低时,在不降低覆盖和不影响UE的情况下,通过关闭不必要的网元或者资源调整等方式从而达到降低能耗的目的。

3GPP形成的主要小区开启/关

断方案包括基于OAM(网络操作、管理、维护)的方案、基于干扰噪声(IOT)的方案、基于UE测量的方案。

(1)基于OAM(网络操作、管理、维护)的方案。基础覆盖小区根据OAM的信息配置容量增强小区的负载周期,容量增强小区在此周期内自动关断,其余时间开启。

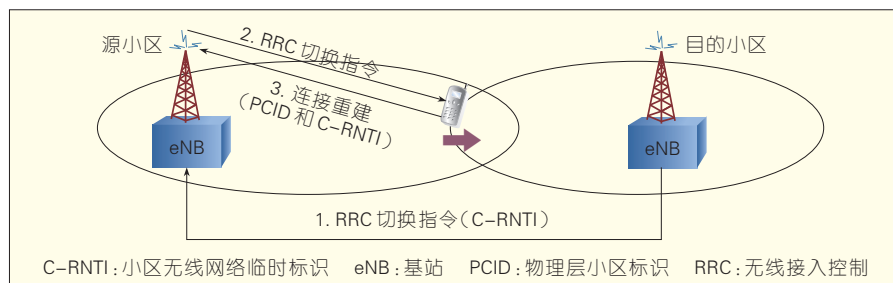
(2)基于IOT的方案。基础覆盖小区的负载超过一定阈值的时候,会通知部分容量增强小区进行IOT的测量。基础覆盖小区根据反馈的测量结果判断哪些容量增强小区需要开启。

(3)基于UE测量的方案,该方案也是目前探讨较多的方案。该方案中每个容量增强小区有3种状态:休眠状态(此时停止射频发射)、探测状态(此时小基站发射参考信号)和激活状态。方案工作流程是:

- 当基础覆盖小区业务量超过某个门限时启动层叠的容量增强小区进入探测状态。
- 容量增强小区进入探测态,下行发送参考信号。
- 基础覆盖小区向UE发送测量请求命令(根据UE的能力和容量增强小区的制式)。
- UE按照测量请求测量下行的参考信号然后反馈。

*基础覆盖小区根据UE测量的情况确定需开启的容量增强小区。

另外,除了小区关断方案外,小区内主要节能方案有调整多播广播单频网(MBSFN)及时分多址(TDD)特殊时隙资源等方案,在3GPP中有详细探讨,详细请参见文



▲图3 过早切换场景

献[6],预期ES功能的改进和增强版本将会继续进行更多的讨论。

3 未来工作

从概念的提出到标准化工作的推进,SON目前已经得到了主流设备商的支持,并且在LTE的第一个版本R8就已经实现。目前SON的基本方案已经较为成熟,但是随着需求的深入分析和更多新问题的出现,未来SON研究将会继续在如下领域进行深化:

(1)新场景下的方案更新

为了更好地迎接热点地区业务爆炸性的增长,小蜂窝基站的部署非常必要,目前标准化组织中正在讨论HetNet需求场景和方案,相信该部署场景也对SON提出了新的需求^[7]。

(2)Inter-RAT场景考虑

由于SON理念的先进性,以及兼容和漫游到的2G/3G网络的需要,2G/3G网络也需要在一定程度上支持SON的功能,甚至对已有的网络功能版本进行升级,兼容SON功能。

(3)节能方案的更新

由于可持续发展及绿色行动等节能减排项目的推进,节能减排为全社会所关注。Green Touch及EARTH等相关项目和组织^[8]的研究结论表明,绿色节能还有很大的空间。如何能够采用更节能的技术和材料,将会是持续不断的研究话题。

总之,SON有望成为运营商提高网络质量的利器,相信SON最终将会成为网络中必不可少的“基础设施”,为网络维护和网络优化工作带来巨大帮助。

参考文献

- [1] NGMN informative list of SON use cases [R]. NGMN (Next Generation Mobile Networks), 2007.
- [2] Self organizing networks: NEC's proposals for next-generation radio network management [R]. NEC Corporation, 2009.
- [3] 3GPP 36.423. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 application protocol (X2AP) [S]. 2011.
- [4] 3GPP 36.300. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description [S]. 2011.
- [5] 3GPP 36.902. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN);

Self-configuring and self-optimizing network use cases and solutions [S]. 2011.

- [6] 3GPP 36.927. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Potential solutions for energy saving for E-UTRAN(Release 10) [S]. 2011.
- [7] 3GPP 36.839. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Mobility enhancements in heterogeneous networks [S]. 2011.
- [8] GreenTouch [EB/OL]. [2012-09-08]. <http://www.greentouch.org>.

收稿日期:2012-11-09

作者简介



邵泽才,北京大学硕士毕业;现就职于中国移动通信研究院;主要研究领域为无线通信系统及其相关技术;已参与基金项目3项;发表论文5篇和申请专利3项。



陈亚迷,北京邮电大学硕士毕业;中国移动通信研究院项目经理;主要研究领域为绿色无线通信架构演进以及自组织的绿色通信节能技术;已发表论文5篇(全部被SCI/EI检索)、申请专利5项。

←上接第8页

种问题,还需要进行进一步的研究和完善。

4 结束语

为了满足人们对无线通信不断增长的需求,运营商不得不采用越来越庞大的无线通信系统,如不断增加的基站数量、共存的2G/3G/4G系统、HetNet引入的分层网络架构等,导致网络变得越来越复杂,巨大的管理工作和高昂的运维成本,使得采用SON技术成为LTE/LTE-A系统的一个必然选择。目前,3GPP在SON自配置、自优化和自愈方向上已经标准化了一系列的技术方案,其中部分技术已经在LTE现网中得到了应用和验证。未来随着LTE/LTE-A商用规模的扩大和SON标准工作的持续推进,作为LTE/LTE-A的一项关键技术,LTE SON将迎来更快更好的发展。

参考文献

- [1] 3GPP TR36.902. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-configuring and self-Optimizing Network (SON) use cases and solutions [S]. 2011.
- [2] 3GPP TS37.320. Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio measurement collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall description; Stage 2 [S]. 2011.
- [3] 3GPP TS36.300. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 [S]. 2011.
- [4] 3GPP TS36.423. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 application protocol (X2AP) [S]. 2011.
- [5] 3GPP TS36.331. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification [S]. 2011.
- [6] 3GPP TS36.413. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP) [S]. 2011.
- [7] 3GPP TS32.541. Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); Self-healing concepts and requirements [S]. 2011.

收稿日期:2012-11-06

作者简介



鲍炜,大唐电信科技产业集团无线移动创新中心工程师;长期从事无线移动通信高层关键技术研究及LTE标准化工作;已参与国家重大专项项目3项。



孙韶辉,大唐电信科技产业集团无线移动创新中心总工,北京航空航天大学兼职博士生导师;长期从事无线移动通信关键技术研究及LTE标准制订工作;已主持和参与国家重大专项项目10余项;已发表论文近40篇。



李国庆,大唐电信科技产业集团无线移动创新中心网络技术室经理;长期从事无线移动通信高层关键技术研究及LTE标准化工作;已参与国家重大专项项目5项;已发表论文近20篇。

LTE-Advanced 系统的网络自愈技术

Self-Healing Network in LTE-Advanced Systems

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0013-005

摘要: 文章认为 LTE-Advanced 网络自愈功能能够通过通过对现有网络运行数据的分析,自动、快速、准确地检测和定位网络故障,并进行修复或者补偿,可确保用户连续、高质量的进行通信。针对自愈技术中的中断探测和中断补偿技术,文章分别提出相应的解决算法:基于聚类算法的中断探测方法、基于遗传算法的中断补偿算法,随后文章仿真验证并分析了算法的正确性和有效性。

关键词: 网络自组织;自愈;中断探测;中断补偿

Abstract: In an LTE-Advanced network, the self-healing function detects and locates faults promptly, accurately, and automatically by processing network statistics. It can also recover or compensate for any breakdowns for consistent, high-quality communication. This article introduces outage detection, based on a clustering algorithm, and compensation based on a genetic algorithm. We simulate these algorithms to validate their purpose and efficiency.

Keywords: self-organizing network; self-healing; cell outage detection; cell outage compensation

LTE-Advanced 系统是 3GPP 长期演进 (LTE) 的进一步演进系统,采用更宽频段的传输和频谱共享,全面引入家庭基站和中继站,采用增强型的多输入多输出 (MIMO)、多点协作 (CoMP)、载波聚合等先进技术,从而引入了大量的参数和数据处理,这些将增加网络配置及优化的复杂度,提升网络运维的人工成本和经济开销。在这样的背景下,欧美主流高端运营商提出了网络自组织 (SON) 技术,从而实现网络自配置、网络自优化和网络自愈 3 个目标。

自愈是本文讨论的重点,也是 SON 三大组成部分 (自配置、自优化、

基金项目: 国家科技重大专项 (2011ZX03003-002-01)

自愈) 中最复杂的一点。3GPP 协议 TS 32.541 中描述了自愈功能,从 2009 年 5 月 Release 9 中 3GPP TS 32.541 V0.2.0 到 2012 年 9 月 Release 11 中 3GPP TS 32.541 V11.0.0,从 OAM (运维管理中心) 的自愈概念及需求一直到网络自组织中的自愈概念及需求,对中断的场景、自愈流程以及商业层级和协议层级的需求做出了循序渐进的完善^[1]。

1 自愈技术

自愈功能能够自动、快速、准确地检测和定位影响网络性能的故障,并进行自动恢复,以确保用户连续、高质量的进行通信。其目的是当发生小区中断时,通过快速的探测定

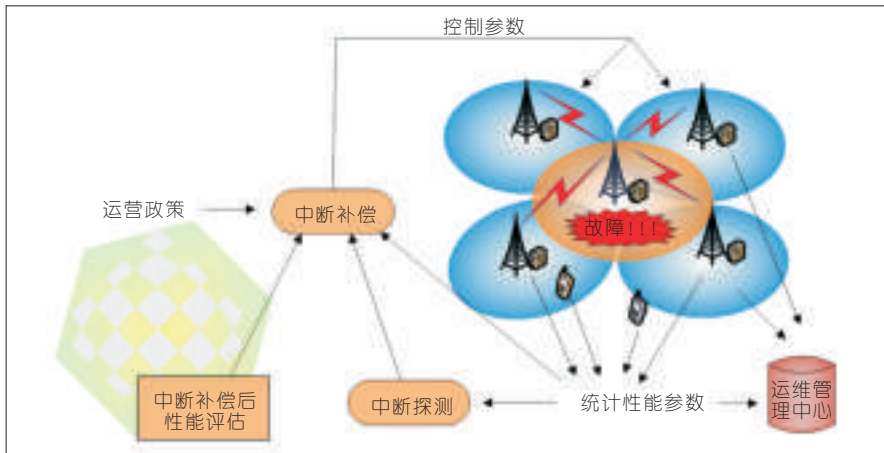
马昱/MA Yu
薛文倩/XUE Wenqian
彭木根/PENG Mugen
(北京邮电大学 无线信号处理与网络
实验室,北京 100876)
(Wireless Signal Process & Network Lab,
Beijing University of Post and Communication,
Beijing 100876, China)

位中断小区并通过小区中断补偿措施来缓解网络性能恶化。具备自愈功能的小区能独立或联合地调整无线参数及相关算法,使无线系统性能损失降到最低,同时还大大降低维护成本和人员投入^[2]。

可能导致小区中断的网络故障原因有很多,比如硬件和软件故障,网络连接失败,甚至是错误的配置参数都可能导致小区中断^[3]。

为了实现网络自愈,要求移动蜂窝网络具有小区中断探测和小区中断补偿两部分的功能。其中小区中断探测是自愈的基础和前提,小区中断补偿是自愈的核心和关键。一个自愈中断管理的场景如图 1 所示。

中断探测模块收集来自移动台 (UE)、基站 (eNodeB)、运维管理中心 (OAM) 的测量数据,对它们进行分析处理从而判断是否有小区发生中断;若有,则触发中断补偿功能,调整相邻基站的无线参数,以补偿中断用户恶化的服务质量。图 1 中的中间基站发生了中断,通过补偿算法,其相邻小区提高了覆盖,补偿了中断小区



▲图1 中断管理场景图

造成的覆盖漏洞。补偿后还需要对该区域进行实时监控并评估补偿后的网络整体性能,以保证达到补偿的目标,且尽量不对补偿小区中的原有用户产生过大的影响。

1.1 小区中断探测

小区中断探测机制在实施中首先需要收集来自 UE、eNodeB、OAM 等的测量信息,并提取能够准确判断小区性能中断的数据信息。中断探测收集参数过程如图 2 所示。假设 eNodeB₁ 发生了中断, UE₁ 是 eNodeB₁ 服务的一个用户, UE₂ 是 eNodeB₂ 服务的一个用户,它们均可以接收到来自服务小区和邻小区的信号。OAM 通过发现 eNodeB₁ 上报的用户参考信号接收功率(RSRP)突然下降,或者通过发现 eNodeB₂ 中的用户信道质量指示(CQI)突然升高,均可以判断 eNodeB₁ 可能发生了中断。图 2 中右侧描述了 UE、eNodeB、OAM 可以收集到的用以实现中断探测的参数。可探测和提取的数据信息并不是完备的,而无线网络的性能又是时变的,所以需要高效的小区中断探测方法在有限的探测信息前提下实现准确地小区中断探测。

1.2 小区中断补偿

小区中断补偿的目标是缓解中断小区的服务质量下降,通过自动调

整相邻小区的无线参数来达到运营商制订的补偿要求。通常是调整相邻小区天线的下倾角和方位角,或者发射功率^[4]。但是调整相邻小区的无线参数意味着对该区域的原有用户产生一定程度上的影响。运营商在制订补偿策略时,首先确定中断小区的补偿小区,以图 3 为例,为其内圈相邻小区,外圈小区虽然不会因为中断补偿机制调整无线参数,但性能会受到一定程度上的影响。具体的无线参数调整方案会因为不同的小区需求而发生变化。所以运营商在制订策略时,需要考虑每一个补偿小区的必要需求,中断区域补偿后覆盖和容量间的平衡,以及补偿小区性能下降和中断小区性能增强之间的平衡。

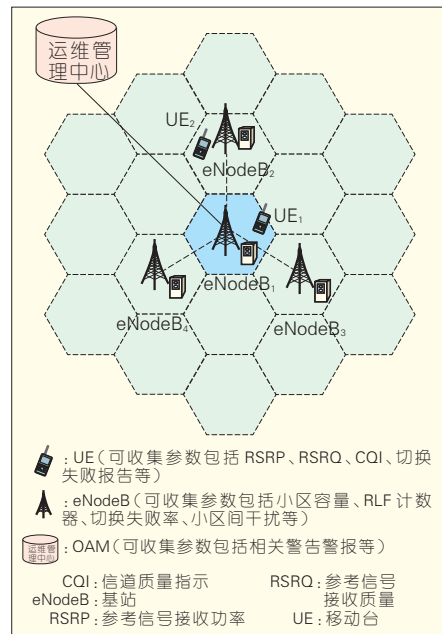
1.3 中断探测和补偿的评价机制

评价中断探测机制通常利用如下指标:

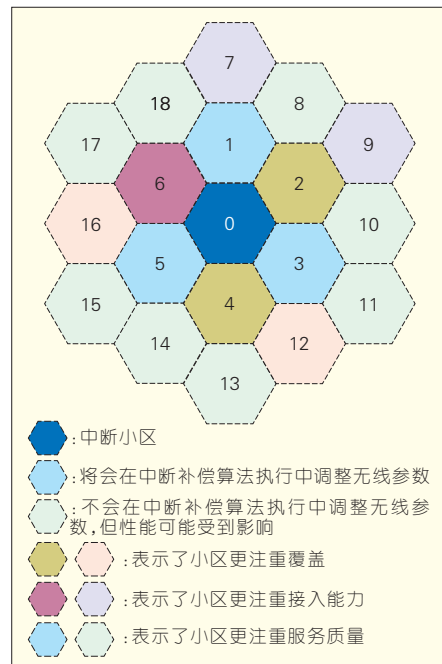
- 探测延时: $T_{detect} - T_{fail}$, 即中断发生了多久以后,中断才被探测到。
- 成功探测的概率: N_{detect} / N_{fail} , 即实际发生的中断次数中被正确探测到的概率。
- 错误探测的概率: $N_{false} / (N_{false} + N_{detect})$, 即探测到中断的次数中错误探测的概率。

评价中断补偿机制可以通过网络中的参数变化对比,比如系统容量、覆盖情况以及用户服务质量等。

图 4 所示为小区中断探测时间轴。中断前后性能比较如图 5 所示,为了评价中断补偿机制,我们通常定义 3 个阶段,以系统平均吞吐量为例,阶段 A 表示了没有发生中断时的系统平均吞吐量,阶段 B 和阶段 C 分别表示发生了中断之后不采用中断补偿机制,以及采用中断补偿机制以后的



▲图2 中断探测收集参数过程



▲图3 设置中断补偿机制时考虑的小区情况

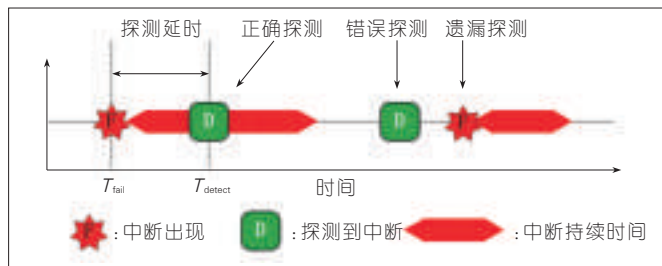


图4
小区中断探测时间轴

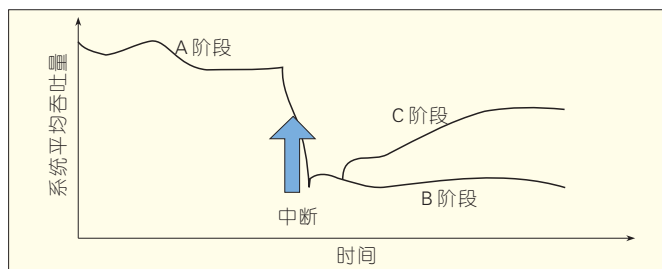


图5
中断前后性能比较

系统平均吞吐量。

2 中断探测与补偿算法

为解决中断探测和中断补偿两个问题,我们分别提出了基于聚类算法的中断探测算法和基于遗传算法的中断补偿算法,并对这两种算法进行了仿真评估。

2.1 基于聚类算法的中断探测方法

我们提出在中断探测算法中运用数据挖掘中的聚类算法,对触发A3事件的用户进行分类,根据分类结果以及各类中的用户分布判断侦听区域内有无中断并在中断发生时定位中断小区。我们提出了一种动态传播仿射(AP)聚类算法,是对传统AP聚类算法的改进^[9]。其基本思想是对AP算法引入决定了分类数目的偏向参数 p 的动态搜索范围,并基于聚类质量评价指标确定最优分类所对应的最佳 p 从而确定最优聚类分类数以及结果。图6为整个中断探测算法流程图,包括4个步骤:

(1)在网络的一个侦听区域(包含多个小区)中,OAM收集触发A3事件的各用户关键性能指标(KPI)参数以及相应位置坐标。

(2)将收集的用户KPI数据经过预处理后,作为动态AP聚类算法的

输入参数,并采用该算法对触发A3事件的用户进行最优分类。

(3)当最优分类对应的聚类质量评价指标小于设定门限时,说明触发A3事件用户数据的聚类可分性较差,即所有触发事件的用户性能没有明显差异,判断该侦听区域内没有发生小区中断;若聚类质量评价指标大于门限,表示聚类可分性较好,说明侦听区域中触发事件的用户数据间存在差异,判断该侦听区域存在小区中断,进入步骤(4)。

(4)提取所有触发A3事件的用户位置坐标,根据最优分类,将各类中的用户映射到网络侦听区域的小区拓扑中。若某类中有超过一定门限的数据点集中在同一小区中,则判断该小区为中断小区。

2.2 基于遗传算法的中断补偿算法

当一个小区发生中断时,需要通过调整相邻小区的无线参数来对中断用户进行服务,从而达到缓解中断用户服务质量下降的目的。假定中断区域的用户可以

接入到相邻基站,所要解决的问题是中断用户要接入到哪个基站,并且如何给中断用户分配资源块(RB)。假设不论是正常用户还是中断用户,每个用户分配到一个RB,初始每个RB上的发射功率相同。我们首先根据遗传算法将补偿小区的空闲RB分配给中断用户^[6]。由于中断用户离新接入的基站较远,所以要提高它们RB上的发射功率,以提高中断用户的吞吐量^[7]。具体中断补偿算法步骤如图7所示。流程图包括3个步骤:

(1)确定中断小区的补偿小区,所有未分配给用户的空闲RB作为候选,即将分配给中断用户。

(2)利用遗传算法将补偿小区的空闲RB分配给中断用户,目标是最优化小区平均吞吐量。

(3)根据步骤(2)的分配结果,在一定程度上为中断用户的RB提高发射功率。以每个补偿小区为单位进行调整。

3 仿真分析

中断场景具体仿真参数设置如表1所示。中断探测仿真场景设置如图8所示。设置扇区0(1)天线增益对比正常天线增益下降50 dBi,扇区4(1)天线增益对比正常天线增益下降100 dBi,用来表示两种不同类型

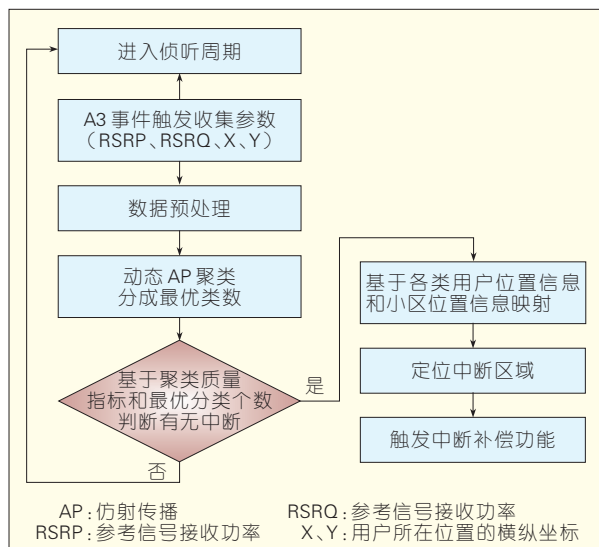
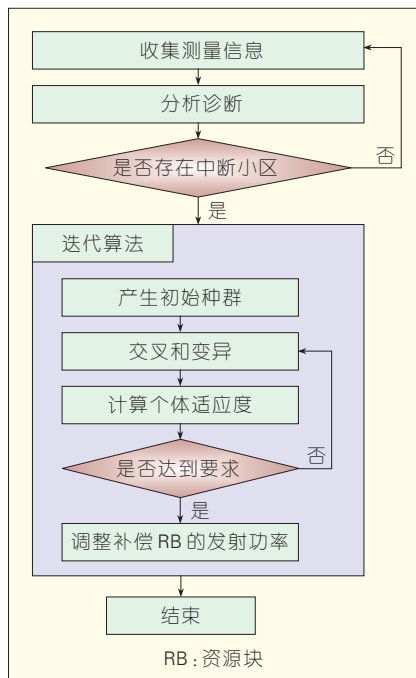


图6 中断探测算法流程



▲图7 中断补偿算法流程

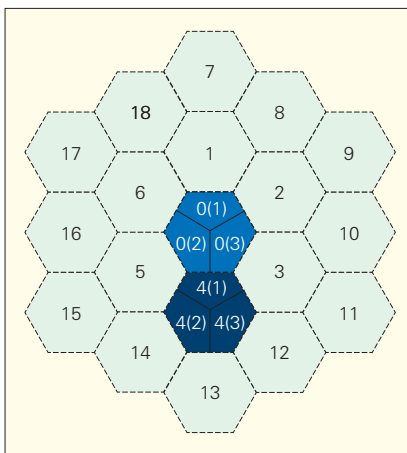
的中断小区。

利用基于聚类算法的中断探测方法,将一个侦听周期内的触发 A3 事件用户的 KPI 信息组成数据向量,基于动态 AP 算法对这些用户进行分类。图 9 为不同聚类数目下对应的聚类评价指标,由于我们选取的聚类评价指标值越大说明聚类质量越高,也就是意味着类内越紧凑,类间可分度越高,触发 A3 事件用户分为 3 类为最优。图 10 为将这些用户分为 3 类时的示意图,根据不同的分类提取用户位置坐标映射到网络拓扑中。触发 A3 事件用户分布图如图 11 所示。某两类的数据分别集中于两个小区内,而另一类数据则均匀分布在其他小区的边缘,进而定位了中断小区的位置,且区分了两种不同的中断小区。结果与图 8 所设定的仿真场景相符,说明通过该方法可以在无任何人工干预的情况下,准确地探测出侦听区域中的故障并定位。

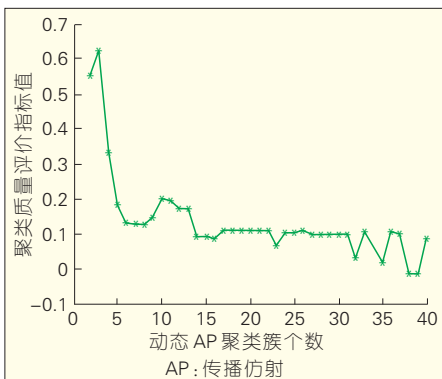
中断补偿的仿真场景如图 12 所示。为方便分析起见,我们设置中间小区为中断小区,通过该小区的相邻一圈小区对它进行补偿。按照基于

▼表 1 中断探测场景仿真参数设置

系统仿真参数	参数设置
仿真场景	市区宏小区
小区布局	19 个小区,3 扇区/小区
基站间距离	500 m
系统带宽	5 MHz
穿透损耗	20 dB
用户分布	均匀分布
路损模型	$L=128.1 + 37.6\log_{10}R$, R 的单位为 km
阴影衰落标准差	8 dB
最初小区选择标准	按位置接入
基站端总发射功率	46 dBm
切换门限	0.5 dB
切换触发时间	80 ms

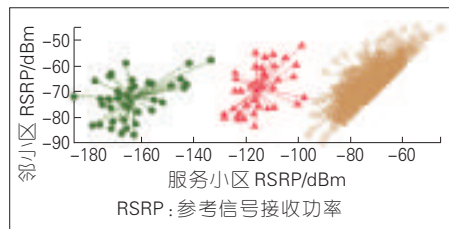


▲图 8 中断探测仿真场景

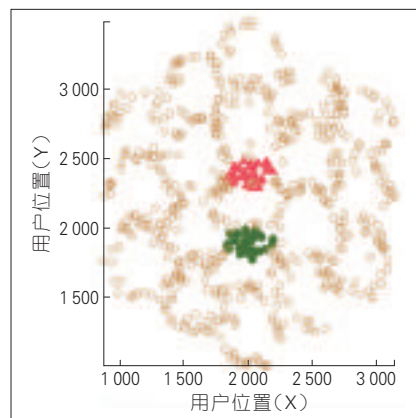


▲图 9 聚类质量评价指标曲线

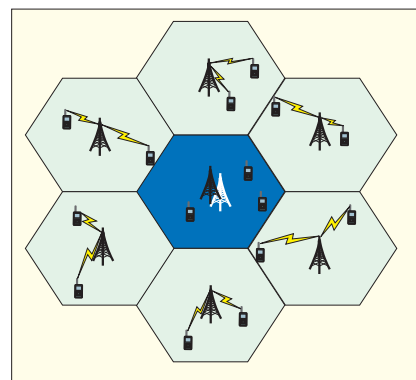
遗传算法的中断补偿方法的两个步骤,先利用遗传算法将补偿小区的空闲资源块 (RB) 分配给中断用户,之后调整这些 RB 上的发射功率。图 13



▲图 10 触发 A3 事件用户最优分类图



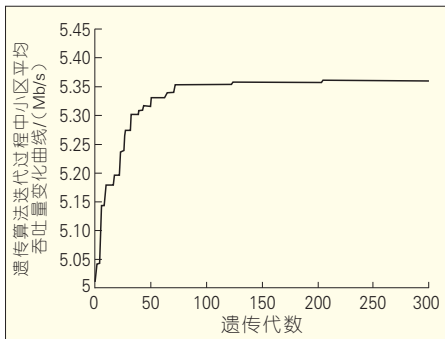
▲图 11 触发 A3 事件用户分布图



▲图 12 中断补偿仿真场景

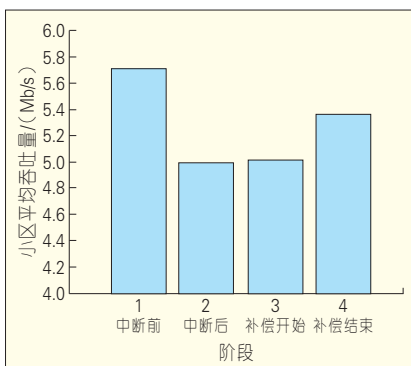
为我们所提的中断补偿方法的第一步,也就是利用遗传算法给中断用户分配 RB 的过程中,小区平均吞吐量的变化曲线。最开始小区平均吞吐量为 5.03 Mb/s,随着算法不断迭代,小区平均吞吐量逐渐稳定并增加到 5.36 Mb/s。这样证明了算法的第一阶段,也就是给中断用户分配 RB 的阶段,取得了网络整体性能的一个初步提升。

图 14 分别显示了 4 个阶段的小区平均吞吐量情况。阶段 1:没有发生中断时,所有小区正常运行,平均

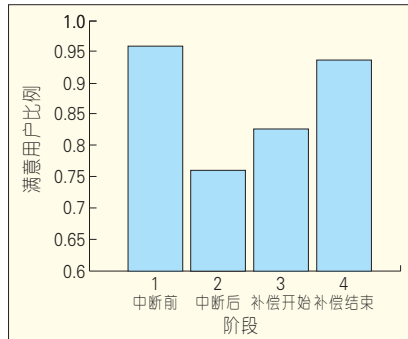


▲ 图 13 遗传算法迭代曲线

小区吞吐量大约为 5.72 Mb/s；阶段 2：发生小区中断，造成了很大区域的覆盖漏洞，在这个区域的所有用户均无法通过中断小区建立无线连接，所以此时的平均小区吞吐量下降到大约 4.97 Mb/s；阶段 3：当调整了周围小区天线下倾角以及一些相关控制参数后，所有中断区域的用户可以与邻小区建立无线连接，但是由于这些用户导致了更大的小区间干扰，所以在这个阶段，小区平均吞吐量只有细微的提升；阶段 4：在利用我们的小区中断补偿算法进行无线参数调整以后的小区平均吞吐量，对比阶段 2 有了明显的提升。我们换一个角度来评估该算法，利用由用户信干噪比定义的用户满意度。各阶段用户满意度比例如图 15 所示。当小区中断发生之前，满意的用户占整体的 96%。算法进行的最初，由于许多中断用户与补偿小区建立了无线连接，所以满意用户比例对比发生中断时有了大幅提高，达到了 83%。当补偿算法进行完毕时，满意的用户到达了 93%，几



▲ 图 14 各阶段小区平均吞吐量



▲ 图 15 各阶段用户满意度比例

乎与没发生中断时持平，说明利用该基于遗传算法的中断补偿算法，可有效缓解中断用户的服务质量，并且对补偿小区的用户造成了较小的影响。

4 结束语

本文给出了基于聚类算法的中断探测方法，对触发 A3 事件用户进行分类，根据各类用户的分布判断有无中断小区，仿真结果验证算法可以准确地探测定位中断小区并将不同的故障加以区分；并且根据中断补偿的特点，提出了基于遗传算法的中断补偿算法，利用遗传算法将补偿小区的空闲 RB 以最优方式分配给中断用户，进而调整每个 RB 上的发射功率以达到小区平均吞吐量最大，经过仿真验证该算法缓解了中断用户的服务质量下降并对补偿小区中的用户几乎不造成影响。自愈技术的研究仍处于较初级阶段，大部分工作停留在同构网络，随着 LTE-Advanced 系统与异构节点并存的复杂网络出现，应用场景和多媒体业务更加丰富，亟需提出更有效且复杂度较低的自愈方案和策略。

参考文献

- [1] 3GPP TS 32.541 V11.0.0. Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); Self-healing concepts and requirements [S]. 2012.
- [2] AMIRIJOO M, JORGUSESKI L, KÜRNER T, et al. Cell outage management in LTE network [C]//Proceedings of the 6th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS '09), Sep 7-10, 2009, Siena (Tuscany), Italy. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009:600-604.
- [3] SZILAGYI P, NOVACZKI S. An automatic

detection and diagnosis framework for mobile communication systems [J]. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2012,9(2): 184-197.

- [4] AMIRIJOO M, JORGUSESKI L, LITJENS R, et al. Cell outage compensation in LTE networks: Algorithms and performance assessment//Proceedings of the 73rd Vehicular Technology Conference (VTC-Spring' 11), May 15-18, 2011, Budapest, Hungary. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 5p.
- [5] FREY B, DUECK D. Clustering by passing messages between data points [J]. Science, 2007, 315: 972-976.
- [6] XIA Lingfeng, LI Wenjing, ZHANG Heng, et al. A cell outage compensation mechanism in self-organizing RAN [C]//Proceedings of the 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM' 11), Sep 23-25, 2011, Wuhan, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011:4p.
- [7] AMIRIJOO M, JORGUSESKI L, LITJENS R, et al. Effectiveness of cell outage compensation in LTE networks [C]//Proceedings of the 8th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference (CCNC' 11), Jan 9-12, 2011, Las Vegas, NV, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 642-647.

收稿日期：2012-11-02

作者简介



马昱，北京邮电大学在读硕士研究生；主要研究方向是无线网络自组织技术中的自愈技术。



薛文倩，北京邮电大学在读硕士研究生；主要研究方向是无线网络自组织技术中的自愈技术。



彭木根，北京邮电大学教授、博士生导师，IEEE 高级会员，北京市科技新星，教育部新世纪优秀人才，首届优秀青年基金获得者，首届青年科学家“973”子课题负责人；长期从事时分双工 (TDD) 无线网络信息理论、协同网络编码、无线网络自组织技术、TDD 高性能无线传输和组网技术、TD-SCDMA 及增强演进系统的传输和组网增强技术的研发工作；已发表学术论文共 180 余篇，其中 SCI 学术期刊论文 38 篇。

自组织无线网络中的移动负载均衡技术

Mobility Load Balancing Techniques in Self-Organizing Networks

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0018-003

摘要: 文章认为基于人工进行的网络优化方法难以适应未来网络发展需要,为此 LTE 系统引入了自组织网络技术。自组织网络技术涉及网络部署、运行的各个环节,其中移动负载均衡技术是自组织网络技术的一个关键技术。移动负载均衡技术通过用户在不同小区之间的切换实现负载的转移,从而实现负载的均衡分布,提高网络性能。针对很多移动负载均衡算法没有考虑用户的服务质量(QoS)要求,文章介绍了一种保证 QoS 要求的移动负载均衡算法。

关键词: 自组织网络; 移动负载均衡; 切换

Abstract: Artificial network optimization does not adequately allow networks to adapt to future developments. In this paper, we introduce self-organizing network (SON) technology in LTE systems. SONs are involved in all aspects of network deployment and operation, and mobility load balancing is a key technology in an SON. The load can be transferred by switching users between different cells. In this way, MLB can distribute the load in a balanced way and can improve network performance. In this paper, a QoS-guaranteed MLB scheme is introduced in detail.

Keywords: self-organizing networks; MLB; handover

潘志文/PAN Zhiwen

尤肖虎/YOU Xiaohu

(东南大学移动通信国家重点实验室,南京, 210096)
(National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096)

由于无线应用对无线网络速率、带宽的要求越来越高,无线网络的规模越来越大,并且同一运营商可能同时运行多个网络,如 GSM、WCDMA、LTE 宏站,以及它们的小站,从而形成异构网络,使得网络结构越来越复杂、网络参数众多,并导致网络参数之间错综复杂的相互关系,由此造成网络部署、运维、排障的复杂度指数式上升。同时,由于在传统的网络中,网络部署、运维、排障等基本上都是人工的方式(如路测、用户反馈而进行),显然,需要投入大量

的人力,将带来巨大的运行成本。根据市场调查公司 Infonetics Research 的分析报告^[1],各大运营商的运营成本基本上都占各自收入的 70%。并且,随着无线网络的发展,依靠人工的方式越来越难以实现网络的最优化。因此,亟待一种技术能够帮助运营商解决复杂网络的优化复杂性问题,降低运维成本相对总收入的比例,提高设备使用效率。自组织网络技术的出现正是为了降低网络规划、部署、维护、排障、优化的成本,使运营商能高效运营、维护网络,在满足客户需求的同时,自身也能够持续发展。

自组织网络是由下一代移动网络(NGMN)联盟中的运营商主导,联

合主要的设备制造商,提出了自组织网络的概念^[2-3]。自组织网络包括自配置、自优化、自愈合等 3 个方面,涵盖网络规划、部署、维护、优化和排障等各个环节,并定义了相应的用例。自组织网络的概念提出以来,3GPP 一直在 LTE 和 LTE-A 的框架中积极推动相关的标准化工作^[4-5]。目前,3GPP 完成了 R8、R9、R10、R11 中自组织网络的标准化工作,为相关技术的商用打下了标准基础。由于自组织网络技术的显著优势,目前,已经引起了广泛的关注,并将它推广到其他网络,如移动通信系统陆地无线接入网(UTRAN)、无线局域网(WLAN)中,正在进行相应的标准化工作,将在新的版本中进行应用。

自组织网络中的自优化技术是指网络设备初始配置完成,网络进入运行阶段后对网络参数的自主、自动优化,以使网络处于最优状态,充分发挥网络的性能。自优化技术包括如容量与覆盖的优化、网络节能、干扰协调、移动负载均衡、移动性优化、随机接入优化等,并且,随着研究和标准化工作的深入,自优化技术所包

基金项目: 国家科技重大专项
(2011ZX03003-002-02、
2012ZX03003-010-002)

含的内容将进一步扩展到其他方面。本文仅讨论其中的移动负载均衡技术。

1 负载均衡的基本概念

负载通常定义为被占用的资源与所有可用的资源之间的比值。在无线网络中,由于用户分布的不均匀,导致不同小区中业务量因负载分布的不均匀而形成的不均匀。负载分布的不均匀使得不同小区中无线资源的利用率不均衡;繁忙小区中由于负载较重,无线资源非常紧张,难以接纳新的呼叫,甚至难以保证已有用户的服务质量(QoS)要求;而空闲小区中由于负载较低,未使用的无线资源较多,无线资源利用率很低,造成无线资源的浪费。因此,为了保证无线资源的合理使用,提高运营商承载业务的能力,需要通过一定的方法改变负载的分布,使得负载在各小区中基本均匀分布,避免出现过忙或过闲小区,即实现负载均衡。

2 移动负载均衡的基本算法

由于负载的不均匀分布对网络性能影响很大,负载均衡问题自蜂窝移动通信系统出现以来就一直受到研究人员的关注,并提出了各种解决方法。

一类较常用的负载均衡算法是基于无线资源管理的负载均衡算法^[6-9]。在这类方法中,基于小区负载分布,在多个小区之间联合进行无线资源的自适应调度,从而保证不出现高负载小区。文献中已有大量相应算法。比如,繁忙小区通过“借用”空闲小区或信道资源池中的空闲信道,从而实现无线资源的最优利用的算法。这类算法在GSM和3G系统中应用比较多。另一类是基于切换的,即移动负载均衡算法^[10-13]。在这类方法中,将繁忙小区中的服务用户通过切换,转移到空闲小区中去,或通过适当的接纳控制算法,使新接入用户接入到空闲小区,从而实现负载在各

小区间的均衡分布。图1为移动负载均衡示意图。其中,小区A为繁忙小区,小区B、小区C为空闲小区。小区A由于负载较高,需要将部分用户切换到小区B或小区C中,从而实现负载在各小区之间的均衡分布,避免出现高负载小区。

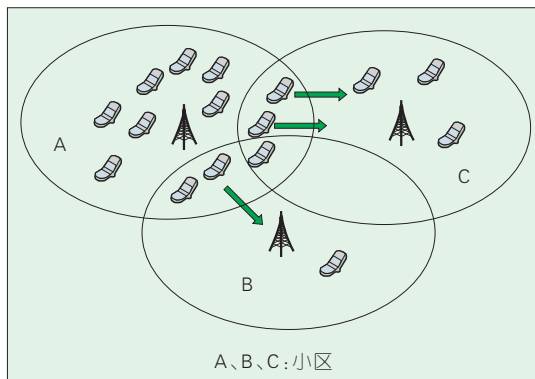
自组织网络中采用第二类负载均衡算法,即移动负载均衡算法。在移动负载均衡算法中,需要通过用户的切换来实现负载的转移,从而实现负载均衡。因此,用户的切换机制是移动负载均衡算法的核心内容。在用户切换机制上,主要包括基于强制切换和基于切换参数调整的机制。

2.1 基于强制切换的移动负载均衡技术

正常情况下,用户是否应该发生切换是需要依据一定的准则来进行判断的^[14]。只有满足相应的条件,才允许用户进行切换。而在基于强制切换的移动负载均衡技术中,为了实现负载从繁忙小区到空闲小区的转移,不论用户是否满足切换条件,都会将用户切换到目标小区中去。这种强制切换由于以实现负载均衡为目标,没有考虑移动性的优化,可能会带来较高的无线链路失败率、切换失败率、乒乓切换概率,导致切换性能的下降。因此,为了提高负载均衡算法的性能,并保证移动性的性能,待切换用户的选择是这类算法中的一个重要问题。这类算法的优点是能较快地实现负载均衡,并且由于能对待切换用户进行选择,因此,可以实现比较精确的负载控制。因此,这类算法是移动负载均衡技术的一个重要的发展方向。

2.2 基于切换参数调整的移动负载均衡技术

在这类移动负载均衡算法中,和



▲图1 移动负载均衡示意图

正常切换技术一样,需要对切换参数进行调整,以便于用户的切换,实现负载均衡。但是,由于负载均衡算法的目标是有利于用户的切换,而移动性优化的目标是实现切换的鲁棒性,并不完全一致,因此,可能导致对切换参数的调整方向不一致,从而导致移动负载均衡技术和移动性优化技术之间存在冲突。因此,在这类移动负载均衡技术中,与移动性优化技术的协调,成为需要解决的一个重要问题。这类算法的一个缺点是,由于只是基于对切换参数的调整来实现用户的切换,对满足切换条件的用户都将进行切换,并且在进行切换参数的调整时,难以根据负载情况进行参数调整,因此,难以实现负载转移的精确控制。

3 一种保证用户QoS要求的移动负载均衡算法

目前,针对移动负载均衡技术的研究已经较多。但是,很多算法都没有考虑用户的QoS要求。本文介绍一种能满足用户QoS要求的移动负载均衡算法。

考虑如图2所示的网络模型。

在这个网络中,有两类用户:常速率(CBR)用户,用来模拟保证速率(GBR)业务;尽力而为(BE)用户,用来模拟非GBR用户。因此,用户 k 在第 i 个小区中时,其第 l 个物理无线资源块(PRB)上的信干噪比(SINR)可写成:

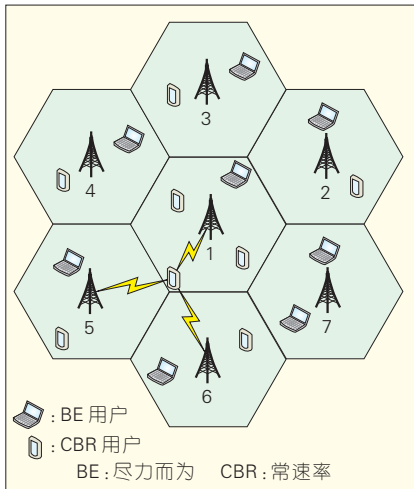


图2 网络模型

$$SINR_{i,l,k}(\tau) = \frac{g_{i,l,k}(\tau)p_{i,l}(\tau)}{N + \sum_{j \neq l} g_{i,l,k}(\tau)p_{j,l}(\tau)} \quad (1)$$

其中 $g_{i,l,k}(\tau)$ 、 $p_{i,l}(\tau)$ 分别为在 τ 时刻从 i 小区到用户 k 的信道增益和信号发射功率, N 为噪声功率。

在 $[t-1, t]$ 间隔中, 用户 k 的带宽效率为:

$$e_{i,k}(t) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \int_{t-1}^t \log_2(1 + SINR_{i,l,k}(\tau)) d\tau [\text{bps/Hz}] \quad (2)$$

其可达速率为 $R_{i,k}(t) = w_{i,k}(t)e_{i,k}(t)$, 其中 $w_{i,k}(t)$ 为所获得的带宽。

定义负载:

$$\rho_i(t) = \frac{s_i^c(t)}{s_i(t)} = \frac{\sum_{k \in C} I_{i,k}(t)w_{i,k}(t)}{s_i(t)} \quad (3)$$

其中分子, 分母分别为占用的无线资源和总的无线资源数, $I_{i,k}(t)$ 表示用户 k 与小区 i 的连接关系。当取 1 时表示有连接, 为 0 时表示没有连接, 并且用户只与一个小区连接。

定义 GBR 用户的负载均衡指标:

$$\zeta(t) = \frac{(\sum \rho_i(t))^2}{|N| \sum (\rho_i(t))^2} \quad (4)$$

其中 $|N|$ 表示小区数量。因此, 对 GBR 用户来说, 目标是要实现负载均衡指标的最大化。定义非 GBR 用户的网络效用函数:

$$\psi(t) = \sum_{i \in N} \sum_{m \in B} U_m(I_{i,m}(t)R_{i,m}(t)) \quad (5)$$

其中 $U_m(\cdot)$ 是单个非 GBR 用户的效用函数, 可根据情况进行定义。因此, 对非 GBR 用户来说, 是要实现网

络效用函数的最大化。

因此, 可建立以下的保证 QoS 要求的移动负载均衡最优化模型:

$$\max[\zeta(t), \psi(t)]^T \quad (6)$$

约束条件包括:

$$\sum_{k \in K} I_{i,m}(t)W_{i,k}(t) \leq s, \forall i \in N \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N} I_{i,m}(t) = 1, \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} I_{i,k}(t)R_{i,k}(t) \geq \theta_k, \forall k \in C \quad (9)$$

对这个多目标优化问题直接求最优解复杂度很高, 因此, 往往寻求次最优解。该次最优解可分解成若干个步骤, 以保证负载均衡的优化和 QoS 要求。限于篇幅, 本文不详细描述具体过程, 具体可参见文献[15]。

为了验证算法的性能, 对有关指标进行了仿真研究。图 3 为不同算

法下的阻塞率比较。图 4 为不同算法下非 GBR 用户 5% 吞吐量的性能。从图 3、图 4 中可以看出, 提出的负载均衡算法具有明显的性能优势。

4 结束语

自组织网络技术经过几年的发展, 已经不仅仅是停留在标准和研究阶段的新技术。随着算法的日渐成熟, 以及运营商对运维成本控制越来越严格, 自组织网络特性成为新建 LTE 网络的必备选项和 LTE 设备的标准配置。因此, 它必将拥有广阔的应用前景。另一方面, 自组织网络中的关键技术, 如移动负载均衡技术等, 还会随着自组织网络技术向其他网

下转第 30 页

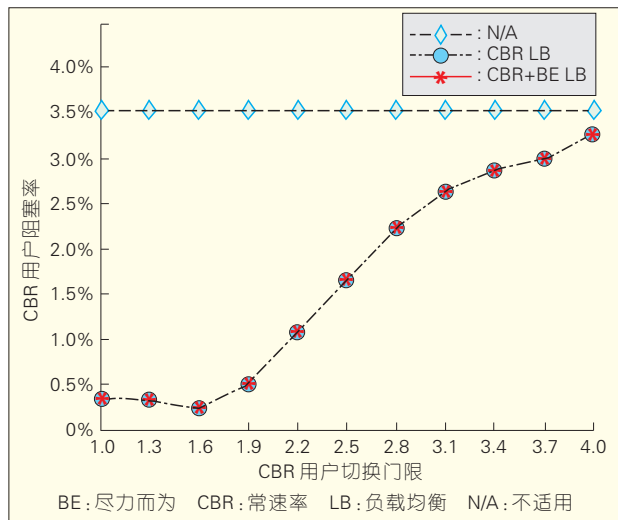


图3 不同算法的阻塞率比较

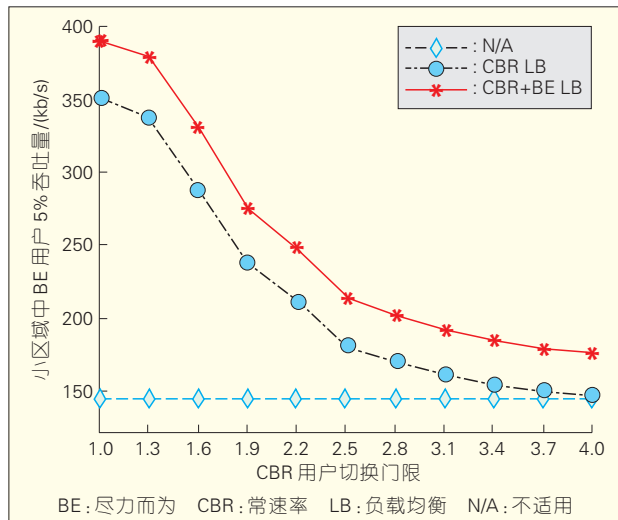


图4 不同算法下非 GBR 用户 5% 吞吐量性能

异构网中移动鲁棒性优化技术 仿真研究

Simulating Optimal Mobility Robustness for Heterogeneous Networks

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0021-005

摘要: 文章通过大量的仿真实验找出异构网场景中具体的移动鲁棒性问题, 进而有针对性地给出解决方案。仿真中通过同构网和异构网场景中的移动鲁棒性性能比较, 发现异构网场景中移动性参数应根据切换的对象不同, 进行相应的参数匹配; 仿真中通过异构网场景中设置不同的参数配置发现, 在选择合适的移动性参数时应综合考虑移动鲁棒性性能和系统开销。

关键词: 异构网; 移动鲁棒性; 移动性参数; 切换; 无线链路失败

Abstract: In this paper, we run a large number of simulations to find problems with detailed mobility robustness in heterogeneous networks. We also provide solutions to such problems. After comparing mobility robustness in a heterogeneous network with that in a homogeneous network, we found that the mobility parameters in a heterogeneous network should be selected according to different switching targets. By setting different mobility parameters in heterogeneous network simulation, we found that the trade-off between mobility robustness and system overhead should be taken into account.

Keywords: heterogeneous network; mobility robustness; mobility parameter; handover; radio link failure

金圣峒/JIN Shengyao

陈琛/CHEN Chen

胡宏林/HU Honglin

(上海无线通信研究中心, 上海, 200335)
(Shanghai Research Center for Wireless
Communications, Shanghai 200335, China)

常更新等原因, 无线链路失败仍然会发生, 而无线链路失败的发生将严重影响用户体验。如何通过动态的小区间移动参数调整, 来减少链路失败的发生, 保证移动鲁棒性是一个重要的研究问题, 已经被列入了SON的工作议题^[1]。

随着数据速率需求的日益增长, 传统的宏蜂窝覆盖的组网形式已经不能够满足业务要求, 在传统的宏蜂窝小区引入低功率节点提供热点覆盖可以有效地解决宏蜂窝覆盖存在的问题, 同时能够使得运营商以更低成本提供更高数据速率的业务^[2]。LTE-Advanced的工作重点之一就是室内和热点场景进行优化。

1 移动鲁棒性优化

移动鲁棒性优化(MRO)是LTE标准化研究中的一个功能实体。在现有2G/3G系统中, 人工调整切换相关参数设置是一项非常耗时的工作, 在很多情况下, 初始配置后移动性参数更新的消耗非常大; 并且, 在单个的无线资源管理中检测移动性问题和调整参数并不能很好地解决问题,

随着通信技术的快速发展, 蜂窝移动通信网络也进行了全面的改进, 一方面网络性能得到大幅的提升, 另一方面网络参数更加复杂, 网络结构多层次化, 这给网络运营维护带来了挑战^[1]。对于网络运营商来说, 在使用新技术的同时, 如何降低基础设施建设费用以及网络运营费用, 是一个巨大的挑战。国际电联在文件中的明确定义^[2], 接入网络的高度自配置、自优化和自愈是IMT-Advanced系统的一个重要设计

目标。在这一背景下, 下一代移动通信网络(NGMN)组织和第三代合作伙伴计划(3GPP)先后提出了自组织网络(SON)的具体需求, 并正在LTE/SAE系统中开展标准化的制订工作。希望通过在网络部署和运营过程中引入自动化调整机制, 减少人工干预, 从而降低基础建设费用和网络运营费用。

通过网络规划和集中式的覆盖管理, 蜂窝移动通信网络能够提供连续的覆盖。但是即使存在连续的覆盖, 由于移动终端的移动轨迹、移动速度变化多样, 以及小区之间的移动参数配置由于物理环境变化需要经

基金项目: 国家科技重大专项(2012ZX03001-029-004); 科技部中芬国际合作项目(2010DFB10570)

需要基站之间相互协调。错误的切换参数设置所导致的乒乓效应,切换失败(HOF)和无线链路失败(RLF)会影响用户体验和消耗网络资源。

切换是移动鲁棒性技术研究中非常重要的通信过程。一般情况下,若无线链路环境在触发时间(TTT)内一直满足A3事件不等式,则触发测量上报过程,源小区根据测量结果做出切换判决,然后开始切换^[6],因此,可以认为A3事件不等式即为如下切换条件:

$$M_n > M_s + Hyst_s - CIO_{s,n}$$

其中, M_n 为用户接收到的当前服务小区信号强度; M_s 为用户接收到的邻小区信号强度; $Hyst_s$ 为用户当前服务小区迟滞因子; $CIO_{s,n}$ 为用户当前服务小区与邻小区之间的小区独立偏置。迟滞因子与邻小区无关,小区独立偏置是指向邻小区的单向切换参数,针对不同的邻小区独立设置。

MRO优化的主要目标是减少与切换相关的无线链路失败,其次是减少不必要的切换次数。具体可以分成4种情况:过晚切换、过早切换、切换到错误小区和不必要切换。

(1) 过晚切换

终端从源小区A向邻小区B移动过程中,如果切换参数设置不合理,如 $CIO_{s,n}$ 设置偏小,则从源小区A向邻小区B切换到条件偏苛刻。在切换之前或切换过程中,源小区A的信号强度已经很低,导致终端发生RLF,之后,终端又重新与邻小区B建立连接^[6]。

(2) 过早切换

终端从源小区A向邻小区B移动过程中,如果切换参数设置不合理,如 $CIO_{s,n}$ 设置偏大,则从源小区A向邻小区B切换到条件偏宽松。切换触发时邻小区B的信号强度还很低,在切换到邻小区B后的短时间内用户发生无线链路失败,之后,用户与源小区A重新建立连接,则认为发生过早切换。

(3) 切换到错误小区

终端从源小区A向邻小区B移动过程中,用户首先切换到邻小区B,由于切换参数设置不合理,因此在切换后很短时间内发生RLF,之后,用户邻小区C重新建立连接,则认为发生错误切换。

(4) 不必要切换

对于网络操作来说,切换是一个非常消耗资源的过程,并且,优化的参数设置要想发挥功效,也必须依赖于时刻变化的无线链路环境,这样的协调过程,对人工操作的要求极大。有时,终端的移动性模式和小区覆盖设置会产生频繁的不必要切换,从而浪费网络的资源。反之,错误的切换参数配置可能会遗漏那些应该发生的切换过程,错过最佳的切换时机。

由于未来将会部署大量低功率节点,为了研究同时存在宏小区和微小区的异构网场景中可能出现的移动鲁棒性问题,3GPP提出了异构网场景的仿真建模假设^[7-9],并通过大量的仿真结果来评估异构网场景中移动鲁棒性问题的严重性。

2 仿真建模

2.1 网络拓扑

为了发现大范围异构网络场景中可能存在的移动鲁棒性问题,我们参照文献[7]采用了如图1所示的仿真拓扑图。具体的仿真拓扑配置参数如表1所示。仿真区域为图中虚线框范围内,移动终端初始时随机选择移动方向,并沿着此方向匀速直线运动直到到达仿真区域边界,到达仿真区域边界后,移动终端将随机选择一个方向反弹,然后继续匀速直线运动。

为了研究系统在不同的移动性参数的配置下的系统移动鲁棒性性能,文献[7]给出了5种仿

真配置。

2.2 移动性模型

为了对异构网场景下的移动性性能进行评估,需要采用RLF的标准和过程来判断切换失败,在建立切换失败模型之前,文献[7]将切换过程分为3个状态:

状态一:满足A3事件之前。

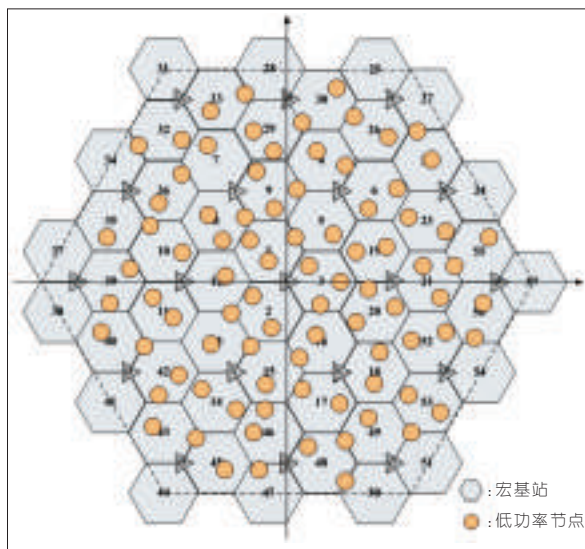
状态二:满足A3事件之后,但是在终端成功接收到切换命令之前。

状态三:终端接收到切换命令之后,但是在终端成功发生切换完成消息之前。

当RLF发生在状态一和状态二时,将被统计为切换失败。当RLF发生在状态一,并且有其他的合适小区可供用户选择,则我们可以认为这是由于切换参数不匹配,进而造成的切换失败。

在状态二中,当终端连接在源小区时,如果以下任一条件满足,我们将统计为切换失败:当终端接收切换命令时,T310定时器被触发或者仍然在进行;RLF条件满足。

在状态三中,当终端连接到目标小区之后,如果以下条件满足,我们将统计为切换失败:当切换执行时间结束,目标小区下行宽带信道质量指示(CQI)低于失步门限。



▲图1 仿真拓扑图

▼表1 无线参数配置

类别	宏小区	微小区
基站间距离	500 m	—
大尺度衰落模型	宏小区模型 1	微小区模型 1
站点数/小区数	19/57	1
基站天线增益	15 dB	5 dB
终端天线增益	0 dBi	0 dBi
阴影衰落标准差	8 dB	10 dB
阴影衰落相关距离	25 m	25 m
阴影衰落相关性	0.5(小区间)/1(扇区间)	0.5(小区间)
天线模型	3D 模型	全向
载频/带宽	2.0 GHz/10 MHz	2.0 GHz/10 MHz
基站发射功率	46 dBm	30 dBm
穿墙损耗	20 dB	20 dB
天线配置	1x2	1x2
低功率节点之间的最小距离		40 m
宏基站和低功率节点之间的最小距离		75 m
宏终端与宏基站之间的最小距离		35 m
低功率节点服务的终端与低功率节点的最小距离		10 m

乒乓切换是不必要切换中的主要研究对象。切换之后终端在新建立连接的小区所停留的时间将被作为判断是否是乒乓切换的主要标准,停留时间具体可以从终端成功发送切换完成消息到小区 A 和到小区 B 这段时间。如果终端从小区 B 切换到小区 A 之后,又从小区 A 切换回小区 B,并且终端连接到小区 A 的停留时间小于门限值,在文献[7]中,被判断为乒乓切换。

2.3 仿真结果及分析

2.3.1 异构网和同构网移动鲁棒性指标比较

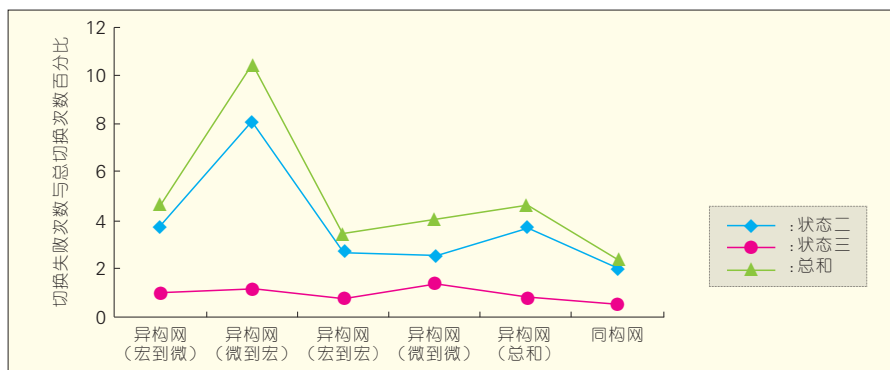
在表 2 中的仿真配置 3 下,我们对同构网和异构网中系统移动鲁棒性性能进行仿真比较。在仿真中,切换失败对系统性能的影响主要看切换和切换失败的发生频率。如果切换很少发生,即使切换失败率很高,切换失败对系统的影响仍然有限。另一方面,如果切换的频率和切换失败的频率较高,那么对系统的影响将会很严重。因此,时间因子应该在仿真性能评估中考虑。如图 2 和图 3 所

示,我们可以得到系统切换相关指标,单位分别为切换失败次数与总切换次数的比值(HOF/HO)和切换失败次数与终端数的比值(HOF/UE)。

从图 2 中可以看出,就 HOF 指标

▼表2 移动性参数配置

类别	配置 1	配置 2	配置 3	配置 4	配置 5
终端速度/(km/h)	30	30	30	30	30
小区负载/%	100	100	100	100	100
TTT/ms	480	160	160	80	40
A3 偏置/dB	3	3	2	1	-1
L1 到 L3 的周期/ms	200	200	200	200	200
参考信号强度过滤参数	4	4	1	1	0
切换准备时延/ms			50		
切换执行时间/ms			40		



▲图2 同构网和异构网的切换失败指标

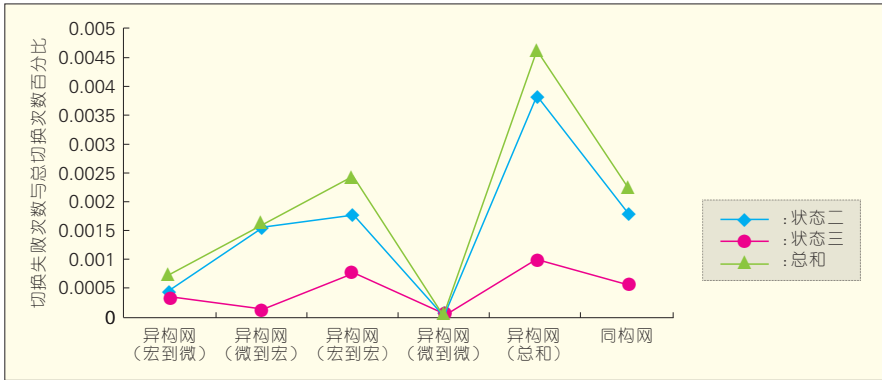
而言,异构网的性能相比同构网要差一些,尤其是异构网中微小区到宏小区的 HOF 指标相对于同构网来讲要差的更多一些。因此我们有必要针对异构网中微小区到宏小区的切换性能进行深入研究,进一步提高异构网中的切换性能指标。

从图 4 和图 5 中可以看到,就乒乓切换相关指标而言,即短暂停留率和短暂停留率与终端数的比值,异构网的性能均比同构网要差。乒乓切换的频繁发生将会大大增加系统不必要切换的次数,进而大量增加系统的信令开销,如何减少异构网中乒乓切换的发生,提高异构网的移动鲁棒性,也是未来需要研究的课题之一。

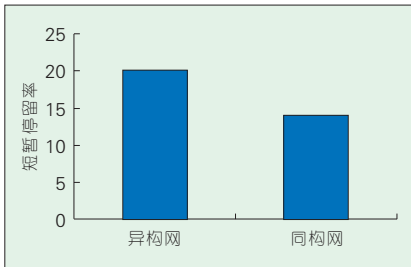
2.3.2 异构网中不同移动性参数下移动鲁棒性性能比较

为了研究在不同的移动性参数配置下,异构网的移动鲁棒性性能的变化趋势,我们参照表 2 的移动性参数配置进行了仿真。

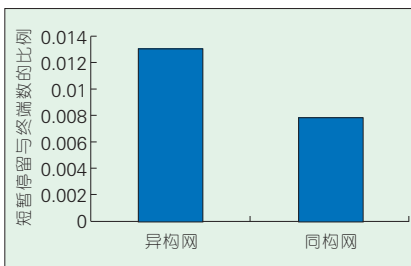
从图 6 中可以看出,在配置 5 中,



▲ 图3 切换失败次数与终端数的比值指标



▲ 图4 短暂停留率指标



▲ 图5 短暂停留率与终端数的比值指标

由于移动性参数相对其他配置而言比较宽松,因此切换比较容易发生,切换尝试次数有比较明显地增加。从图7可以看出,由于配置1的移动性参数非常苛刻,切换不容易发生,造成了大量的过晚切换,终端不能及时的在信号强度变差前切换到合适的小区,进而发生了RLF。随着移动性参数的逐渐宽松,配置4的RLF指标为5个配置中最低。在配置5时,由于移动性参数过于宽松,会造成一些终端过早切换,进而切换到不合适的小区。

从图8中可以看出,微小区到微小区的HOF指标最高,这是因为在仿真中低功率节点随机部署,造成了大

量的微小区不连续覆盖,使得HOF指标相对升高。可以观察到,从微小区到宏小区的HOF指标也相对较高,主要原因是终端离开微小区时,信号强度衰落比较快,移动性参数配置中的TTT计时相对较长,进而导致终端不

能及时从微小区切换到宏小区,造成大量的过晚切换。

3 解决方案

从上面的仿真结果可以观察到,在异构网场景中移动性鲁棒性问题比较严重的主要有4个方面,我们将给出初步的分析和解决思路。

(1)微小区到宏小区的切换失败率较高

由于在仿真中所有小区间都设置相同的移动性参数,而这些参数主要是针对宏小区到宏小区之间切换而设置的,因此在异构网场景中,必须针对不同的切换对象,如微小区到宏小区或者宏小区到微小区设置相匹配的移动性参数,进而降低系统的切换失败率,优化移动鲁棒性性能。

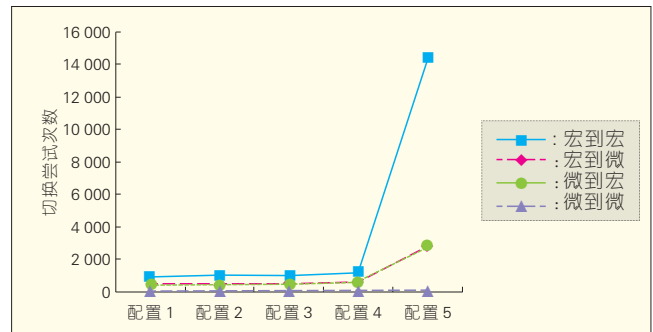


图6 切换尝试次数

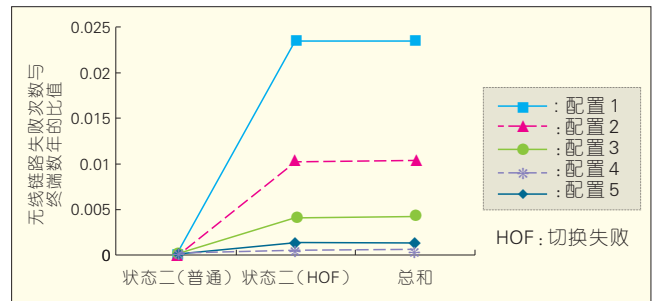


图7 无线链路失败与终端数的比值指标

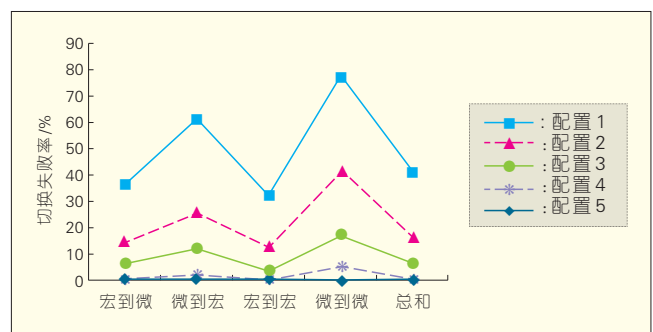


图8 异构网在不同配置下的切换失败指标

(2)在仿真配置1的条件下,RLF和HOF相关指标很差

由于仿真配置1的移动性参数相对比较苛刻,因此造成大量终端切换时机较晚,如果适当地调节移动性参数,例如调整到仿真配置4,则系统的移动鲁棒性将会得到较大的提升。

(3)在仿真配置5的条件下,切换尝试次数很高

由于仿真配置5的移动性参数相对比较宽松,因此造成大量终端发生过早切换,一些本不该发生切换的终端在此配置下也发生了切换。虽然在此配置下的RLF和HOF相关指标可以接受,但由于系统的切换尝试次数大大增加,导致系统的信令开销非常大。综合来看,应该在优化移动鲁棒性的同时,考虑系统开销的因素。

(4)在RLF相关指标中,状态二(HOF)占的比例非常高

由于大量的切换失败是因为终端不能接收到源基站的切换命令,所以终端将继续进行T310计时,直到发生RLF或者链路质量恢复,从图7可以观察到,发生切换失败后,链路质量恢复的比例非常小,大部分的终端最终发生了RLF,进而进行无线链路重建。而T310计时时长为1s,也就意味着终端从切换失败到无线链

路重建将等待较长时间。我们可以通过设置新的计时器,使得终端尽早进行无线链路的重建,进而提高用户体验。

4 结束语

移动鲁棒性优化已经成为蜂窝移动通信网络中的重要研究课题之一,在未来新的网络场景中,我们要深入研究传统优化方案的有效性,针对新场景的特点,对传统方案进行修正和改进,进而使得新场景中移动鲁棒性性能仍然可以控制在可接受的范围之内,使得终端可以在不影响服务质量和体验的条件下,享受高速度业务带来的无尽快乐。

参考文献

- [1] HU Honglin, ZHANG Jian, ZHENG Xiaoying, et al. Self-configuration and self-optimization for LTE network [J]. IEEE Communications Magazine, 2010, 48(2):94-100.
- [2] ITU-R M. 1645. Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond [S]. 2000.
- [3] 3GPP TR36.902 V9.3.1. Self-configuring and self-optimization network use cases and solution [S]. 2011.
- [4] Enhanced inter-cell interference coordination challenges in heterogeneous networks [J]. IEEE Wireless Communications Magazine, 2011, 18(3):22-31.
- [5] 王华, 李鲁群, 王力. LTE-A中基于准入控制的切换决策算法 [J]. 计算机工程, 2011, 37(5): 88-90.

- [6] 余建涛, 胡宏林, 金圣峯, 等. 移动负载均衡与移动鲁棒性优化的冲突协调 [J]. 计算机工程, 2012, 38(1): 37-41.
- [7] 3GPP TR36.839 V11.0.0. Mobility enhancements in heterogeneous networks [S]. 2012.
- [8] 3GPP TR36.814 V9.0.0. Further advancements for E-UTRA physical layer aspects [S]. 2010.

收稿日期:2012-11-06

作者简介



金圣峯,英国肯特大学硕士毕业;中科院上海微系统所助理研究员;从事网络自组织自优化研究;已主持基金项目2项;已发表论文3篇,参与编写专著2本,申请发明专利18项,向国内外标准化组织提交提案42篇,其中12篇被通过。



陈琛,安徽大学通信与信息系统专业在读硕士研究生;现在上海无线通信研究中心实习;从事智能网优通用仿真平台的开发和移动鲁棒性技术的研究。



胡宏林,中国科技大学博士毕业;中科院上海微系统与信息技术研究所研究员、博士生导师;从事下一代移动通信技术的研究及国际标准化工作;已编著英文专业书籍4部,中文书籍1部;已发表SCI论文30余篇,获专利授权10余项。

综合信息

中兴通讯 EPC 产品再次凸显业内领先地位

【本刊讯】2012年1月14日消息,国际知名咨询公司 Current Analysis (CA)发布的LTE核心网(EPC)产品评估报告显示:中兴通讯核心网EPC产品在架构、功能以及性能等方面综合测评表现出色,处于业界领先水平。

此次CA对包括中兴通讯、阿朗、思科、爱立信、诺西在内的多家主流电信设备商的EPC产品进行了多维度的评估,中兴通讯不仅获得EPC综合测评最佳评价,其LTE/EPC网络控制面网元MME,由于采用先进增强型架构(ATCA),具有极高的容量与集成度,能满足移动宽带网络高速增长需求,在此次评估中表现也尤为突出,性能超越众多其他设备商。

2012年,部署中兴通讯分组核心网的奥地利H3G网络,连续两年被欧洲知名通信行业期刊《CONNECT》评为德语区最佳网络,为中兴通讯分组核心网的品质做了最好的诠释。

中兴通讯核心网产品总裁刘建华表示:“中兴通讯强大的研发实力,是我们打造高性能产品和高品质网络的基石,未来我们将一如既往地坚持创新求精的理念,成为LTE/EPC领域中运营商最佳合作伙伴。”

截至2012年第4季度,中兴通讯EPC产品已在全球广泛商用,其中商用合同超过35个,试验网络超过100个,同Vodafone、KPN、Telenor、AM等主流运营商展开全面合作。

异构自组织网络中的干扰管理机制研究

Managing Interference in Self-Organizing Heterogeneous Networks

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0026-005

摘要: 文章认为异构网发展迅速、应用广泛,但其网元之间的相互干扰始终是阻碍其进一步发展的重要“瓶颈”,因此是蜂窝自组织网络中的重要研究方向。文章指出无线局域网和家庭基站二者业务互补、应用场景重合,因此可通过二者的联合资源调度来规避干扰,从而有效提升异构网络的容量以及对各类用户的业务保障能力。

关键词: 异构网络;家庭基站;干扰管理;服务质量;资源分配

Abstract: Heterogeneous networks (HetNets) have been developing rapidly, and the number of HetNet applications have increased markedly. However, the interference between network elements is still a bottleneck, HetNets is a hot topic in the study of cellular self-organizing networks. In this paper, we suggest that WLAN and femtocell should be applied together in the same practical scenarios and complement each other. Combining WLAN and femtocell is a natural and feasible approach to reducing the interference and enhancing QoS in HetNets.

Keywords: heterogeneous networks; femtocell; interference management; QoS; resource allocation

王亮/WANG Liang

盛敏/SHENG Min

张琰/ZHANG Yan

(西安电子科技大学综合业务网国家重点
实验室,陕西西安 710071)
(State Key Lab of Integrated Service Networks,
Xidian University, Xi'an 710071, China)

随着移动通信技术的发展,特别是第4代蜂窝移动通信系统(LTE-Advanced)的提出,如何支持更高速率以满足日益增长的数据业务和多媒体业务对网络的需求成为移动通信网络需要迫切解决的问题。在蜂窝移动通信系统中除了增加传输带宽,采用高阶调制和多输入多输出(MIMO)技术外,另一个有效途径就是缩小接收机和发送机之间的距离,因此支持自组织中继的蜂窝系统(Picocell)、毫微微基站(Femtocell)、

基金项目: 国家自然科学基金(61172079、61201141);国家重点基础研究发展(“973”)规划(2009CB320404);国家科技重大专项(2011ZX03003-002-02、2012ZX03004-002-003)

中继基站(Relaycell)等新型网络结构与技术也就不断涌现,从而构成多个接入节点共存且覆盖范围和传输能力不同的异构网络(HetNets)^[1]。然而,多层次网络结构的变革以及同一地理位置多网元间的相互干扰给网络设计人员也带来了许多新的挑战。

1 异构网络中的干扰问题及分类

HetNets中干扰产生的原因主要有以下4点:

(1)低功率接入点的无规划布设,使得宏站不能获得这些节点的相关信息,进而通过增加功率来覆盖原有用户,从而对低功率接入点产生较

大干扰。

(2)一些接入点采用限制接入方式,使得处于该小区覆盖下的用户只能接入其他小区,从而产生相互间的干扰。

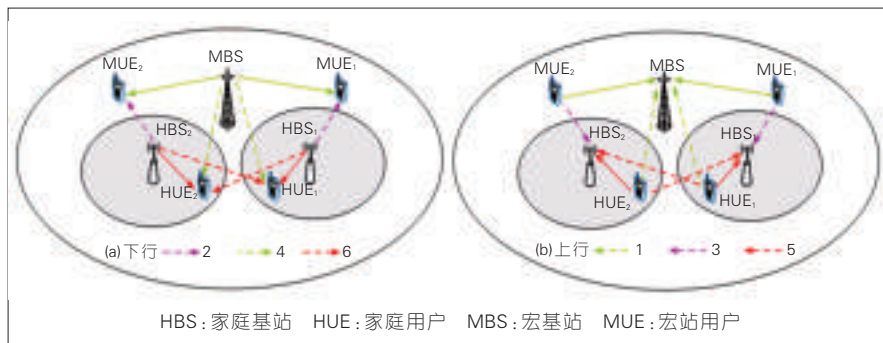
(3)接入点间的发送功率不同,导致不同接入点的覆盖范围不同,处于覆盖边缘的用户会受到不同接入点以及其他边缘用户产生的干扰。

(4)当某些接入点处于覆盖扩展状态时,会对其周围的其他接入点和用户会产生干扰。

而HetNets中的干扰主要又可分为两类:层内干扰和层间干扰。层内干扰指的是同类网元之间存在的干扰,如家庭基站(HBS)间的相互干扰;而层间干扰是指不同类网元之间的干扰,如宏基站(MBS)和家庭基站之间的相互干扰。同时,从干扰链路的种类又可分为上行干扰和下行干扰。LTE中MBS和HBS上下行干扰场景如图1所示,左图为下行干扰场景,右图为上行链路传输干扰示意。

2 现有的干扰管理机制

针对传统干扰问题,虽然3GPP Release8和Release9提出并细化了小



▲图1 LTE中MBS和HBS上下行干扰场景

区间干扰协调(ICIC)技术,但是该技术没有充分考虑HetNets场景,可能不能有效地解决HetNets中各层之间相互的强干扰问题。为此3GPP Release10中提出了增强小区间干扰协调(eICIC),也纳入了蜂窝自组织网络的重要用例,该方法主要可以分为三大类^[1]:

2.1 时域技术

时域技术指的是在时域资源上调度被干扰链路的传输从而消除干扰,主流方案是进行子帧对齐:当HBS和MBS相互干扰时,HBS将划分出一些几乎空子帧,让受干扰的宏站用户(MUE)使用。此外,HBS可根据干扰情况设定几乎空子帧(ABSF),从而有效地避免层间干扰。

2.2 频域技术

频域技术通过为不同网元(HBS和MBS)划分正交的频率资源来实现干扰消除。频域正交化可以采用静态分配方式或者根据受害用户(UE)探测来动态实现,然而这也大大降低了网络的频率复用因子,从而造成了整体网络性能的损失。

2.3 功率控制技术

功率控制方式分为开环功率设定和闭环功率设定。在开环功率设定中,HBS仅根据预先设定的系统参数和自身的测量结果调整发送功率;在闭环功率设定中,HBS通过与MBS协同调整发送功率。HBS也可将二

者结合起来采用混合模式功率设定。功率控制的目标有多种,如以家庭用户(HUE)的信号与干扰噪声比(SINR),或MUE的SINR。

在上述3类方法中,因为频率技术不能够实现全频率空间复用,且功率控制受不同的传播环境和信道条件的影响,实现起来比较复杂,所以时域技术被视为当下主流方法干扰规避方法。文献[3]给出了采用时域、频域和功率进行干扰管理时的性能比较。

上述均是干扰协同技术,即在不同的自由度上,通过调度使得相互干扰的信号相互正交,从而消除干扰。除此之外,一些新技术的引入也为干扰管理提供了新的手段,如认知技术、干扰消除和干扰对齐技术等。

2.4 认知技术

具有认知无线电(CR)^[4]功能的HBS可以根据已有的频谱感知技术来获得相关资源块(RB)的使用情况,进一步结合已有的干扰协同技术,如时域和频域技术,来动态地规避网元间的相互干扰。文献[5]采用认知技术来获得MBS的RB使用情况在Femtocell中仅使用空闲的RB来减轻层间干扰,同时通过策略型博弈来减轻层内之间的干扰。该方案通过等效容量的概念来保证统计时延的同时在Femtocell中获得有效的频谱资源利用率。文献[6]中提出认知干扰管理方案,通过认知技术确定安全和受害用户,再基于该用户分组来分

配时频块和传输机会来避免干扰层间和层内干扰,从而提升边缘用户的吞吐量。

2.5 干扰消除技术

除了传统的干扰消除方法如串行干扰抵消、并行干扰抵消等方法以外,一些新型编码方式的引入,如“脏纸”编码等,可以使得受干扰用户在接收信号中主动消除干扰从而获得有用信号。该类方法往往需要已知信道信息以及相关的发送消息信息

2.6 干扰对齐技术

干扰对齐的思想是设计发送信号,使其在非目的接收机处对齐到一个维度上,而在目的接收机处可以明显区分开来。但是干扰对齐的实现较为困难,当有多个非目的接收机时,将干扰对一个非目的接收机对齐并不能保证干扰对其他非目的接收机对齐。文献[7]在蜂窝系统中提出采用有限维度将干扰在多个非目的接收机处对齐的方法。在具有多个移动终端时,该方案不需协同也能够获得没有干扰时的自由度。文献[8]针对下行多天线蜂窝系统提出一种仅需小区内反馈信息的干扰对齐方案,在有一个干扰特别强时该方案能够获得很大增益。文献[9]在时分双工的蜂窝系统上行链路中提出基于机会的干扰对齐方案,它不需要全局的信道信息。

综上所述:不同的干扰管理方案在是否需要MBS协同、适合处理的干扰类型、适合的接入模式、复杂度和传输模式都存在差异。表1对所陈述的6种干扰管理方案进行了总结。

3 利用蜂窝与Wi-Fi共同组网来规避干扰

针对HetNets中存在的层间干扰和层内干扰问题,上节中所述的干扰管理机制仅关注于MBS和HBS二者之间的相互协调或HBS自身来处理相应的干扰问题。然而,随着蜂窝网

▼表 1 不同干扰管理方案比较

方案	宏基站与家庭基站协作	处理干扰类型	需要的信息类型	接入方式	复杂度	传输模式
时域技术	较少	层间层内	资源块占用情况	开放, 封闭	低	上下行
频域技术	较少	层间层内	资源块占用情况	开放, 封闭, 混合	低	下行
功率控制	适中	层间	信道信息	开放, 封闭	高	下行
认知技术	极少	层间层内	无	混合, 封闭	中等	下行
干扰消除	较多	层间层内	信道信息 码本信息 消息内容	封闭	高	下行
干扰对齐	较多	层间层内	信道信息 干扰信息	封闭	高	上下行

络和WLAN互补特性的不断显现,在HetNets中已经出现将Femtocell和无线局域网(WLAN)融合来为用户提供更好业务体验的趋势。

3.1 Wi-Fi 的业务优势

Wi-Fi能够提供宽带高速率的传输,成为数据传输的理想网络。随着智能移动终端的不断涌现,每个用户可以享受多种多样的业务,相应的传输速率也不断提高,而现有移动通信系统以及4G系统在保障用户不断增长的业务需求方面仍然需要进一步提高。目前较多的运营商将数据业务转向Wi-Fi侧,充分发挥Wi-Fi的特长,体现了异构网络的优势。

3.2 Femtocell 的业务优势

Femtocell是为了进一步增加蜂窝系统信号覆盖提高系统容量而提出的,和宏蜂窝MBS相比,Femtocell(在3GPP中称为家庭基站)容量小、安全、功率管理更加有效、部署简单且无需复杂的频率规划,能够有效地补充覆盖宏蜂窝的盲点。此外随着Femtocell的应用场景的发展,从传统的家庭、小型办公室到企业公司,甚至是热点地区。

3.3 Femtocell 与 Wi-Fi 的融合趋势

为了充分发挥Wi-Fi和Femtocell的各自优势,关于Femtocell和Wi-Fi的融合也成为蜂窝移动通信行业一

个重要的发展趋势。Cisco公司在2010World Mobile Congress大会上指出运营商采用收费频段和免费频段联合调度将会获得最优的成本,同时Cisco认为Wi-Fi和Femtocell的融合是一个强强组合,具有很大的优势。PicoChip公司和InterDigital公司在World Femtocell Summit 2011大会上发布了他们联合开发的基于3GPP Release 7 HSPA+的3G Femtocell和基于IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi的融合设备的Demo。该设备能够根据信道条件、负载内容以及用户喜好在Wi-Fi和Femtocell之间进行业务的分流和合并以及切换。Ubiquisys公司认为未来的Femtocell应该具有自组织的

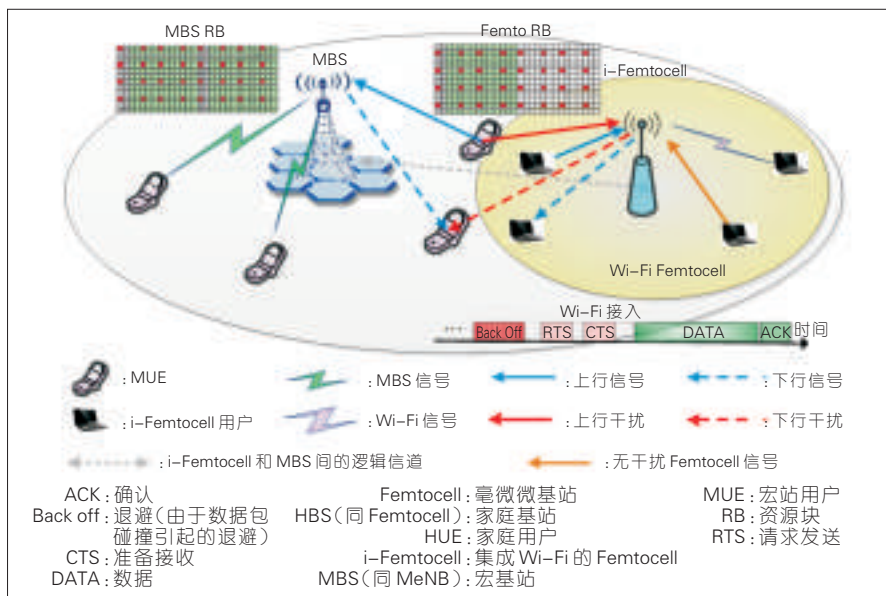
特性,并指出目前几乎所有新型Femtocell都集成了Wi-Fi功能。

3.4 Femtocell 与 WLAN 联合干扰管理方法

干扰管理技术多是以牺牲Femtocell的吞吐量或增加Femtocell或移动终端的复杂性为代价。而当Wi-Fi和Femtocell共站已成为趋势(本文用i-Femtocell表示集成Wi-Fi的Femtocell),则可以通过引入WLAN的免费频段来实现干扰规避。图2给出了由MBS和集成Wi-Fi的LTE Femtocell(HBS)组成异构网络。靠近HBS边缘的MUE将会干扰到HUE的上行传输,而在下行链路时,靠近HBS边缘的MUE将会受到HBS下行传输的干扰。此外,图中灰色双向箭头表示的是HBS和MBS之间的交互链路。

针对该场景,如何有效地进行资源调度来充分发挥Wi-Fi和HBS的各自优势,同时尽可能地降低或者消除HBS和MBS之间的干扰是一个非常值得研究的问题。本文初步给出了该场景下的联合资源管理算法,并给出了相应的仿真结果。

该算法的基本思想可以归纳为以下步骤:



▲图 2 i-Femtocell 和 MBS 干扰场景

(1) 将 Femtocell 侧的用户根据业务需求分为两类: 时延敏感性业务和非时延敏感性业务。

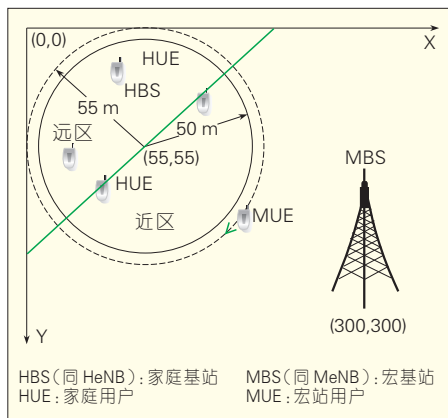
(2) 当产生干扰时, Femtocell 侧在优先保障对时延敏感性业务的支持下, 进行相应的干扰规避调度, 如采用功率控制和频域正交技术。

(3) 第二步处理之后如仍存在干扰, 则让 Wi-Fi 侧来承载在 Femtocell 侧受干扰或干扰 MBS 用户中的非时延敏感性业务。

(4) 如第三步中 Wi-Fi 侧业务已经饱和, 则 Femtocell 优先对非时延敏感性业务采用 ABSF 算法。

将 i-Femtocell 的覆盖区域到 MBS 的距离远近, 分为近区和远区。如 MUE 所处位置不同将和 Femtocell 间形成不同程度的干扰。具体仿真场景如图 3 所示。表 2、表 3、表 4 分别列出了 MBS、HBS 和业务的相关仿真参数^[10-11]。

图 4、图 5 分别给出了该方法的



▲ 图 3 仿真场景示意

▼ 表 2 MBS 仿真参数

仿真参数	参考数值
宏小区半径	500 m
距离相关路径损耗	$PL=15.3 \text{ dB}+37.6\log_{10}(R/m)$
阴影衰落标准方差	8 dB
宏站背景噪声	5 dB
宏站发送功率	46 dBm
基站天线增益	14 dBi
用户发送功率	23 dBm
用户背景噪声	9 dB

上下行的性能。由仿真结果可以看出: 采用 Femtocell 和 WLAN 联合资源调度来进行干扰管理可以大幅提升容量而不影响 MBS 的正常传输, 二者融合可有效地提升 Femtocell 对蜂窝用户的业务保障能力。

4 结束语

随着 HetNets 的发展, Femtocell 和

▼ 表 3 HBS 仿真参数

仿真参数	参考数值
小区半径	50 m
距离相关路径损耗	$PL=127 \text{ dB}+30\log_{10}(R/km)$
阴影衰落标准方差	4 dB
家庭基站发送功率	20 dBm
家庭基站天线增益	0 dBi

WLAN 的融合已经成为一种趋势。联合二者的优势解决 HetNets 的干扰问题具有双重意义: 其一, 避免或减轻 Femtocell 和 MBS 的相互干扰; 其二, 可充分发挥 Femtocell 和 WLAN 各自的业务优势, 对用户提供更好的业务保障。利用联合资源调度方法能

▼ 表 4 仿真业务参数

仿真参数	参考数值
Wi-Fi 可接纳用户数	20 个
家庭基站中用户数	8 个
家庭基站的资源块数目	36 个
语音业务占资源数	2 资源块/每用户
数据业务占资源数	6 资源块/每用户
宏基站用户数	1 个(位置可变, 占用资源块数目可变)

图 4 下行链路容量比较

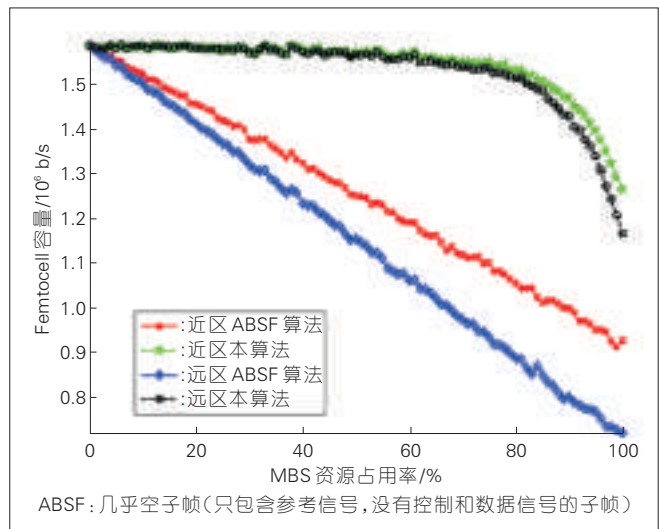
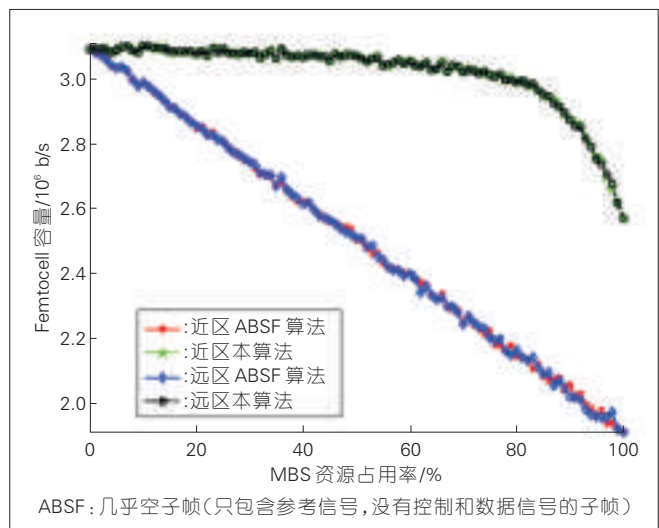


图 5 上行链路容量比较



够有效地解决 HetNets 的相互干扰, 并且还可以对用户提供更好的业务保障能力, 从而促进 HetNets 的发展与应用。

参考文献

- [1] DAMNJANOVIC A, MONTOJO J, WEI Y, et al. A survey on 3GPP heterogeneous networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2011, 18(3):10-21.
- [2] 3GPP TR36.922 V10.0.0. TDD Home eNode B (HBS) Radio Frequency E-UTRA (RF) requirements analysis [S]. 2011.
- [3] LOPEZ-PEREZ D, GUVENC I, DE LA ROCHE G, et al. Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2011, 18(3):22-30.
- [4] CHENG Shin-Ming, LIEN Shou-Yu, CHU Feng-Seng, et al. On exploiting cognitive radio to mitigate interference in macro/femto heterogeneous networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2011, 18(3):40-47.
- [5] LIEN Shao-Yu, LIN Yu-Yu, CHENK Wang-Cheng. Cognitive and game-theoretical radio resource management for autonomous femtocells with QoS guarantees [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011, 10(7): 2196-2206.
- [6] KAIMALETU S, KRISHNAN R, KALYANI S, et

- al. Cognitive interference management in heterogeneous femto-macro cell networks [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC' 11), Jun 5-9, 2011, Kyoto, Japan. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011:6p.
- [7] SUH Changho, TSE D. Interference alignment for cellular networks [C]//Proceedings of the 46th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Sep 23-26, 2008, Monticello, IL, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008:1037-1044.
- [8] SUH Changho, HO M, TSE D. Downlink interference alignment [J]. IEEE Transactions on Communications, 2011, 59(9):2616-2626.
- [9] JUNG Bang-Chul, SHIN Wwon-Yong. Opportunistic interference alignment for interference-limited cellular TDD uplink [J]. IEEE Communications Letters, 2011, 15(2): 148-150.
- [10] Alcatel-Lucent. Simulation assumptions and parameters for FDD HBS RF requirements [C]//3GPP TSG RAN WG4 #51 Meeting, May 6, 2009, San Francisco, CA, USA. 2009: R4-092042.
- [11] SIMSEK M, AKBUDAK T, BO Zhao, et al. An LTE-femtocell dynamic system level simulator [C]//Proceedings of the 2010 International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA' 10), Feb 23-24, 2010, Aachen, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010:66-71.

收稿日期: 2012-11-06

←上接第 20 页

络的拓展而进一步向前发展。

参考文献

- [1] Infonetics research [EB/OL]. [2012-09-18]. <http://www.infonetics.com>.
- [2] NGMN recommendation on SON and O&M requirements [R]. NGMN (Next Generation Mobile Networks), 2008.
- [3] NGMN use cases related to self organising network: Overall description [R]. NGMN (Next Generation Mobile Networks), 2007.
- [4] 3GPP TS32.500. Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON): Concepts and requirements [S]. 2009.
- [5] 3GPP TR36.902. Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions [S]. 2011.
- [6] DAS S, SEN S, JAYARAM R. A structured channel borrowing scheme for dynamic load balancing in cellular networks [C]// Proceedings of the 17th International Conference on Distributed Computing System (ICDCS' 97), Mar 27-30, 1997, Baltimore, MD, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1997: 116-123.
- [7] KIM Sungwook, VARSHNEY P K. Adaptive load balancing with preemption for multimedia cellular networks [C]//Proceedings of the 2003 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC' 03): Vol 3, Mar 16-20, 2003, New Orleans, LA, USA. New York, NY, USA: IEEE, 2003: 1680-1684.
- [8] DAS S K, SEN S K, JAYARAM R. A novel load balancing scheme for the tele-traffic hot spot

- problem in cellular networks [J]. Wireless Networks, 1998, 4(4):325-340.
- [9] TONGUZ O K, YANMAZ E. The mathematical theory of dynamic load balancing in cellular networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(12):1504-1518.
- [10] FUJII T, NISHIOKA S. Selective handover for traffic balance in mobile radio communications [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC' 92): Vol 3, Jun 14-18, 1992, Chicago, IL, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1992: 1840-1846.
- [11] SON K, CHONG S, VECIANA G. Dynamic association for load balancing and interference avoidance in multi-cell networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(7): 3566-3576.
- [12] WANG Hao, DING Lianghui, WU Ping, et al. Dynamic load balancing and throughput optimization in 3GPP LTE networks [C]// Proceedings of the 5th International Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM' 10), Aug 25-27, 2010, Beijing, China. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2010:5p.
- [13] SANG A, WANG X, MADHIAN M, et al. Coordinated load balancing, handover/cell-site selection, and scheduling in multi-cell packet data systems [J]. Wireless Networks, 2008, 14(1):103-120.
- [14] 3GPP TS36.331. RRC protocol specification [S]. 2010.
- [15] WANG Hao, DING Lianghui, WU Ping, et al. QoS-aware load balancing in 3GPP long term evolution multi-cell networks [C]// Proceedings of the IEEE International

作者简介



王亮, 西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术国家重点实验室在读博士生; 主要研究方向认知无线电、异构网络干扰管理等。



盛敏, 西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术国家重点实验室教授、博士生导师; 主要研究领域为移动通信、无线自组织网络、认知无线网络等; 已主持和参与基金项目 10 余项; 已发表论文 70 余篇(其中被 SCI/EI 检索 50 余篇), 出版专著 2 部。



张琰, 西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术国家重点实验室副教授; 主要研究领域为无线自组织网络、认知无线网络等; 已主持和参与基金项目 8 项; 已发表论文 20 余篇(其中被 SCI/EI 检索 10 余篇)。

Conference on Communications (ICC' 11), Jun 5-9, 2011, Kyoto, Japan. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011:5p.

收稿日期: 2012-11-06

作者简介



潘志文, 东南大学移动通信国家重点实验室教授; 主要研究领域为新一代宽带无线通信无线传输技术、新型无线网络技术及自组织网络; 已主持和参加基金项目 10 余项, 获国家技术发明奖一等奖、教育部技术发明一等奖各 1 项; 已发表论文 20 余篇, 申请和授权发明

专利 30 余项。



尤肖虎, 东南大学移动通信国家重点实验室主任、教授, 东南大学信息科学与工程学院院长, 教育部长江学者特聘教授, “863”计划信息领域专家组成员, “新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项副总工, IEEE Fellow; 主要研究领域为新一代宽带无线通信无线传输技术、新型无线网络技术及自组织网络; 已主持基金项目 20 余项, 获国家技术发明奖一等奖、国家科技进步奖二等奖、教育部技术发明奖一等奖各 1 项; 已发表论文 100 余篇, 申请和授权发明专利 40 余项。

基于动态业务感知的蜂窝网络 重配置方案

Dynamic Traffic-Aware Reconfiguration of Cellular Networks

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0031-004

摘要: 文章针对动态业务量,提出了一种动态业务量感知的重配置方案(DTR),在保证系统性能的情况下,最大化系统平均能量效率。DTR根据当前业务量,通过排队论系统预测系统的中断概率,根据一定准则,将系统配置为最大化系统频谱效率(SE)、最大化系统能量效率(EF)或者是混合SE-EE系统。

关键词: 蜂窝网络;频谱效率;能量效率;业务感知;重配置;排队论

Abstract: In this paper, we propose a dynamic traffic-aware reconfiguration (DTR) scheme that can maximize average system energy efficiency (EE) and guarantee system performance. The system can be configured to achieve maximum spectral efficiency (SE), EE, or hybrid SE-EE according to the DTR traffic load. The key criterion for reconfiguring the system is the queuing model.

Keywords: cellular networks; spectral efficiency; energy efficiency; traffic-aware reconfiguration; queuing model

周旋/ZHOU Xuan

冯钢/FENG Gang

秦爽/QIN Shuang

(电子科技大学 通信抗干扰技术国家级重点
实验室,四川 成都 611731)

(National Key Lab of Science and Technology
on Communications, University of Electronic
Science and Technology of China, Chengdu
611731, China)

在过去10年中,蜂窝网络用户急剧增加,用户对系统速率的要求也越来越高,这就要求移动通信系统具有较高的频谱效率。近年来,3GPP LTE提出了4G移动通信系统,该系统采用正交频分复用(OFDM)和多输入多输出(MIMO)来提高系统的频谱效率。由于4G移动通信系统的能量消耗比其他移动通信系统急剧增加,因此,怎样提高移动通信系统的能量效率成为系统设计的亟需解决的问题。在本篇论文中,传统的以最大化系统频谱效率为目标的无线移动通信系统被称为频谱效率(SE)系统,而以最大化系统能效

率为目标的新型系统,则被称为能量效率(EE)系统。由于SE系统最大化系统频谱效率,其能量效率可能会很低;而EE系统最大化系统能量效率,其频谱效率可能无法满足系统需求。文献[1]中提出了一种在频率选择性信道中最大化能量效率的方法。文献[2]提出了OFDM系统中上行能效最大化设计。文献[3]提出了一种低复杂度的算法,用于最大化每焦耳能量传输的比特数(bits-per-Joule)。其他相关工作^[4-5]要集中在基站的睡眠模式,在业务量较小的时候,关掉部分基站来节省能量。文献[6]中的研究分析了在给定中断概率情况下,怎样节省蜂窝网络的能量消耗。文献[7]中研究了自适应调制和编码系统的排队现象,并将

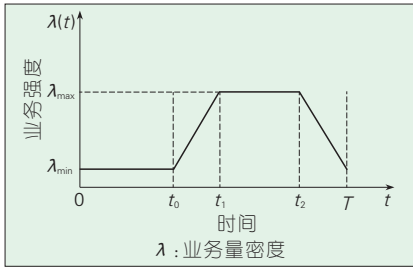
其应用到睡眠模式中。

在实际系统中,业务量可能会急剧地变化,导致单纯的最大化频谱效率或者能量效率的系统无法满足系统性能要求。因为SE系统在业务量低的时候可能会浪费过多能量,而EE系统则可能在业务量高的时候导致高中断率。蜂窝网络系统和用户的业务请求可以看作一个排队模型。根据该排队模型预测出的系统中中断概率,基于上述考虑,本文提出了一种动态的业务感知重配置方案,该方案根据业务量强度和干扰水平,采用排队论模型预测系统的中断概率,并根据中断概率来动态的选择SE、EE或者是混合SE-EE系统。

1 系统模型

蜂窝网络中的业务流量具有一定的特点^[8]。在 $(0, t_0)$ 和 (t_1, t_2) 时间段期间,业务量密度分别为 λ_{\min} 和 λ_{\max} 。在 (t_0, t_1) 和 (t_2, T) 期间,系统业务量线性递增或是线性递减,如图1所示。假设系统中有 C 个子信道,被调度到的用户可以根据其业务需求和网络中资

基金项目: 国家高技术研究发展(“863”)计划(2012AA011402);国家重点基础研究发展(“973”)规划(2012CB316003)



▲图1 简化业务模型

源情况分配到至少一个子信道。用户产生业务请求服从均值为 λ 泊松分布,系统对每个用户的服务时间服从均值为 $1/\mu$ 的指数分布。我们可以采用 M/M/N/K 队列模拟系统的中断概率^[9]。系统中有 j 个用户的中断概率为:

$$P_j = \begin{cases} \frac{\rho^j}{j!} P_0, & 1 \leq j < C \\ \frac{\rho^j}{C! C^{j-C}} P_0, & C \leq j < K \end{cases},$$

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{n=C-1} \frac{\rho^n}{n!} + \sum_{n=C}^{n=K} \frac{\rho^n}{C! C^{n-C}} \right]^{-1},$$

$$T_d = \sum_{j=C}^K \left(\frac{j-C+1}{C\mu} * \frac{P_j}{1-p_K} \right),$$

其中 $\rho = \lambda/\mu$ 并且 $K = \arg\{T_d = \Delta t\}$, T_d 为用户的平均等待时间。则系统中用户无法接入至少一个子信道的概率为 $p_{out} = \frac{\rho K}{C! C^{K-C}} \left[\sum_{n=0}^{n=C-1} \frac{\rho^n}{n!} + \sum_{n=C}^{n=K} \frac{\rho^n}{C! C^{n-C}} \right]^{-1}$ 。

2 频谱效率和能量效率

频谱效率 η_{SE} 定义为每赫兹带宽每秒传输的比特数, $\eta_{SE} = R/B$, 其中 B 为达到数据速率为 R 的带宽。而能量效率定义为每焦耳能量每秒所传输的数据比特。

$$\eta_{EE} = \frac{R}{P_r(\vec{R}) + P_c} = \left(\sum_{i=1}^{n=C} r_i \right) \frac{1}{P_r(\vec{R}) + P_c}, \text{ 其中}$$

$$P_r(\vec{R}) = \sum_{i=1}^n (2^{r_i/W_i} - 1) * G(c, \rho_i) * \frac{(J_i + N_0 W_i)}{g_i},$$

$P_r(\vec{R})$ 为数据速率为 R 时的传输功率, 假设各子信道上的数据速率分别为 r_i , 则 $\vec{R} = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ 表示系统的数据速率向量。能量效率与频谱效率之间的关系如图2所示。当干扰强度过高时, 系统的数据速率会降低, 系统的最大频谱效率 η_{SE}^* 可能会低于

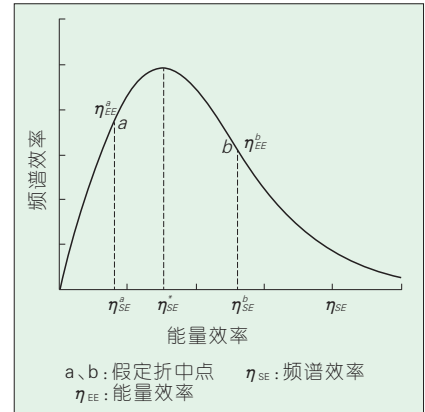
η_{SE}^* , 即 $\eta_{SE}^* < \eta_{SE}^*$, 假设为 η_{SE}^* 。在这种情况下, SE 系统和 EE 系统之间的折中点在 η_{SE}^* 的左边, 即 a 点。此时能量效率随后则频谱效率递增, 同时最大能量效率为 η_{EE}^* , 对应的频谱效率为 η_{SE}^* 。另一方面, 当系统最小频谱效率 η_{SE}^b 大于 η_{SE}^* , 即 $\eta_{SE}^b > \eta_{SE}^*$ 。此时, SE 系统与 EE 系统间的折中点在 η_{SE}^* 的右边, 即 b 点, 此时能量效率随着频谱效率单调递减。则系统最大可达能量效率为 η_{EE}^b , 对应的频谱效率为 η_{SE}^b , 小于 η_{SE}^* 。当系统要求的最小频谱效率为 η_{SE}^* 时, 且最大频谱效率为 η_{SE}^b 时, 则 SE 和 EE 系统的折中点为 η_{SE}^* , 系统可达的最大能量效率为全局最大能量效率。由此我们可以总结得出系统可达的最大能量效率不一定是全局最大能量效率 η_{SE}^* , 因为不同的干扰强度和不同的要求频谱效率可能会变化, 导致 SE 和 EE 系统的折中点可能不会包含 η_{SE}^* 点。

3 动态业务感知重配置

我们仔细分析了 SE 和 EE 系统所能达到的不同频谱效率和数据速率。当业务量随着时间不断变化时, EE 系统无法随时保障系统所要求的频谱效率, 导致无法满足用户所要求的服务质量。本文提出一种动态的重配置方案来适应业务的变化。

3.1 动态业务感知网络重配置方案概述

动态业务感知重配置方案的主要思想如图3所示。动态业务感知网络重配置方案(DTR)包含3个主要



▲图2 最大可达能量效率

部分。第一部分是 RE, 即速率预测, 用于预测 EE 和 SE 系统速率。第二部分是 OPE, 即中断概率预测模块。该模块的输入是第一部分 RE 所预测出的 SE 和 EE 系统的系统速率 R_{SE} , R_{EE} 和当前业务强度 λ , 输出是预测的 SE 和 EE 系统的中断概率和。第三部分则是系统重配置(SR), 即是根据不同情况将系统重配置为 SE, EE 和混合 SE-EE 系统。

3.2 优化目标

假设系统中有 C 个子信道, 每个子信道的带宽为 W 。被调度到的用户一次可以分配到一个或者多个子信道。在实际系统中, 业务量可能是动态的, 一个用户在以下情况可能会中断:

(1) 用户接收端检测到的信号与干扰噪声比(SINR)小于门限值 γ : $SINR < \gamma$, 即 $p_{out} = p[SINR < \gamma]$ 。

(2) 用户在规定时延内 $T_d = \Delta t$, 其中 T_d 是两次调度之间的时间间隔。

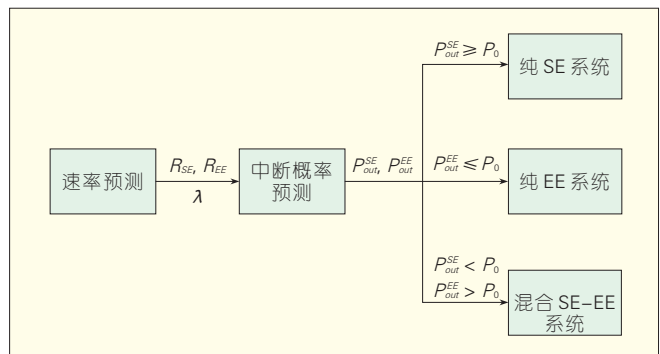


图3 DTR 模块图

隔, Δt 为预先定义好的时延门限。这种类型的中断概率有 p_{out2} 表示, 则系统的总中断概率为 $p_{out} = 1 - (1 - p_{out1})(1 - p_{out2})$ 。为了简化模型, 本文假设所有在基站覆盖范围内的用户都满足 $SINR \geq \gamma$, 即 $p_{out1} = P[SINR \leq \gamma] = 0$, 此时系统的中断概率为 $p_{out} = p_{out2}$ 。一旦用户被调度到, 直到其传输完自己的数据比特, 才会释放资源。即意味着系统中中断概率为用户在规定时间内 Δt 无法接入系统的概率。

在纯 SE 系统中, 优化目标为最大化系统的频谱效率。系统中各个子信道传输功率小于基站总发射功率。SE 系统的目标函数如下:

$$\max \left\{ \eta_{SE} = \frac{\sum_{i=1}^C R_i}{B} = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^C W_i \log_2(1 + HP_i) \right\},$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^C P_i = P \leq P_T$$

在一个纯 EE 系统中, 优化目标为最大化系统的能量效率。各个子信道上发射功率之和必须小于某个动态的值 P_{EE} 。EE 系统的目标函数如下:

$$\max \left\{ \eta_{EE} = \frac{\sum_{i=1}^C R_i}{P_C + P_T(\bar{R})} = \frac{1}{P_C + P_T(\bar{R})} \sum_{i=1}^C W_i \log_2(1 + HP_i) \right\},$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^C P_i = P \leq P_{EE}$$

混合 SE-EE 系统主要用于当系统中业务量适中的时候。在这种情况下, EE 系统的中断概率高于目标中断概率而 SE 系统的中断概率小于目标中断概率, 即 $(p_{out}^{EE} > p_0, p_{out}^{SE} < p_0)$ 。在本方案中, 混合 SE-EE 系统的中断概率为目标中断概率, 即 $p_{out}(t) = p_0$, 混合 SE-EE 系统的目标函数如下:

$$\max \eta_{EE} = \frac{\int_0^T R(t) dt}{\int_0^T P(t) dt}, \text{ s.t. } p_{out}(t) = p_0,$$

$$\text{且 } \sum_{i=1}^C P_i(t) = p_0 \leq P_T.$$

由于混合 SE-EE 系统的中断概率总是保持为 p_0 , 因此我们可以推出相应的数据速率 R_0 , $p_0 = g(R_0, \lambda) \Rightarrow R_0 = g^{-1}(p_0, \lambda)$, 其中,

$$g(R, \lambda) = p_{out} = \frac{(\lambda D/R)^k}{C! C^{k-C}} \left[\sum_{n=0}^{m-C-1} \frac{(\lambda D/R)^n}{n!} + \sum_{n=C}^{m-k} \frac{(\lambda D/R)^n}{C! C^{n-C}} \right]^{-1}$$

是与速率、业务强度和数据比特 D 相关的中断函数表达式, 且 $g^{-1}()$ 是 $g()$ 的反函数。具体功率分配方案如图 4 所示, 即速率注水算法。

3.3 动态业务感知网络重配置算法

由于优化目标不同, 我们可以得到 SE、EE 和混合 SE-EE 系统的不同的功率分配算法。具体的, 当 DTR 将系统重配置为 SE、EE 或者混合 SE-EE 系统时, 分别采用经典的注水算法, 能量效率注水算法和速率注水算法。根据图 3 所示的 DTR 工作框架, 第一步为预测 SE 和 EE 系统的速率 R_{SE} 和 R_{EE} 。假设 R^* 为能量效率最大时候的数据速率, R_i 为要求数据速率。系统最大和最小数据速率为 R_{min} 和 R_{max} 。方案细节由如图 5 所示。通过排队论模型预测 SE 和 EE 系统的中断概率 $p_{out}^{SE} = g(R_{SE}, \lambda)$, $p_{out}^{EE} = g(R_{EE}, \lambda)$, DTR 进行系统重配置。详细过程如

图 6 所示。

4 仿真结果

仿真平台为 LTE 系统级仿真平台^[10], 由于系统带宽被分为若干个 180 kHz 的资源块, 每个资源块视为一个子信道。表 1 是仿真参数设置。本文对单小区场景进行了仿真。图 7(a) 显示了单小区场景下纯 SE、EE 和 DTR 的中断概率对比。我们可以看到 EE 系统的中断概率随着用户的个数 N 的增加而增加, 且当 $N=32$ 时, 中断概率大于目标中断概率 $p_0=0.1$ 。而 SE 系统的中断概率随着 N 的增大缓慢增加, 直到 N 大于 125 时, 系统的中断概率等于目标中断概率。对比纯 SE 和纯 EE 系统, DTR 的中断概率在用户少的时候, 即业务量低的时候, 与 EE 系统基本保持一致。图 7(b) 所示为单小区场景下纯 SE、纯 EE 和 DTR 的能量效率。

速率注水算法

初始化: 获取当前干扰和等效信道增益

步骤 1. 采用能量效率注水算法给每个信道分配功率 P_i , 计算相应的数据速率 $R_i^{EE} = \log_2(1 + HP_i^{EE})$, $R_{EE} = \sum_{i=1}^C R_i^{EE}$ 。

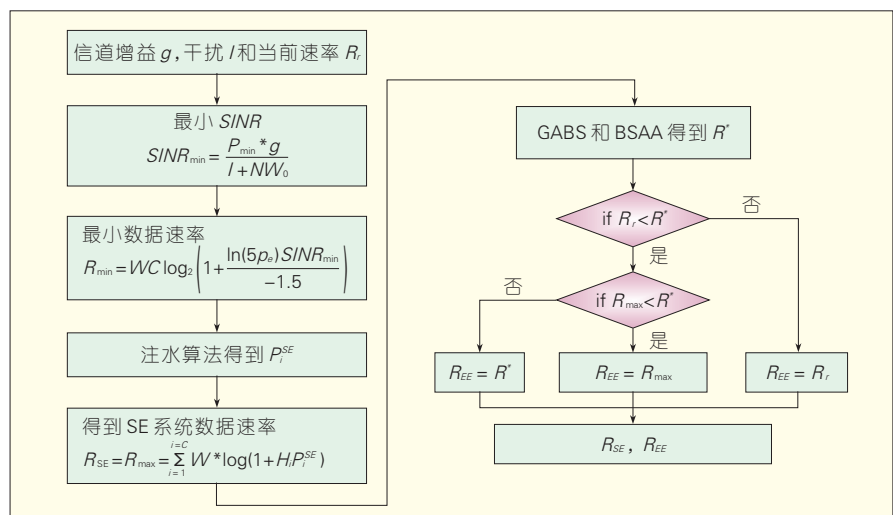
步骤 2. 获取系统在终端概率为 p_0 时的速率 R_0 。

步骤 3. $\Delta R = R_0 - R_{EE}$, 第 i 个子信道上的速率之差为 $\Delta R_i = \Delta R / C$, 在该信道上的分配的额外功率为 $\Delta P_i = 2^{R_i^{EE} / W} (2^{\Delta R_i / CW} - 1) / H_i$ 。

步骤 4. 在第 i 个信道上分配 $P_i^{EE} + \Delta P_i$ 的功率。

结束

▲ 图 4 速率注水算法



▲ 图 5 速率预测流程图

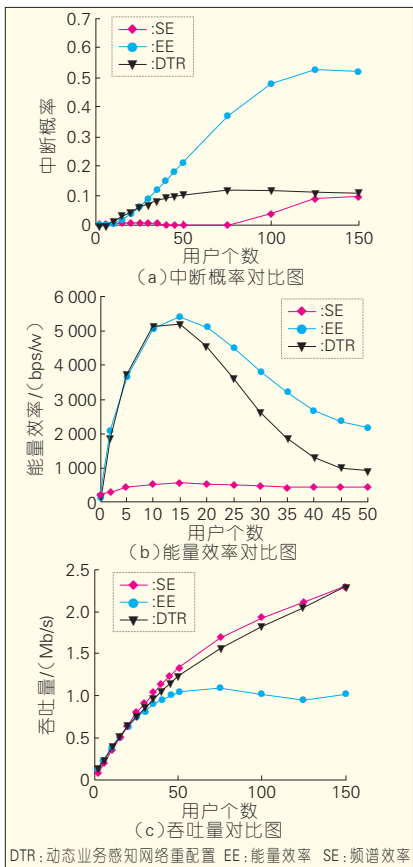
动态业务感知重配置算法

- 初始化: 获取干扰和等效信道增益
 步骤 1. 获取用户到达速率 λ , 采用速率预测模块(RES)来预测 SE 系统的速率 R_{SE} 、 R_{EE} 。
 步骤 2. 采用排队论模型预测 SE 和 EE 系统的中断概率 R_{SE} 和 R_{EE} 。
 步骤 3. 如果 $p_{out}^{EE} \leq p_0$, 进入步骤 6。
 步骤 4. 如果 $p_{out}^{SE} > p_0, p_{out}^{SE} < p_0$, 进入步骤 7。
 步骤 5. 如果 $p_{out}^{SE} \geq p_0$, 进入步骤 8。
 步骤 6. 将系统配置为 EE 系统, 采用能量效率注水算法分配功率。
 步骤 7. 将系统配置为混合 SE-EE 系统, 采用速率注水算法分配功率。
 步骤 8. 将系统配置为 SE 系统, 采用经典注水算法分配功率。
 结束

▲图 6 动态业务感知重配置算法

▼表 1 仿真参数

参数	值
D	2 666*6 bit
Δt	5 ms
路径损耗	128.1+37.6 log(d/1 000)
中断概率	0.1
$\lambda_{min}/\lambda_{max}$	0.1/1.0 per ms
t_0	2 000 TTI
P_c	100 mW
带宽	1.4 MHz
小区半径	500 m
T	4 000 TTI



▲图 7 仿真对比图

当业务量强度增加, EE 系统总是可以达到最大的能量效率。但是 SE 系统的能量效率总是三者最低的。DTR 在业务量轻的时候能量效率与 EE 系统相同, 而业务量高的时候趋向于与 SE 系统相同。图 7(c) 比较了纯 SE、EE 系统和 DTR 的吞吐量。当业务量很低的时候, 3 种系统的吞吐量一样。当业务量很高的时候, SE 系统和 DTR 的吞吐量明显高于 EE 系统。

5 结束语

本文介绍了一种动态业务感知网络重配置方案(DTR), 其主要目标为最大化系统的平均能量效率同时满足给定的中断概率要求。方案根据业务量的不同, 引入排队模型预测系统的中断概率, 并根据该中断概率对系统进行重配置, 使系统切换到 SE、EE 或者混合 SE-EE 系统。

参考文献

[1] MIAO Guowang, HIMAYAT N, LI G Y. Energy-efficient link adaptation in frequency-selective channels [J]. IEEE Transactions on Communications, 2010, 58(2): 545-554.
 [2] MIAO Guowang, HIMAYAT N, Li Ye, et al. Energy efficient design in wireless OFDMA [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '08), May 19-23, 2008, Beijing, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 3307-3312.
 [3] MIAO Guowang, HIMAYAT N, Li G Y, et al. Low-complexity energy-efficient OFDMA [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '09), Jun 14-18, 2009, Dresden, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 5p.
 [4] XIONG Cong, LI G Y, ZHANG Shunqing, et al. Energy- and spectral-efficiency tradeoff in downlink OFDMA networks [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '11), Jun 5-9, 2011, Kyoto, Japan. Piscataway, NJ, USA: IEEE,

2011: 5p.

[5] WENG Xiangnan, CAO Dongxu, NIU Zhisheng. Energy-efficient cellular network planning under insufficient cell zooming [C]// Proceedings of the 73rd Vehicular Technology Conference (VTC-Spring '11), May 15-18, 2011, Budapest, Hungary. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 5p.
 [6] GONG Jie, ZHOU Sheng, NIU Zhisheng. Queuing on energy-efficient wireless transmissions with adaptive modulation and coding [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '11), Jun 5-9, 2011, Kyoto, Japan. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2011: 5p.
 [7] GOLDSMITH A J, CHUA S G. Variable-rate variable-power MQAM for fading channels [J]. IEEE Transactions on Communications, 1997, 45(10): 1218-1230.
 [8] MARSAN M A, CHIARAVIGLIO L, CIULLO D, et al. Optimal energy savings in cellular access networks [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '09), Jun 14-18, 2009, Dresden, Germany. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 5p.
 [9] KLEINROCK L. Queueing systems, Volume I: Theory [J]. IEEE Transactions on Communications, 1977, 25(1): 178-179.
 [10] Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering, Vienna University of Technology. LTE_system_Level_1.2_r300 [EB/OL]. [2012-08-12]. <http://www.nt.tuwien.ac.at/ltesimulator>.

收稿日期: 2012-11-05

作者简介



周旋, 电子科技大学通信与信息工程学院本科毕业, 电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室在读硕士研究生; 主要研究方向为移动通信网络。



冯钢, 电子科技大学无线电技术系学士及硕士毕业, 香港中文大学信息工程系博士毕业; 电子科技大学通信抗干扰国家级重点实验室教授、博士生导师; 已发表学术论文 140 余篇, 其中 SCI 论文 40 余篇, EI 论文 60 余篇。



秦爽, 电子科技大学博士毕业; 电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室讲师; 主要研究领域为无线网络; 已参基金项目近 10 项; 已发表论文 8 篇, 其中 SCI/EI 收录 7 篇。

利用数据挖掘的网络智能感知与自适应优化

Network Self-Optimization and Intelligence Based on Data Mining

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0035-004

摘要: 文章提出了一种利用数据挖掘的自适应优化方法。该方法将自优化问题与数据挖掘技术相结合,利用数据挖掘技术对海量数据进行处理,找出表示其中内在规律的知识,利用这些知识进行网络自适应优化。文章以通话业务时长预测分析为例进行分析,结果表明利用数据挖掘进行业务预测的精度高于传统的统计分析方法,论文分析在C-RAN架构下利用数据挖掘对网络状态进行预测是可行的。

关键词: 自优化;数据挖掘;C-RAN架构网络;基带资源池

Abstract: In this paper, we propose a self-optimization method based on data mining. With this method, mass data can be processed and laws can be found for self-optimization. We analyze call service prediction and show that using data mining to predict services is more accurate than using statistical methods to predict services. We present data mining technology that can be used for network prediction in a C-RAN architecture.

Key words: self-optimization; data mining; C-RAN networks; baseband resource pool

刘占军/LIU Zhanjun
陈前斌/CHEN Qianbin
(重庆邮电大学移动通信技术重点实验室,
重庆 400065)
(Key Lab of Mobile Communication
Technology, Chongqing University of Posts and
Telecommunications, Chongqing 400065,
China)

目前已经有网络的自优化方法的相关研究,比如在文献[3]中已经指出,自组织网络中的自优化内容可以是容量、无线网络的覆盖优化,并且给出了无线网络中容量与小区覆盖的自组织优化流程。它包括3个步骤:容量和覆盖问题检测、做出参数调整决策、调整决策的执行。其中容量和覆盖问题检测是检测网络状态,而参数调整决策则是通过一定的算法来对参数调整方案进行求解,调整决策执行包括功率发射参数、小区重选优先级以及天线倾角以及天线俯仰角等参数的优化;在文献[3]中还指出了自组织移动健壮优化,包括切换管理与负载均衡的优化,指出从接入策略的角度可以实现快速移动、慢速移动用户的区别对待,从而使得网络资源利用更加优化。

上述提出的这些自组织优化具有很高的价值,然而在演进型基站(eNodeB)中,单纯地通过一个小区中的数据来进行优化显然是不足的。比如,针对移动用户的覆盖与容量自组织优化,不仅需要邻居小区列表,而且需要邻居小区的覆盖情况信息;

自组织(Self-organizing)一词来自于物理学中,指的是这样的一类物理现象:系统无需外界指令,而能自行组织,自行创生,自行演化。根据物理学家的研究成果,系统演化的动力是系统中各个个体之间通过竞争,使得个体与个体存在协同性,从而使系统表现出一个或几个趋势。也就是说,是系统中的不同个体之间的相互作用,形成了整体的一种规律的表现^[1]。

在文献[2]中,Christian Prehofer 和 Christian Bettstetter 首先将自组织的概念引入到通信网络中,通过通信网络

中的个体感知网络中可以感知的环境,并且对环境进行自适应的调整,以这种网络中单个实体的行为来实现网络的整体优化。在该文献中还阐述了自组织网络应该具有自配置、自优化和自愈合3个功能,其后,学术界多从这3个方面开展自组织网络的研究。

网络自优化问题显然是自组织网络中的一个重要的方面,是指网络设备在网络的运行过程中,自适应地调整自身的参数或者相关的资源管理策略,以达到提高网络性能的目的。自优化技术对于节省优化人员工作,降低网络的运营维护成本具有重要的意义。

基金项目:国家科技重大专项
(2010ZX03003-008-004)

再比如切换与负载问题中,单纯地从一个小区的信息来进行优化,显然不能够对终端的移动性进行预测,小区之间的负载均衡也会因此而性能不够理想,这就需要不同小区之间信息的相互交互,但是这样就会增加网络开销。

1 数据挖掘技术相关背景

1.1 数据挖掘技术

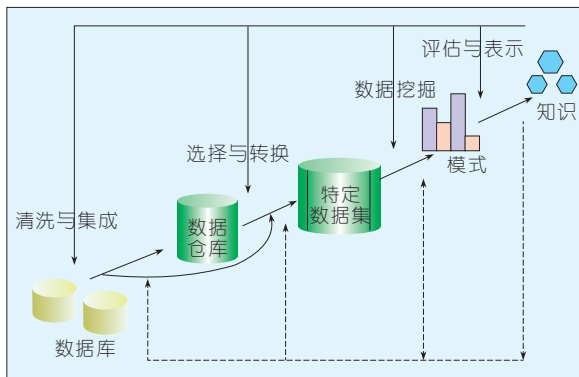
最近这些年来,随着科学技术和信息技术的发展,人们所接触到的信息量种类越来越多,信息量越来越大。而这些海量的信息中虽然蕴含着我们所想知道的一些知识,但是需要对这些数据进行处理,将所需要的知识挖掘出来,这就是数据挖掘的产生背景与目的。

数据挖掘是通过仔细分析大量数据来揭示其中有意义的新关系新趋势的过程,从大量的数据中提取其中人们所关心的一些潜在的信息知识的过程。该研究领域是一门将人工智能、数据库技术、统计学、机器学习和模式识别等多个领域相互融合的技术,自20世纪80年代产生以来受到多个学科的研究人员关注。

数据挖掘的主要任务是发现隐藏在数据中的模式,从而发现这些模式中的一些内在的规律和趋势。这些数据可能是不完全的、有噪声的、模糊的,但是一定是大量的数据。数据挖掘的流程和方法如图1所示^[1]。

图1中数据挖掘可以分为3个阶段:数据预处理、数据挖掘、知识存储。数据预处理是指将原始的数据处理成为便于挖掘的数据等操作;数据挖掘是指从预处理的数据中发现其中的内在联系和特征,形成知识;知识存储是将挖掘出来的知识进行存储以便于利用,具体的相关内容请查阅数据挖掘的专业文献。

目前,数据挖掘技术通过一段时间的发展取得了一定的成果,在分类预测模型方法上面,已经有诸如决策



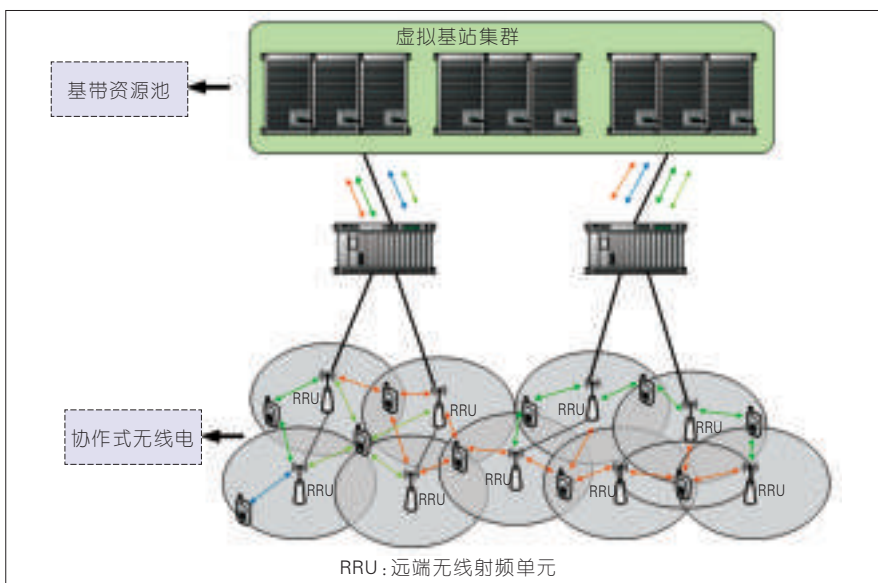
▲图1 数据挖掘示意图

树方法、神经网络方法、规则归纳方法、支持向量机方法、贝叶斯方法、回归分析方法、K-最近邻方法、组合学习方法等。这表明数据挖掘技术已发展到了一定的水平,对大规模数据处理和预测已经具有了较好的基础。

1.2 C-RAN 架构及其特点

在文献[4]中提出了一种新型的绿色节能无线接入网架构——C-RAN架构,并且中国也启动了针对该架构的国家科技重大专项,目前中国多家大型的移动通信企业,如中兴通讯、华为、大唐都投入到该项目的研发中。无线接入网(RAN)架构网络结构如图2所示^[5]。

在该网络架构下,基带资源池以



▲图2 C-RAN 架构图

云计算的模式对多个小区进行资源管理,从而可以较大地降低运营成本。由于网络状态信息较为集中,在提高网络智能化等方面具有很好的优势。

在C-RAN架构下的无线接入网络具有如下特点:

(1) 数据量庞大

在C-RAN架构下,很显然一个基带资源池是需要处理一个较大区域网络基带资源业务,而这个区域的所有小区的基带资源都存储在这个基带资源池中,这些数据的量与所覆盖的小区数量是呈大致线性增长的。如果用最优化的方法进行分析处理,则计算量会随着数据量的增加而呈现快速增加,这对于实现来说带来了很大的困难。

(2) 数据更加丰富

由于在网络中会采用虚拟基站集群处理一个较大区域的网络业务,与单一小区分别处理和数据存储相比较,其中所蕴含的信息更加丰富,比如由于运动所引起的移动终端切换,在原服务小区可以对目标小区的资源优化提供相应的信息,从而使得

目标小区能够更好地进行资源优化管理。正是由于这种构架下处理和存储网络的多个小区的网络状态数据,所蕴含的有用的信息资源更加丰富,为实现多个小区之间相互协调的自适应优化提供了可能。

(3) 小区间的数据不再需要交互

由于 C-RAN 架构下虚拟基站集群处理和存储的是各个小区的数据,采用的云计算的模式来进行处理的,换句话说其中的数据包含了多个小区的数据,因此在多个小区相互协调优化的过程中,不需要小区之间频繁的相互更新网络状态数据信息。自组织的目的是通过小区对周围环境(临近小区)的监测来调整自身策略,从而实现网络优化,而这就需要小区不断监测与查询周围小区的网络状态。在 C-RAN 架构网络中,因为所有的数据都存储在虚拟基站集群当中,因此不需要通过小区之间相互通信就能感知网络情况,可以节约大量的资源。

2 C-RAN 架构下的自优化

2.1 C-RAN 架构下的自适应网络优化

在 C-RAN 架构下,因为数据都集中在虚拟基站集群部分,因此数据挖掘也针对虚拟基站集群中所存储的数据进行挖掘。其结构示意图如图 3 所示。

图 3 中数据预处理是指对所记录的网络状态的数据、历史数据等进行一个处理,是把原来不是数值化表示的参数进行数值化描述,并且对所有的参数都进行一定的映射,这样做的目的是避免参数之间存在数量级别上的过大差距,避免在挖掘过程中出现某些参数被其他数量级过大的参数吞掉而不起作用。

数据挖掘过程就是指根据数据数据挖掘的相关方法,将这些数据的特征发现出来,以数学的形式表达参数之间的内在关系。

知识库是将通过数据挖掘出来

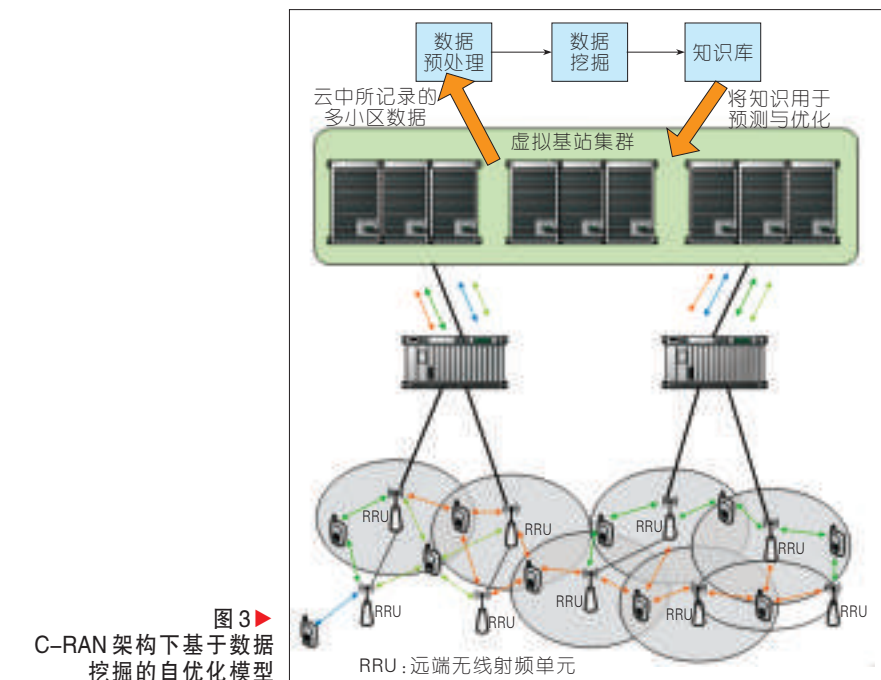


图 3 C-RAN 架构下基于数据挖掘的自优化模型

的参数特征集中存储。使后续网络自适应优化能直接使用。

自适应的网络优化是指通过对网络状态参数的监控,通过已经观测到的某些参数,根据知识库中的参数特征知识来进行网络状态预测,并且根据预测结果来进行网络的优化和资源调度。利用上述方法可以实现网络的实时的、自适应的网络优化。

2.2 C-RAN 架构下网络状态感知与预测

为了验证数据挖掘方法对数据中知识挖掘的感知与预测的准确性,我们对某城市中若干个小区的业务进行了分析验证。这些数据中,每条记录包含话务时间、接通方式、通话类型(局间/局内)、建立延迟、指配请求时延、指配完成时延等 11 个参数进行数据挖掘。挖掘方法采用的是运用 K-means 聚类算法进行聚类方法,通过对数据分类从而实现数据特征提取,并根据所得到的数据特征知识对另外的通话时间长度进行预测。由于 C-RAN 架构网络还没有建立,不能使用真正的 C-RAN 架构下的无线网络数据进行验证,而是采用

了若干个相邻小区的业务进行分析验证。由于条件限制,所采用的小区数量较少,所采用的记录也严重存在数量不足,只对 3 000 多条记录进行了挖掘,而且暂时没有实现自适应地挖掘与预测。实现过程概括如下:

(1) 首先数据进行归一化处理,将数据规约到 0 与 1,消除不同属性之间的不同量纲对结果产生的影响。

(2) 根据 $K \leq \sqrt{n}$ 的结论可以确定 K 值的范围,得出归一化后的数据通过上述 K-means 优化算法保证代价函数在此范围内取值最小,计算出最优 K 值。

(3) 根据所得 K 值,运用 K-means 聚类算法分出 K 类,同时概括各类的特征。

(4) 根据各类的特征对数据进行预测,对于抑制某些参数而尚不知道通话时间参量的数据,根据已知的参数,按照数据挖掘出的各个类的特征进行归类,利用所属类的特征来对该业务的通话时间进行预测。预测结果如图 4 所示。

图 4 中横坐标指的是我们用于数据挖掘的记录数量,纵坐标是对一些业务的通话长度进行预测的平均误

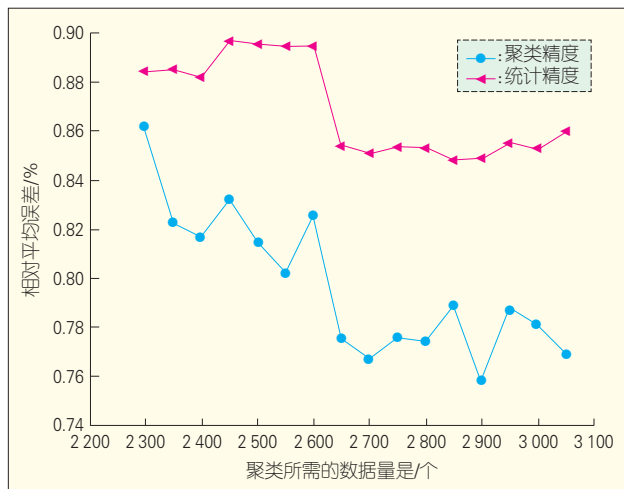


图4 基于统计预测与数据挖掘预测的误差比较

差,其中聚类精度指的是以统计的方式得到的预测平均误差情况,统计精度指的是以数据挖掘方式得到的误差情况。从图中可以看出对于多个小区联合的数据挖掘预测方法所产生的误差,明显低于用统计的方法得到的预测误差,这表明数据挖掘对网络的业务预测比统计预测方法更加准确。这说明利用数据挖掘是进行业务特征的预测是比较准确的。

同时图中也存在着一些平均误差的波动情况,这是由于用来进行数据挖掘的业务记录数量较小造成的。

另外一方面,由于此次分析验证采用的业务量数据太少,不能对网络中终端的切换性能、负载均衡等方面的预测与优化进行性能分析。

3 结束语

网络的自组织技术中自优化技术是其中的关键技术之一,针对

C-RAN架构的无线通信网络特点进行分析,得出在C-RAN架构的无线网络下,由于采用的是云计算分析模式,其中存储着多个小区的网络状态信息,数据量非常巨大,而且其中也蕴含着表征小区内部、小区之间相互联系的一些知识信息。针对这个特点,提出在C-RAN网络架构下将自优化问题与数据挖掘技术相结合,利用数据挖掘技术对海量数据进行挖掘,找出表示其中内在规律的知识,网络利用这些知识进行自适应优化。本文仅仅是对网络中的通信业务时长进行了分析,而在实际的C-RAN架构网络中,在虚拟基站集群的模式下,网络状态数据更加庞大、更加复杂,对基带信号等进行数据挖掘将更加复杂,也可能会有更有意义的知识被挖掘出来。

然而目前的殊绝挖掘虽然具有较为完备的技术,但是这些技术在

C-RAN 构架无线网络下进行应用,仍然是需要进一步研究的关键技术之一;另外一方面,C-RAN 构架无线网络的状态数据是动态变化的,如何实现动态的自适应的挖掘,以及如何对所挖掘的知识进行应用也是很有意义的研究内容。

参考文献

- [1] 哈肯 H. 协同学, 引论: 物理学、化学和生物学中的非平衡相变和自组织 [M]. 徐锡中, 陈式刚, 陈雅深, 等, 译. 北京: 原子能出版社, 1984.
- [2] PREHOFER C, BETTSTETTER C. Self-organization in communication networks: Principles and design paradigms [J]. Communications Magazine, 2005,43(7): 78-85.
- [3] 张军, 张平. IMT_Advanced 系统中的自组织网络技术 [J]. 中兴通讯技术, 2011,17(5):1-4.
- [4] 朱明. 数据挖掘 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002.
- [5] 王晓云, 黄宇红, 崔春风, 等. C-RAN: 面向绿色的未来无线接入网演进 [J]. 中国通信, 2010 (3):107-112.

收稿日期: 2012-11-05

作者简介



刘占军, 重庆邮电大学在读博士研究生, 重庆邮电大学副教授、硕士生导师; 主要研究方向为无线接入网络。



陈前斌, 重庆邮电大学教授, 博士研究生导师; 主要研究方向为多媒体传输技术、下一代网络技术。

综合信息

中兴通讯“跨代双模”方案开启 10G-EPON 宽带接入无感知升级时代

【本刊讯】2012年12月26日,中兴通讯全球率先发布“EPON/10G-EPON 跨代双模”宽带接入产品,这是中兴通讯继2010年10月宣布10G-EPON 规模试商用后的又一里程碑事件。标志着中兴通讯引领的宽带光接入网络迈入无感知升级时代,将使运营商在宽带接入网

络建设和网络平滑演进方面具有更大的部署空间。

中兴通讯副总裁朱永兴认为:“中兴通讯不仅懂技术、懂运营,更是运营商忠实的合作伙伴。此次推出的‘跨代双模’PON 产品方案,可以使运营商在实际建网中实现适度超前部署,低成本、高效率、无感知的升级到更高带宽,全面保证运营商的技术领先与效益优先的双赢局面。”

软件定义网络:正在进行的网络变革

Software-Defined Network: Ongoing Network Transformation

中图分类号: TN91 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0039-05

摘要: 通过控制平面与数据平面的分离, 软件定义网络(SDN)架构将网络底层网络设施与网络应用抽象分离开来, 从而实现构建可管理、可编程的、可动态改变的网络。文章认为未来网络将越来越依赖于软件, SDN这种新颖的、动态的网络架构将提高网络的延展性、灵活性和可管理性, 从而实现网络变革并带来新一波的技术创新。

关键词: 软件定义网络; OpenFlow; 未来网络

Abstract: In software-defined network (SDN) architecture, the control and forwarding planes are decoupled, which abstracts the underlying network infrastructure from the applications. This allows for manageable, programmable, flexible networks that are adaptable to changing business needs. Future networks will rely more and more on software. New, dynamic software-defined architecture will be widely adopted and will revolutionize networks and applications.

Keywords: software-defined networking; OpenFlow; future network

王文东/WANG Wendong
胡延楠/HU Yannan

(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876)
(State Key Lab of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

- SDN能够提供多种粒度的网络控制, 降低网络管控的复杂度, 提高网络的可靠性
- 网络虚拟化是未来网络的发展方向之一
- SDN能够在多种网络环境中得到应用

当前, 网络已经成为支撑现代社会发展以及技术进步的重要基础设施之一, 它深深地改变了人们的生产、生活和学习方式; 然而, 传统网络架构越来越不能满足当今企业、运营商以及用户的需求。传统互联网由极其复杂的交换机、路由器、终端以及其他设备组成, 这些网络设备使用着封闭、专有的内部接口, 并运行着大量的分布式协议。在这种网络环境中, 对于网络管理人员、第三方开发人员(包括研究人员), 甚至设备商来说, 网络创新都是十分困难的。例如, 研究人员不能够验证他们的新想法; 网络运营商难以针对其需求定制并优化网络, 难以使得他们的收益最大化; 甚至对于设备商来说, 也不能及时地创新以满足用户的需求。封闭的网络设备所带来的结果是: 网络依旧面临着诸多问题与挑战, 如安

全性、健壮性、可管理性以及移动性等等; 网络维护成本仍然居高不下, 网络管理需要大量的人工配置等等。

近年来, 逐渐兴起的SDN正试图打破这种僵局, 并成为了近年来学术界和工业界讨论的热点。

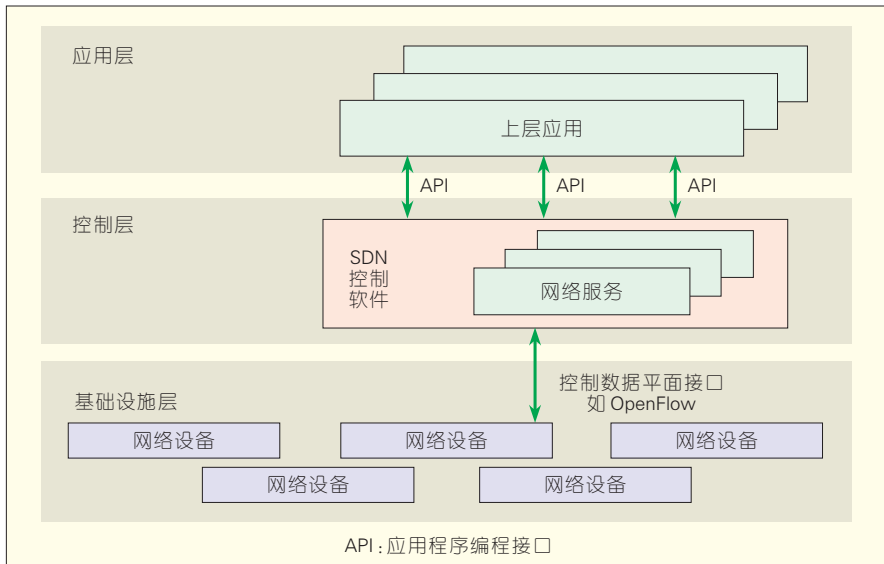
1 SDN的架构

1.1 SDN架构的特点

SDN是软件定义网络的简称, 其核心理念是使网络软件化并充分开放, 从而使得网络能够像软件一样便捷、灵活, 以此提高网络的创新能力。通常意义上来讲, SDN是指从OpenFlow^[1]发展而来的一种新型的网络架构, 其前身是斯坦福的用于企业集中安全控制的Ethane项目^[2]。2008年斯坦福大学的Nick McKeown教授将其命名为OpenFlow, 后经由斯坦福

Clean State项目推广, 以及在大型网络-全球网络创新环境(GENI)项目中的应用, 该概念被逐渐扩展并成为了SDN^[3]。

图1描述了SDN架构的逻辑视图。SDN的基本网络要素包括: 逻辑上集中的SDN控制器, 它是基于软件的控制程序, 负责维护全局网络视图, 并且向上层应用提供用于实现网络服务的可编程接口(通常也称为“北向接口”); 控制应用程序, 该程序运行在控制器之上, 通过控制器提供的全局网络视图, 控制应用程序可以把整个网络定义成为一个逻辑的交换机, 同时, 利用控制器提供的编程接口, 网络人员能够灵活地编写多种网络应用, 如路由、多播、安全、接入控制、带宽管理、流量工程、服务质量等; 转发抽象, 转发抽象通常称为“南向接口”, SDN控制器通过利用



▲图1 SDN架构

SDN提供的转发平面的网络抽象来构建全局网络视图。

由此可知SDN的基本特征：

- 控制与转发分离。转发平面由受控转发的设备组成，转发方式以及业务逻辑由运行在分离出去的控制面上的控制应用所控制。

- 控制平面与转发平面之间的开放接口。SDN为控制平面提供开放的网络操作接口，也称为可编程接口。通过这种方式，控制应用只需要关注自身逻辑，而不需要关注底层更多的实现细节。

- 逻辑上的集中控制。逻辑上集中的控制平面可以控制多个转发面设备，也就是控制整个物理网络，因而可以获得全局的网络状态视图，并根据该全局网络状态视图实现对网络的优化控制。

1.2 SDN的实例——OpenFlow

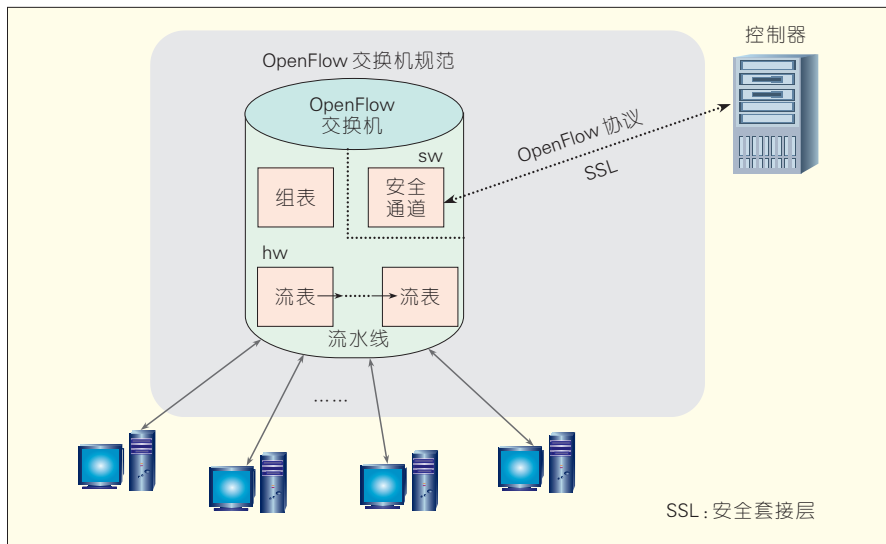
提到SDN，必然要涉及控制平面与转发平面之间的接口定义，作为SDN架构中控制平面与转发平面之间转发抽象定义的第一个实例，OpenFlow协议在提出的初期就受到业界的广泛关注，后经过GENI项目的推进以及多家IT/互联网企业的参与，现已形成强大的产业联盟。因

此，业界普遍选择OpenFlow协议作为SDN中控制平面与转发平面之间的通信接口，并围绕其建立一系列的网络操作系统、控制应用以及相关的组件等。

OpenFlow的成功与其简单高效的特点密不可分。OpenFlow架构十分简洁，如图2所示，OpenFlow交换机由内部转发流表以及用来与外部控制器进行通信的安全通道组成。为了使远端的控制应用能够对转发平面的网络设备进行编程，OpenFlow协议指定了一系列基本操作。通过

OpenFlow，SDN控制应用可以直接访问并操控转发平面中的网络设备，OpenFlow交换机则使用流表流水线来进行数据包匹配与数据包转发。如图3所示，OpenFlow交换机中的每个流表中含有多条流表项，每条流表项由匹配域、优先级、统计域以及一系列的转发指令组成。控制器可以利用OpenFlow协议对这些流表项进行添加、删除或者修改操作，当数据包匹配到某个流表项时，该表项对应的指令集合将被触发。OpenFlow支持最基本的动作，包括转发、丢弃、群组操作、入队以及加/去标签等。OpenFlow通过对网络中“流”的控制来达到对网络进行灵活控制的目的。

此外，OpenFlow支持的多种控制方式也有利于其在多种网络环境中的部署。首先，基于OpenFlow的SDN完全不会受网络规模的影响，分布式控制器能够很好地提高网络的可扩展性。其次，OpenFlow中对“流”的定义十分灵活，这也就使得能够对网络进行更灵活的控制。例如，在需要进行细粒度控制的网络场景中，可以逐流建立流表项并通过逐微流的精确匹配实现对网络的精确控制；在流量较大的网络环境中，可以使用通配流表来对汇聚流进行转发，降低流表项数目对转发节点内存空间的冲击。



▲图2 OpenFlow架构

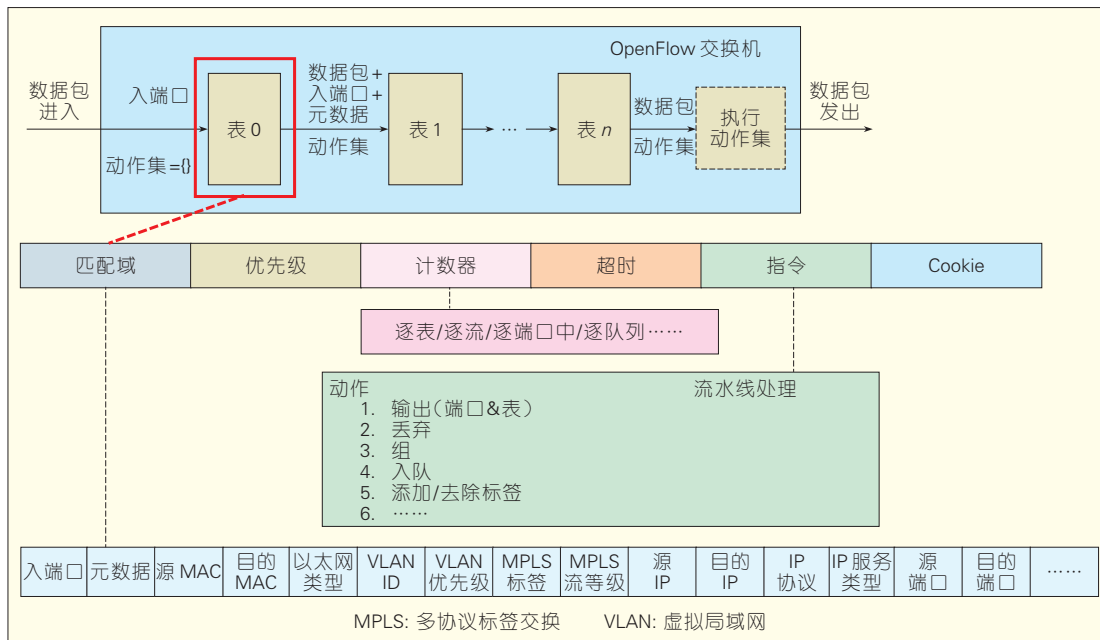


图3
OpenFlow流表示例

最后,控制平面建立流表项的方式也十分灵活。控制平面既可以被动地建立流表项,由新流来触发流表项的建立,也可以主动地建立流表,提前对转发设备的转发行为进行配置,从而提高转发效率。OpenFlow细粒度的、基于流的转发能力,使得网络控制变得十分灵活,使其能够实时地对网络应用、用户、会话的需求做出不同的响应。

1.3 SDN 网络虚拟化工具

——FlowVisor

网络虚拟化是未来网络的发展方向之一。在基于OpenFlow的SDN中,FlowVisor能够有效地实现网络虚拟化。

FlowVisor是一个特殊的OpenFlow控制器,主要作为OpenFlow交换机与多个OpenFlow控制器之间的透明代理。FlowVisor可以将物理网络分成多个逻辑网络,也称为网络分片,并为网络管理人员提供广泛定义的规则以实现对网络的管理。FlowVisor通过抽象层来分割物理网络,它位于一组交换机和SDN或多个网络之间,可管理带宽的使用、CPU利用率的管理统计和流表的配置等,这十分类似

于管理程序位于服务器硬件和软件之间,以支持多个虚拟操作系统的运行。正如管理程序依赖于标准x86指令来虚拟化服务器一样,FlowVisor使用标准OpenFlow指令集来管理OpenFlow交换机。由于所有这些规则都是通过流量表定义的,因此,无论是从带宽还是CPU使用率来看,网络虚拟化几乎没有增加额外的开销。

目前FlowVisor已经被部署在美国各地的一些大型校园网中(例如斯坦福)。两个以研究为重点的大型网络GENI和Internet 2上也在使用FlowVisor进行网络虚拟化的管理。

2 SDN 的发展与应用

2.1 SDN 广受关注

当前,SDN已逐渐成为了学术界、工业界以及标准化组织广泛关注并讨论的热点。

在学术界方面,近年来,世界各国纷纷开展了围绕着SDN的科研项目。美国科学基金会(NSF)支持的GENI计划^[4]在OpenFlow发展的初期就率先对OpenFlow予以了资金支持并实施了“GENI Enterprise”计划。目前,OpenFlow已经在美国多所高校、

Internet 2以及其他的多个科研机构中得到部署。欧盟第七框架计划也于2010年开始支持SDN的相关研究,并支持了OFELIA^[5]、SPARC^[6]以及CHANGE^[7]等研究项目。2012年4月,SDN领域中又诞生了一个新的研究机构:美国斯坦福大学与伯克利大学联合12家公司成立了开放网络研究中心(ONRC)^[8],其中包括了Cisco、HP、华为及Juniper等网络公司。目前,SDN的相关研究已经遍布全球的各个角落,比较有影响的研究机构包括斯坦福大学、普林斯顿大学、康乃尔大学、多伦多大学、巴西CPqD、爱立信研究中心、NEC研究中心、HP研究中心、德国电信T-Labs研究中心等等。于此同时,SDN/OpenFlow也在多个国家得到部署,主要包括:美国、巴西、加拿大、德国、英国、意大利、西班牙、日本等。

SDN在得到学术界的普遍认可的同时,工业界也对这种新的网络架构表达出浓厚的兴趣。从OpenFlow推出开始,NEC公司就对OpenFlow的相关硬件进行了跟进性的开发,并推出了多款支持OpenFlow协议的交换机。此外,HP、Juniper、pronto等公司也相继推出了支持OpenFlow的交换

机、路由器、无线网络接入点(AP)等网络设备。2011年,开放网络基金会成立^[9],专门负责 OpenFlow 标准和规范的维护和发展,并召开了第一届开放网络峰会,为 OpenFlow 和 SDN 做了很好的介绍和推广,该基金会成员基本涵盖了所有网络及互联网领域的商业巨头。在2012年初召开的第二届开放网络峰会上,Cisco 宣布投入1亿美元于一个专门致力于 SDN 产品研发的内部创业公司 Insieme;Google 宣布已经在其全球各地的数据中心骨干网络中大规模地使用 OpenFlow/SDN。最近,Facebook 也宣布在其数据中心中使用了 OpenFlow/SDN 技术。

在标准化方面,开放网络基金会(ONF)致力于推动 SDN 技术的标准化和商业化,已于2012年4月发布了 OpenFlow 协议的最新 v1.3 版本。此外,作为互联网协议标准的主要制订者,互联网工程任务组(IETF)也在积极开展 SDN 的相关工作。2011年11月 IETF 第82次会议上的 SDN BoF 吸引了包括运营商以及设备商在内的300多人参加,主要讨论了 SDN 的需求、架构以及典型的应用场景。在 IETF 第84次会议上,SDN 更是成为 IETF 技术全会的热门话题,Cisco、Google 以及马里兰大学分别进行了 SDN 相关的主题演讲。此外,负责进行互联网演进相关的相对长期性研究的互联网研究任务组(IRTF),也于 IETF 84 会议上举行了 SDNRG 会议,并引起的极大关注。

2.2 SDN 发展迅速

经过了几年的发展,SDN 的相关技术正呈现着百花齐放的发展态势。

在控制平面方面,从第一个控制器平台 NOX 开始,业界已逐渐出现一系列的基于 OpenFlow 的网络控制器平台。这些控制器平台在向下封装与交换机通信的 OpenFlow 协议的同时,也向上层网络控制应用提供相对更高层的开放编程接口。当前主流的控制平台主要包括:NOX,

POX, Onix, Floodlight, Beacon 以及 Maestro 等。

在转发设备方面,SDN 的转发设备已不再局限于有线转发设备。支持 OpenFlow 的转发设备能够部署在更广阔的网络环境中,如适用于虚拟环境的 Open vSwitch 以及能够在无线环境中的 Pantou 等。于此同时,随着设备厂商的加入,支持 OpenFlow 的转发设备也正逐渐从基于软件的转发设备向基于高速硬件的转发设备过渡。

在控制平面与转发平面的通信接口方面,开放网络基金会 ONF 于2012年6月发布了 Openflow v1.3 版本。与早期版本相比,新版本的 Openflow 协议更加灵活。除了保留 OpenFlow v1.1 版本中对多级表、群组表、标签以及虚端口等特性的支持,以及 OpenFlow v1.2 版本中对 IPv6 以及可扩展匹配的支持之外,OpenFlow v1.3 版本规范了基于参数类型、长度和数值(TLV)的能力表达框架,还增加了对逐流计量以及 IPv6 扩展头处理等功能的支持。OpenFlow v1.4 版本的标准化工作计划也将在2013年上半年完成。

随着 SDN 相关技术研究的不断深入,其研究活动主要可以在以下方面展开:

(1) SDN 控制应用的研究。SDN 这种开放的网络架构能够用于多种网络环境中,不同场景中 SDN 控制应用需要从不同的网络环境特点出发,因地制宜,合理有效地进行有针对性的控制应用设计。

(2) SDN 网络抽象。在 SDN 架构中,控制器平台向上层控制应用提供高层抽象应用程序编程接口(API),也称为“北向接口”。现有的控制器平台实现已经提供了一些基本的抽象,然而利用基本抽象来编写网络控制程序往往也是比较复杂并且容易出错,如何去设计更高层的网络编程抽象也是一个需要解决的问题。当前,业界比较认可的编程 API 需求有

提供通用的编程抽象,能够支持多种网络环境中的不同的网络控制功能;提供高层抽象,使编程人员能够更容易地控制网络;提供分布式抽象,以支持网络和应用的可扩展性,使程序的编写不受底层网络分布式结构的束缚;提供支持模块化的控制程序;提供可移植性,使控制程序能够得到最大限度的重用等等。

(3) SDN 调试及排错技术。由于 SDN 的行为完全由软件决定,与所有程序一样,这些控制程序同样会存在一定的漏洞,验证网络行为与控制策略的一致性也成为了现阶段的重要问题。

当前的解决方案有:利用模型校验以及符号执行去验证控制器代码的正确性;利用断点及数据包回溯技术来对 SDN 进行排错;以及通过对数据平面配置的静态分析来检查网络的联通及隔离错误等等。

(4) 分布式控制平面的设计。虽然 OpenFlow 支持分布式控制,但将网络智能逻辑上集中化之后所带来的可用性、可扩展性等问题仍需完善。在分布式 SDN 架构中,控制器之间的信息复制决定了系统的可扩展性,在信息全复制的情况下,整个系统将很快会陷入系统瓶颈,因此需要对网络中各种信息的更新频率进行更为精确的分析,从而能够给出较为有效的解决方案。

(5) 硬件优化技术。利用 OpenFlow 的特性来对转发硬件进行优化,OpenFlow 协议从 v1.1 版本之后将转发面抽象成多级流水线,十分类似于当今交换机 ASIC 以及网络处理器的结构。那么,如何在不过分增加转发硬件复杂度的前提下,尽可能地提高转发平面的可编程能力(如可定义的表/流水线结构)也是一个需要进一步研究的重要问题。

随着研究的不断深入以及技术的持续发展,SDN 关键技术将逐渐趋于完善,未来的网络将会越来越依赖于软件,因此互联网将可能会进入

SDN时代。

2.3 SDN 应用广泛

SDN能够在多种网络环境中得到应用,包括数据中心网络、企业网络、广域网以及移动网络等^[10]。

首先,在数据中心网络环境中使用SDN,可以将网络和计算资源更加紧密地联系在一起,从而实现高效的控制。在数据中心内部,利用SDN的优势,可以有效地进行数据中心中的路径优化和负载均衡,提高数据中心中资源利用率以及降低数据中心的能量消耗。另一方面,在多个数据中心之间利用SDN网络虚拟化技术以及逻辑上集中式的控制技术,可以轻松地完成应用到虚拟专用网(VPN)的映射以及虚拟机的迁移。

其次,使用传统技术对大型企业网络进行管理是一种十分复杂的任务。在企业网络中利用SDN技术,能够极大地减轻网络管理的复杂度,企业网络管理人员只需要通过定义整网的管理策略就能够直接对企业网络进行控制,而不需要进行逐设备的配置,提高了企业网络的可靠性。

最后,在广域网及移动网络中使用SDN技术也将可能具有众多好处。SDN逻辑上集中的控制平面能够更好地实现网络融合,使统一管理

成为可能。利用SDN技术可以在固定网络和移动网络中实现无缝控制、提高VPN管理的灵活性等。已有企业公司利用OpenFlow技术对移动网络进行高效、灵活的网络管理,并实现了多种移动通信方式之间的实时动态切换以及移动回程网络的节能功能。在运营商网络中利用SDN技术不但能够降低网络管理难度,还能够加快业务部署速度,提高网络服务的适应能力。

3 结束语

通过控制与转发的分离,SDN能够降低网络管控的复杂度,提高网络的可靠性及安全性,提供多种粒度的网络控制,从而提高用户体验并促进网络创新。当前SDN已逐渐成为了学术界、工业界以及标准化组织广泛关注并讨论的热点。未来网络将越来越依赖于软件,SDN这种新颖的、动态的网络架构将得到更广泛的应用,进而促进网络技术的不断创新。

参考文献

- [1] MCKEOWN N, ANDERSON T, BALAKRISHNAN H, et al. OpenFlow: Enabling innovation in campus networks[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(2): 69-74.
- [2] CASADO M, FREEDMAN M, PETTIT J, et al. Ethane: Taking control of the enterprise[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2007, 37(4): 1-12.

- [3] GREENE K. R10: Software-defined networking[R]. MIT Technology Review, 2009.
- [4] ANDERSON T, REITER M K. GENI: Global Environment for Network Innovations[R]. GENI Facility Security, GDD-06-23.2006.
- [5] OFELIA. OpenFlow in Europe: Linking infrastructure and applications[EB/OL]. [2012-10-10]. <http://www.fp7-ofelia.eu/>
- [6] SPARC: Split Architecture Carrier Grade Networks[EB/OL]. [2012-10-10]. <http://www.fp7-sparc.eu/>
- [7] CHANGE Project[EB/OL]. [2012-10-10]. <http://www.change-project.eu/>
- [8] ONRC: Open Networking Research Center [EB/OL]. [2012-10-10]. <http://onrc.net/>
- [9] ONF: Open Networking Foundation[EB/OL]. <https://www.opennetworking.org/>
- [10] IETF 82 Proceedings: Software Driven Networks (SDN) (BoF) [EB/OL]. [2012-10-10]. <http://www.ietf.org/proceedings/82/sdn.html>

收稿日期:2012-12-12

作者简介



王文东,北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室教授,网络技术研究院副院长;目前的主要研究方向为新一代互联网体系架构和协议、移动互联网技术与应用、网络和业务的服务质量控制与管理。



胡延楠,北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室在读博士研究生;主要研究方向为软件定义网络、未来网络体系架构、网络优化等。

综合信息

GoTa被ITU国际标准采纳 中国在通信标准领域再获突破

【本刊讯】2012年12月13日消息,近日在瑞士日内瓦举办的国际电信联盟(ITU)会议上,由中国提交的全球开放式集群架构(GoTa)数字集群标准被ITU国际标准采纳,此举是中国在世界无线通信标准领域取得的又一重要成果。GoTa是由全球领先的综合通信解决方案提供商——中兴通讯通过创新并联合工信部电信研究院等中国科研机构共同开发的、面向下一代的数字集群标准。

集群通信系统是一种用于集团调度指挥通信的移

动通信系统,具有高度的安全性,多应用于国民经济重要部门与专业应急移动通信领域,以进行快速调度及安全保障工作,如在奥运会、全运会、欧洲杯等大型体育赛事中,以及在公安、消防、城市执法、港口、物流等多个行业使用。

由中兴通讯领衔开发的GoTa是全球领先的专业数字集群标准,2008年经工信部批准成为中国的行业标准。其依托领先的3G技术并在其基础上进行了改进和创新,具有较大的技术和业务发展空间,适应向未来宽带集群、多媒体集群演进,可满足集群通信未来发展的需求。

决策级数据融合技术在远程医疗监护中的应用

Decision-Level Data Fusion Technology in Remote Medical Care Systems

摘要:文章通过归纳全球最新研究成果,提出应用于远程医疗监护中的数据融合模型。文章指出主流的医疗数据融合技术可以分为基于知识与基于样本两大类,并做了全面细致的探讨。文章认为基于最小二乘支持向量机(LSSVM)的数据融合技术优势明显,非常适用于远程医疗监护应用场景。

关键词:决策级;基于知识的系统;支持向量机(SVM);数据融合;医疗监护

Abstract: In this paper, we summarize the latest research and propose a general model for a data-fusion system for remote medical care. Mainstream decision-level data-fusion technology is classified as knowledge-based or sample-data-based. Here, we analyze both of these subtypes. We also suggest that the least-squared support vector machine (LSSVM) is the most appropriate technology because of its high performance and efficiency.

Keywords: decision level; knowledge based system; support vector machine (SVM); data fusion; medical care

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0044-05

数据融合技术指利用计算机技术将来自多个传感器或多源的观测信息在一定准则下加以自动分析、综合,并据此完成所需要的决策、判断和估计任务。IEEE于1999年提出的数据融合概念中将数据融合描述为一种包含了多种融合算法的形式化体系,其主要功能是将多源数据进行协同化处理。

数据融合技术最早起源于军事领域,在40多年时间里,该技术在各大国军事电子系统中均被视为关键技术领域,发展迅猛。如今,随着世界信息化进程的不断深入,各类信息铺天盖地。为了减轻人工处理信息的工作量,提高信息处理系统的鲁棒性、容错性和时效性,满足海量信息

的处理需求,数据融合技术被越来越多地应用在了民用领域。智能机器人技术的核心便是数据融合技术,这已经成为当前的研究热点;智能交通系统通过摄像头、麦克风等多类传感设备的信息融合来实现交通监视和智能导航;工业过程监控中通过对过程信息的融合分析,识别系统运行的状态;在现代医学中,融合多体征传感器数据并由计算机对病人病情进行智能诊断已成为一种不可或缺的技术手段。

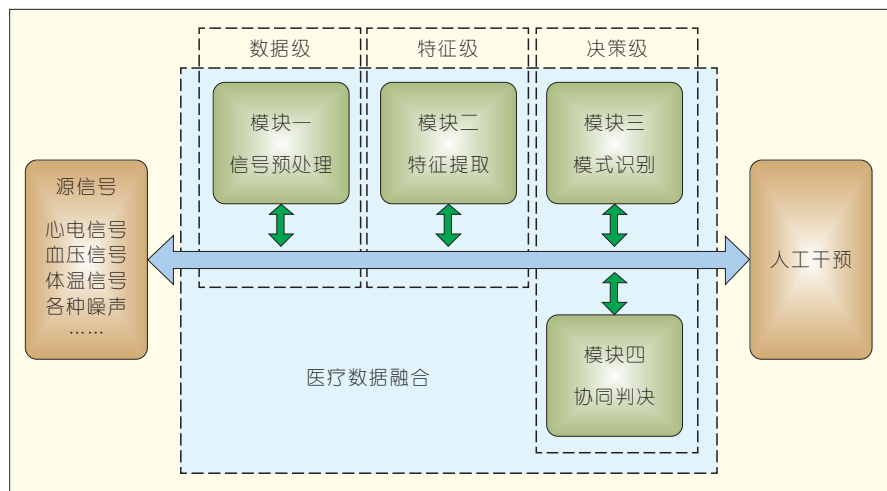
目前的远程医疗监护系统,多是将病人的多项生理信息直接输送到监护中心,再设置阈值报警,这样不但缺乏智能性,较高的误判率也为实际诊断造成不小的干扰。智能医疗

娄梦茜/LOU Mengqian¹
邓硕/DENG Shuo²
孙知信/SUN Zhixin¹

(1. 南京邮电大学物联网学院,南京 210003;
2. 中兴通讯股份有限公司,南京 210093)
(1. College of Internet of Things, Nanjing
University of Posts and Telecommunications,
Nanjing 210003, China;
2. ZTE Corporation, Nanjing 210093, China)

数据融合技术的提出为解决这一问题打开了通道。医疗数据融合技术,涉及到临床医学、信号处理、模式识别、人工智能等多个学科领域,并包含了多生理信号采集、噪声处理、波形检测、参数测量、诊断解释等多方面的研究内容。学界普遍将广义的数据融合系统划分为3级:数据级、特征级、决策级,而一套完整的多生理数据融合系统,需经历4个任务模块^[1-2],每一级与各任务模块的对应关系如图1所示。

信号的预处理和特征提取主要运用的是信号处理技术,其发展已较为成熟,相关综述文献也较多。文章主要分析医疗数据融合的核心部分:决策级的数据融合技术。如图1所示,医疗数据融合的决策级由模块三和模块四组成,由其共同完成智能判决、智能诊断等核心功能。本文第1节分析了基于知识经验的决策级数据融合技术;第2节探讨了基于样本数据的决策级数据融合技术;第3节对医疗数据融合技术做出总结性概



▲ 图1 医疗数据融合一般模型

括,并探索其未来的发展趋势。

1 基于知识经验的决策级数据融合技术

基于知识经验的决策级数据融合技术以临床知识经验为依托,利用医学知识来解决数据分类和疾病诊断等问题,具有逻辑性强、表达直观、易于理解和解释等优势,在疾病诊断领域中被广泛使用。这类技术既可用于单体征的诊断识别,也同样适用于多体征的协同判决。在这两种应用的具体场合中,其技术表现形式略有不同。

1.1 单体征诊断识别技术

单体征疾病的诊断工作主要在于将提取出的特征信息进行分类识别,从而判断出病人身体状况。医生可以将自身经验结合数据资源,将知识源(数据资源)及判决逻辑存放于知识库,并封装成可由计算机自行处理的软件系统,即基于知识的系统,当其表现出专家级问题求解能力时即可称为专家系统。

基于知识建模的方法已成功地应用在很多心电图诊断问题中,并且出现了许多实用的系统。文献[3]对2000年以前基于知识的心电图诊断技术进行了综述研究,详细分析并比较了AND/OR图、一阶谓词逻辑、程

序语义网以及模糊逻辑等知识表示方法及与之相应的推理方法在心电图自动诊断中的应用,并列举了相应的诊断系统实例。文献[4]采用产生式规则对临床心电图知识进行建模,实现了正常、心肌梗死、心肌缺血3类心电图的诊断,并在对真实心电图数据的诊断中取得了95.8%的正确率。文献[5]采用模糊化的产生式规则表达心电图诊断知识,成功用于长期监护病人心肌缺血时期的检测。

1.2 多体征协同判决技术

多体征协同判决技术需要将病人的多项体征信息结合起来,再对疾病进行综合判定。其判决规则受被测体征的种类以及疾病种类的影响,具有很强的个性。目前研究较多的有心电-血压、心电-脉搏等心血管疾病协同判决方法,以及心电-呼吸、血压-呼吸等呼吸道疾病协同判决方法等。

心电-血压协同判决机制主要用于以下几个方面:利用动脉血压波(ABP)与心电波形(ECG)各自的特征点及特殊时间点的相似度来对其中一项的识别结果进行检测判决;利用较易检测的心电信号,通过一些算法,计算出相应的血压波特征值,从而诊断患者的心血管状况;通过两者特征点的融合运算检测患者心血

管功能也是一大应用趋势。

文献[6]通过测算心电-血压延时时长,运用模糊逻辑算法,可以有效抑制血压监护仪的错误报警率。文献[7]提供了一个较为简单的方法,通过对心电及血压信号进行相关处理,检测血压信号质量,排除异常信号干扰。文献[8]综合患者心电图、血压值以及体表阻抗,来检测是否患有呼吸窦性心律失常。文献[9]通过一个二分插值递推辨识模型测算出beat-to-beat参数,并描述心率(HR)及ABP的变化规律,从而检测患者血管动力及神经调节机制。

心电-脉搏协同判决方法是近年来研究较多的协同判决方法,二者相关度较高,且都易于检测,其波形特征值之间的相似度与相异度都可作为重要的诊断参数。

文献[10]通过检测ECG信号的R峰值与动脉搏信号的波峰两大时域特征,可以计算出两者时间差作为脉搏传导时间(PTT),相比于传统的互功率谱与双频谱相位特性等频域计算法,该方法精度更高,并且实时性更强,但是却会产生较大的运算量。文献[11]通过检测心电与脉搏的信号特征变化,用线性分析法实时反应被检测者情绪的波动。

文献[12]融合心电波形与脉搏传导时间完美生成血压波形,基于心电波形稳定可靠等特性,生成的血压波形具有更强的鲁棒性。该方法为心电、血压、脉搏三者的相互结合开辟了广大的空间。

将心血管体征信号用于对呼吸系统疾病的判决诊断中,这是近年来研究较新、发展较快的技术领域。心电-呼吸协同判决法在对某些疾病的诊断中显得尤为需要,如睡眠呼吸暂停综合症等。

文献[13]研究了一种从心电波形中推导出呼吸特征的方法,经对比证实,从心电信号中推倒出的呼吸特征值与原始呼吸特征相吻合。文献[14]长期监测睡眠呼吸暂停综合症患者

日夜呼吸及心电状况,为以后该疾病的诊断治疗提供了更可靠更权威的数据资料。在此基础上,文献[15]重点研究患者呼吸暂停或低通气时心电特征的变化情况,从而反映出呼吸状态对心电状态的影响。文献[16]引入血氧饱和度这一特征参量,结合传统心电信号分析,检测患者异常呼吸的频率及危险程度。文献[17]更在前人研究的基础上,提出使用血压监测或光体积描记术(PPG)等先进技术检测异常呼吸状态的方法,给出了多种生命体征与呼吸率之间的联系方案,并为呼吸疾病诊断方法拓宽了思路。

多体征协同判决技术目前仅能利用少数几种生命体征信息,且大多用在一些特定的疾病诊断中,缺乏普遍适用的融合诊断理论知识。而且经典样本数据的缺乏,也严重影响了多体征协同判决方法研究的广泛化程度。

基于以上实际问题,并参考目前的技术发展趋势,远程医疗监护数据融合系统可发展出这样一种思路:在少数几种临床知识经验较为丰富的疾病监测诊断中使用多体征协同判决方法,如心血管疾病、呼吸系统疾病等;而其他相对独立的生命体征,如体温、血糖、血氧等参数,仍采用传统的阈值判别法进行监测;利用冗余机制与协同机制,对单体征判决结果进行反馈。如此将协同机制与阈值判决法相结合,既可解决目前主流监护系统智能化程度低等问题,也能充分利用体温等基本生命体征。

1.3 优缺点分析

现有的各种基于知识建模的疾病诊断方法较为充分地利用了临床诊断知识,具有知识表达直观、易于理解和解释,便于进行知识查询、更新和维护等优点。其缺点主要在于所建模型的正确程度过分依赖于知识获取及知识表达的准确程度:医学知识多属于经验科学,如在心电图诊

断过程中,从不同知识源获取来的心电图知识可能并不一致,再加上临床心电图诊断涉及到的知识内容繁多,不同诊断知识之间相互关系繁杂,都使得知识获取是一个耗时并且耗力的过程。

2 基于样本数据的决策级数据融合技术

基于样本数据的融合技术需要典型样本数据库为支持,因此只能应用于个别拥有经典数据库的体征诊断识别中,如心电信号。也就是说,基于样本数据的融合技术仅能应用于个别单体征信号的分类诊断,无法运用于多体征的协同判决。基于样本数据的方法以分类器设计为其技术核心,按照所采用分类器形式的不同,主要可分为神经网络法(NN)、支持向量机法(SVM)以及在SVM的基础上进行优化的最小二乘支持向量机法(LSSVM)。

2.1 基于神经网络法的智能识别技术

基于神经网络的融合算法主要思想是首先通过预处理将原始传感器信息转化为神经网络的输入,然后由反馈部分将预处理结果调整到最佳可信度,从而得到所需的精度,最后由神经网络完成信息融合。目前,研究人员将人工神经网络技术与多种其他算法相结合,在医学诊断领域发展前景广阔。

文献[18]提出了一种适用于便携终端的心电信号融合方案。该方案证明通过人工神经网络对提取的特征值进行分类,可有效降低设备复杂度,提高数据融合的效率 and 精确度。文献[19]提出了一种基于神经网络的高频心电信号(HFECG)独立识别方案。做到了在短时间内用尽可能少的样本将HFECG转移至NN中,有效提高了数据识别准确率和分类效率。

文献[20]将神经网络应用于冠心病监护病房(CCU)的智能诊断系统,采用人工神经网络对疾病进行分类,

并通过模糊专家系统对病人的病情进行诊断决策,采用可回溯病例分析法,可以对病人生理信息进行监测、分析、解释,并对所有反映病人生理信息的电气信号进行处理、编辑以及存储。

文献[21]比较了模糊神经算法和神经网络算法两者对心电信号ECG处理的精确性。经样本测试,模糊神经算法具有更好的表现。

神经网络的并行分布式处理方式及其特有的高度容错性和自适应学习能力,使它在模式识别领域内有很大的应用潜力。但是,神经网络技术需要大量样本数据对其进行训练,训练时间通常较长,且对训练样本的广泛性和代表性有一定的要求。目前尚未建立起成熟完善的理论体系和样本数据库,网络结构、参数的选择无一定理论可遵循,而且一般基于经验风险最小化原则进行学习,容易出现“过学习”现象而导致推广能力下降。

2.2 基于支持向量机的智能识别技术

SVM是建立在统计学习理论和结构风险最小化原则基础上的一种机器学习和模式分类方法。SVM进行分类的基本思想是:通过用满足Mercer条件的核函数定义的非线性变换,将原始特征空间变换到新的高维特征空间,在变换后的高维特征空间中求取最优线性分类界面,使得该分类界面不但能将两类无错误地互相分开,而且可以使两类的分类间隔最大。

文献[22]从患者夜间心电图中提取有用特征,并利用SVM,对阻塞性睡眠呼吸暂停综合征进行自动分类识别。

文献[23-24]运用SVM对心跳时间序列进行分类,并用统计学方法和信号分析技术从信号中提取特征。文献[25]在SVM的基础上,提出了一种有效的心电信号分类学习方案。从一个理想的小样本训练集开始,该

方案重复地从目标大数据集中选择心电信号样本,并将它们添加到训练集中,直到该训练集与典型模板相匹配。该方案能够在确保分类准确性的同时,最大限度地减少样品数量,提高效率。

文献[26]提出基于SVM与粒子群优化算法对心电信号进行分类识别。该方案提出一个粒子群优化算法的新颖分类系统,用来提高SVM分类机的泛化性能,相较于其他的一些分类方案,该方案大幅提升了分类准确率。

SVM具有良好的泛化能力,在很大程度上克服了传统机器学习中局部最优解等问题,并在解决小样本、非线性和高维模式等问题方面有独特的优势,但其性能仍受训练样本的限制,实际应用中也存在计算复杂度高等诸多问题。

2.3 基于LSSVM的智能识别技术

为了减少SVM的计算复杂度,Suykens等提出了LSSVM,用等式约束代替标准SVM不等式约束,将二次规划问题转化为可用最小二乘法求解的线性方程组求解,这样以来降低了计算复杂性,从而可以大大提高求解速度^[27]。

文献[28]提出一种基于LSSVM的可靠心率识别方案。文献[29]将基于SVM的正交最小二乘算法应用于对窒息婴儿的哭声进行分类,获得了较高的分类精度。文献[30]在此基础上对算法进行进一步优化,达到了更高的精度。但这两个系统都需求较大的样本数据,效率较低。

文献[31]提出了一种基于层次法的脑磁共振(MR)图像自动分割技术。研究中,将作为先验信息的大脑概率图谱与SVM相结合,采用LSSVM生成脑组织概率图谱,得到了不错的分割效果。

文献[32]提出了从心电图自动识别阻塞性睡眠呼吸暂停综合征(OSAS)方案。该方案在特征识别阶

段使用了LSSVM作为分类器,实现了对特征参数的精确分离。

相比于其他分类算法,LSSVM算法的分类准确度高,所需样本数少,具有高度泛化能力,且不用估测传统SVM中的高阶导数,大大降低了运算复杂性,可被视为一种较为理想的自学习分类算法。

2.4 优缺点分析

现有的各种基于样本建模的疾病诊断方法具有可自动完成知识获取,诊断推理过程简单快捷,效率较高等优点,其缺点在于分类性能依赖于训练样本的选择,受样本数量的限制,训练耗时长,工作量巨大,且诊断过程不易被理解和解释,无法对医疗知识进行充分利用,所以其应用多局限于少数几种单体征病理信号的分类识别。

3 结束语

单纯从技术性能来讲,基于样本数据的决策级数据融合技术的综合性能明显强于基于知识经验的,尤其是基于LSSVM的融合技术,具有诊断过程简单快捷,训练时间相对较短,分类精度趋于完美等重要优势,其缺陷在于需要典型样本数据为依托。对于单种生命体征信号,如心电信号,早在上世纪90年代一些国家就已建立起了完善的典型医用数据库,样本数据的问题已经得到很好解决,所以基于样本数据的决策级数据融合技术将在单种生命体征的分类诊断中拥有广阔的发展前景。但是,在样本数据相对缺乏的疾病诊断和多体征协同诊断领域,基于知识经验的医疗数据融合技术仍然占据了主流地位。

参考文献

[1] LUCEY P, COHN J, LUCEY S, et al. Automatically Detecting Pain Using Facial Actions[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops(AACII'09), Sep 10-12, Amsterdam, Netherland. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2009:

8p.

- [2] ARCELUS A, GOUBRAN R, SVEISTRUP H, et al. Context-Aware Smart Home Monitoring through Pressure Measurement Sequences [C]//Proceedings of the IEEE 5th Medical Measurements and Applications (MeMeA'10), Apr 30-May 1, 2010, Ottawa, Canada. Piscataway, NJ, USA:IEEE,2010: 32-37.
- [3] PRESEDO J, VILA J, BARRO S, et al. Fuzzy modelling of the expert's knowledge in ECG-based Ischaemia detection[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 77(1): 63-75.
- [4] KUNDU M, NASIPURI M, BASU D K. Knowledge-Based ECG Interpretation: A Critical Review[J]. Pattern Recognition, 2000, 33(3): 351-373.
- [5] BORTOLALL G, PEDRYCZ W. Fuzzy descriptive models: An Interactive Framework of Information Granulation[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2002, 10(6): 743-755.
- [6] HUG C W, CLIFFORD G D. An Analysis of the Errors in Recorded Heart Rate and Blood Pressure in the ICU Using a Complex Set of Signal Quality Metrics[C]//Proceedings of the 2007 Computers in Cardiology Conference (CCC'07), Sep 30-Oct 3, 2007. Piscataway, NJ, USA:IEEE,2007: 641-644.
- [7] ALL W, ESHELMAN L. Morphograms: Exploiting Correlation Patterns to Efficiently Identify Clinically Significant Events in Intensive Care Units[C]//Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society(IEMBS '04):Vol 1, Sep 1-5,2004, San Francisco, CA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE,2004:554-557.
- [8] BALOCCHI R, MICHELASSI C, VARANINI M, et al. A Methodology for Evaluating the Influence of the Respiratory Component in Measuring the Complexity of Heart Rate Variability[C]//Proceedings of the 1992 Computers in Cardiology Conference(CCC'92), Oct 11-14, 1992. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1992: 407-410.
- [9] MAINARDI L T, BIANCHI A M, PIAZZA S, et al. Multichannel Time-Variant Spectral and Cross-Spectral Parameters for the Evaluation of Cardiovascular Variability Signals before Syncope[C]//Proceedings of the IEEE 17th Annual Conference Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '95):Vol 1, Sep 20-25, 1995, Montr é al, Canada. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1995: 163-164.
- [10] SAHOO A, MANIMEGALAI P, THANUSHKODI K. Wavelet Based Pulse Rate and Blood Pressure Estimation System from ECG and PPG Signals[C]//Proceedings of the 2011 International Conference on Computer, Communication and Electrical Technology (ICCCET'11), Mar 18-19, 2011, Tirunelveli, India. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2011:285-289.
- [11] KATO T, KAWANAKA H, BHUIYAN M S, et al. Classification of Positive and Negative Emotion Evoked by Traffic Jam Based on Electrocardiogram (ECG) and Pulse Wave [C]//Proceedings of the 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC'11), Oct 5-7, 2011, Washington, DC, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2011:1217-1222.
- [12] AHMAD S, CHEN S, SOUEIDAN K, et al.

- Electrocardiogram-Assisted Blood Pressure Estimation[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering,2012,59(3): 608-618.
- [13] CAGGIANO D, REISMAN S. Respiration Derived from the Electrocardiogram: A Quantitative Comparison of Three Different Methods[C]// Proceedings of the IEEE 22nd Annual Northeast Bioengineering Conference, Mar 14-15,1996, New Brunswick, NJ,USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE,1996:103-104.
- [14] VARANINI M, MORTARA A, RACITI M, et al. Detection of Apnea during 24-Hour Ambulatory Monitoring of ECG and Respiration in Chronic Heart Failure Patients with Cheyne-Stokes Breathing[C]// Proceedings of the 1999 Computers in Cardiology Conference (CCC '99), Sep 26-29, 1999. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 1999:459-462.
- [15] VARANINI M, MORTARA A, RACITI M, et al. Apnea Detection from 24-Hour Recordings of Respiration in Chronic Heart Failure Patients[C]//Proceedings of the 2000 Computers in Cardiology Conference(CCC '00),Sep 24-27, 2000 . Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2000: 489-492.
- [16] ALI S Q, JEOTI V. ECG and Blood Oxygen Level Based Sleep Apnea Study and Detection[C]//Proceedings of the 2010 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES '10), Nov 30-Dec 2, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2010:285-290.
- [17] MADHAV K V, RAM M R, KRISHNA E H, et al. Estimation of Respiration Rate from ECG, BP and PPG Signals Using Empirical Mode Decomposition[C]//Proceedings of the Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC '11), May 10-12,2011, Hangzhou, China. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2011:4p.
- [18] PANTELOPOULOS A, BOURBAKIS N. Efficient Single-Lead ECG Beat Classification using Matching Pursuit Based Features and an Artificial Neural Network[C]// Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine (ITAB '10), Nov 3-5,2010, Corfu, Greece. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2010:4p.
- [19] TASHIRO F, AOYAMA T, SHIMUTA T, et al. Individual Identification with High Frequency ECG : Preprocessing and Classification by Neural Network[C]//Proceedings of the 2011 Annual International Conference in Medicine and Biology Society(EMBC '11), Aug 30-Sep 3, 2011, Boston, MA, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2011: 2749-2751.
- [20] SIVATHASAN S, CECELJA F, BALACHANDRAN W. ECG Diagnosis using Neural Network and Fuzzy Expert System [C]//Proceedings of the 17th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference(IMTC '00):Vol 2, May 1-4, 2000, Baltimore, MD, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2000:988-992.
- [21] TONEKABONIPOUR H, EMAM A, TESHNELAB M, et al. Comparison of Neuro-Fuzzy Approaches with Artificial Neural Networks for the Detection of Ischemia in ECG signals[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC '10), Oct 10-13,2010, Istanbul, Turkey. Piscataway, NJ, USA:IEEE,2010:4045-4048.
- [22] KHANDOKER A H, PALANISWAMI M, KARMAKAR C K. Support Vector Machines for Automated Recognition of Obstructive Sleep Apnea Syndrome from ECG Recordings[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2009, 13(1):37-48.
- [23] KAMPOURAKI A, MANIS G, NIKOU C. Heartbeat Time Series Classification with Support Vector Machines[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2009,13(4): 512-518.
- [24] NAIK G R, KUMAR D K. Jayadeva. Twin SVM for Gesture Classification using the Surface Electromyogram[J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine,2010, 14(2):301-308.
- [25] PASOLLI E, MELGANI F. Active learning Methods for Electrocardiographic Signal Classification [J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2010,14(6): 1405-1416.
- [26] LAI D T H, LEVINGER P, BEGG R K, et al. Automatic Recognition of Gait Patterns Exhibiting Patellofemoral Pain Syndrome using a Support Vector Machine Approach [J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2009,13(5): 810-817.
- [27] 蒲秀娟. 胎儿心电图信号提取研究[D].重庆大学, 2009.
- [28] OSOWSKI S, HOAI L T, MARKIEWICZ T. Support Vector Machine-Based Expert System for Reliable Heartbeat Recognition [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering,2004,51(4): 582-589.
- [29] SAHAK R, MANSOR W, LEE Y K, et al. Orthogonal Least Square Based Support Vector Machine for the Classification of Infant Cry with Asphyxia[C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI '10): Vol 3, Oct 16-18,2010, Yantai, China. Piscataway, NJ, USA:IEEE,2010: 986-990.
- [30] SAHAK R, LEE Y K, MANSOR W, et al. Optimized Support Vector Machine for Classifying Infant Cries with Asphyxia using Orthogonal Least Square[C]//Proceedings of the 2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE '10),Dec 5-8, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia. Piscataway, NJ, USA:IEEE,2010:692-696.
- [31] KASIRI K, KAZEMI K, DEGHANI M J, et al. Hierarchical Method for Brain MRI Segmentation Based on using Atlas Information and Least Square Support Vector Machine[C]// Proceedings of the 19th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE '11), May 17-19,2011, Hong Kong, China. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2011:1p.
- [32] DE BRABANTER K, DE BRABANTER J, SUYKENS J A K, et al. Approximate Confidence and Prediction Intervals for Least Squares Support Vector Regression [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2011,22(1):110-120.

收稿日期:2012-12-03

作者简介



娄梦茜,南京邮电大学物联网学院信息网络专业在读硕士研究生;研究方向为软件技术在通信网络中的应用,主要从事物联网与数据融合、机器学习等方面的研究;已发表论文1篇。



邓硕,西南科技大学毕业;现任中兴通讯业务研究院技术预研工程师;先后从事USSD、短信和M2M平台等开发,研究方向为物联网、数据融合和视频分析等。



孙知信,南京邮电大学教授、博士生导师;研究方向为计算机网络与安全,目前主要从事物联网寻址、多媒体通信、网络安全方面的研究;已发表论文50篇。

广告索引

A1、封四:中兴通讯股份有限公司

可见光通信的研究

Visible Light Communication

陈特/CHEN Te, 刘璐/LIU Lu, 胡薇薇/HU Weiwei

(北京大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 北京 100871)
(State Key Laboratory of Advanced Optical Communication Systems and Networks, Peking University, Beijing 100871, China)

中图分类号: TN92; TN929.11 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0049-04

摘要: 文章介绍了全球可见光通信的研究现状, 并针对可见光通信研究中存在的问题提出了未来可见光通信的研究趋势。文章认为可见光通信能够同时实现照明与通信的功能, 具有传输数据率高、保密性强、无电磁干扰、无需频谱认证等优点, 已经成为世界范围的研究热点。文章指出可见光通信在未来的通信领域中将会占据重要的地位, 并将大大地推动信息化社会的发展。

关键词: 发光二极管; 可见光通信; 正交频分复用

Abstract: In this paper, we review the status of visible light communication and discuss research trends in this field. We suggest that illumination and communication can be achieved simultaneously, and this has the advantages of high bitrates, enhanced security, abundant spectrum resource, and no electromagnetic interference. Visible light communication will be an important part of future communication, and will greatly promote the development of information society.

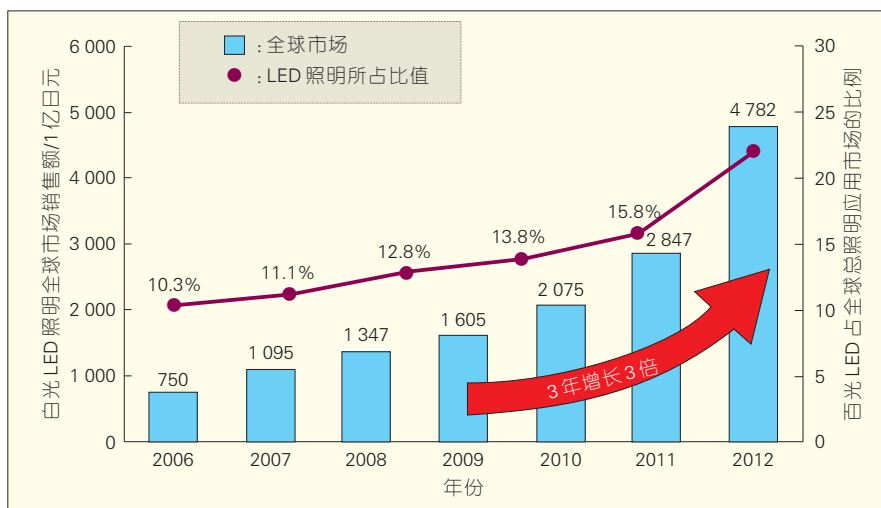
Key words: light-emitting diode (LED); visible light communication; orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)

白光发光二极管(LED)面世后, 发光效率逐步提高, 其应用领域逐步从显示扩展到照明。与传统的照明设备相比, 白光LED具有驱动电压低、功耗低、使用寿命长等优点, 是一种绿色环保的照明器件, 被视为第四代节能环保型照明设备^[1]。由图1可以看出, LED在全球照明市场中所占的比重正逐年递增。据专业人士预测, 随着白光LED照明技术的不断发展和完善, 到2021年, LED将占据52%以上的全球商用照明灯泡市场份额^[2-3]。

由于白光LED具有很高的响应

基金项目: 国家自然科学基金(61071084); 国家重点基础研究发展(“973”)规划(2012CB315606)

灵敏度, 因此可以被用于进行高速的数据通信。可见光通信(VLC)就是在



▲ 图1 LED照明占全球市场份额的估测

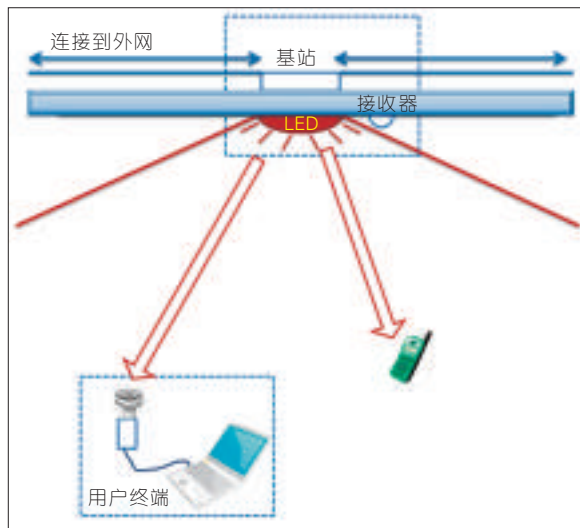
白光LED技术上发展起来的新型的无线光通信技术。

室内可见光通信系统示意图如图2所示。在可见光通信系统中, 白光LED具有通信与照明的双重功能, 由于LED的调制速率非常高, 人眼完全感觉不到其闪烁。可见光通信系统可利用室内白光LED照明设备代替无线局域网基站, 其通信速度可达每秒数十兆至数百兆, 只要在室内灯光照射到的地方, 就可以实现长时间的高速数据传输; 可见光通信系统具有安全性高的特点, 室内的信息不会外泄到室外; 由于不使用无线电波通信, 在对电磁信号敏感的环境中可以自由使用该系统。除此之外, 与传统的射频通信以及红外无线光通信技术相比, 可见光通信还具有对人体安全、频率资源丰富等优点。

1 可见光通信的研究现状

1.1 国际上的相关研究现状

由于可见光通信技术具有较好



▲图2 室内可见光通信系统示意图

的应用前景,它在未来通信领域中占有重要的地位和价值,因此很多研究机构和电信运营公司加入到无线光通信的研究领域中来,特别是日本、欧洲、美国等国家在可见光通信的领域已经投入了大量的人力、物力以及财力。

可见光通信的研究最早在日本开展。早在2000年,中川研究室的Tannaka Yuichi等人就对基于白光LED的可见光通信信道进行了初步的数学分析和仿真计算,分析了白光LED作为室内照明和通信光源的可能性^[4]。2002年,中川研究室的研究人员又对可见光通信系统展开了具体的分析,包括光源属性、信道模型、噪声模型、室内不同位置的信噪比分布等^[5]。2003年,在中川正雄的倡导下,日本可见光通信联合体(VLCC)^[6]成立,并吸引了一大批研究单位及企业参与,包括NEC、Sony、Toshiba、Samsung等。VLCC关于可见光通信的研究范围比较宽广,根据具体的应用场景可分为室内移动通信、可见光定位、可见光无线局域网接入、交通信号灯通信、水下可见光通信等。VLCC在可见光通信研究领域已经取得了很大的成就,例如Samsung公司展出过工作距离为1m的100Mbit/s双向可见光通信系统;中川研究室还

开发了基于可见光通信的超市定位及导航系统,而且是面向商业化的产品。

欧洲的OMEGA计划^[7]也对可见光通信展开了深入的研究。OMEGA计划由欧洲的20多家大学科研单位和企业组成,它的目标是发展出一种全新的能够提供宽带和高速服务的室内接入网路。OMEGA计划把可见光通信技术列为重要的高速接入技术之一,并且已经取得了丰硕的研究成果。

2009年,牛津大学的Dominic O'Brien等人利用均衡技术实现了100Mbit/s的通信速率^[8];2010年,他们又利用多输入多输出(MIMO)和正交频分复用技术(OFDM)技术,实现了220Mbit/s的传输速率^[9]。2010年在OMEGA计划的年会上展出的室内可见光通信演示系统的通信速率达到了100Mbit/s,该系统利用房间天花板上的16个白光LED通信,完成了4路高清视频的实时广播。在2010年1月,德国Heinrich Hertz实验室的科研人员创造了可见光通信速率的世界纪录,他们利用普通商用的荧光白光LED搭建的可见光通信系统达到了513Mbit/s的通信速率,并且他们通过分析认为该系统的通信速率还有提升的空间,可达到700Mbit/s甚至1000Mbit/s^[10]。2011年,Heinrich Hertz实验室的科研人员又利用色光三原色(RGB)型白光LED以及密集波分复用(WDM)技术实现了803Mbit/s的通信速率^[11]。

除了日本和欧洲的科研单位,美国的UC-Light^[12]也是进行可见光通信研究的重要机构。UC-Light依托于加州大学的4所分校和1个美国国家实验室,其研究人员的研究背景涉及建筑学、无线通信、网络、照明、光学、器件等领域。UC-Light成立的目的是开发一种基于LED照明的高速

通信和定位系统。

1.2 中国的研究现状

中国的可见光通信研究起步相对较晚,与国际相比仍然落后很多,尚没有比较成熟的商用化的可见光通信系统。近年来,在国家大力支持的背景下,中国的可见光通信研究也逐步取得了一定的进步,在可见光通信理论、系统设计和计算机仿真、实验演示系统设计制作等方面取得了一些成果。

北京大学在2006年首次提出了基于广角镜头的超宽视角可见光信号接收方案,并进行了一系列的理论和实验工作。此外,在LED的调制驱动、LED阵列的布局优化以及高灵敏度接收等方面进行了一定的研究,并在可见光通信与无源光网络(PON)的融合接入中的物理层、链路层和传输层等方面开展了探索研究。在2010年的Intel杯大学生嵌入式系统大赛中,北京大学的参赛作品(基于白光LED的照明及综合信息发布系统)实现了5个频道的广播,在6m的工作距离下实现了3Mbit/s的通信速率,该系统在大赛中荣获二等奖。

1.3 可见光通信的标准化工作

由于可见光通信有着广阔的前景,IEEE在2003年开始并最终于2011年发布了可见光通信的标准IEEE 802.15.7^[13]。这是VLC的第一个标准,包含了3个物理层类型,分别对应于低中高速数据传输。但是,由于缺少LED照明部门的参与,IEEE 802.15.7并没有给出可见光通信最终的标准。

在日本,VLCC也为可见光通信的标准化进行了很多年的努力。近年来,国际红外数据协会(IrDA)和VLCC在可见光通信的标准化工作中开展了一系列的合作。2009年它们在IrDA标准的基础上发布了第一个可见光通信标准,在这个标准下,现有的IrDA光学模块可以在经过改造

后被用于可见光通信的数据传输。

2 可见光通信的应用领域

可见光通信由于具有众多的优点,因此在很多领域具有巨大的应用前景。

(1) 照明与通信

白光LED可以同时被用于照明与通信,因此信息可以在室内环境下进行广播^[4],并同时满足照明的需求。此外,可见光通信还可以实现手持终端之间的点对点通信,由于发散角较小,因此可以有效地降低传输损耗,实现高速通信。

(2) 视觉信号与数据传输

信号灯在航海和地面交通等领域有着非常广泛的应用,它通过颜色的变化来给人们提供信号,而将数据通信与信号灯相结合则可以为交通管理提供更好的安全性和可靠性。目前,基于可见光通信的信号灯已有若干演示系统,如将数据由交通灯传递给汽车^[5],或将数据在汽车与汽车之间传递等。

(3) 显示与数据通信

LED阵列常常被用于信息显示,如广告牌、信息板等。若将相应的信息调制到这些LED阵列上,则可便捷地将数据传递给用户手持终端^[6]。这种显示与通信相结合的系统在机场、博物馆等场所有着巨大的应用前景。

(4) 室内定位

传统的卫星定位方法很难实现室内移动用户的精确定位,而可见光通信则可以将用户的位置信息通过LED照明设施来进行传递,从而实现精准的室内定位。目前,基于可见光通信的诸多室内定位方案已经被提出^[7],日本的VLCC则已经实现了基于超市环境下的室内定位实验。

3 可见光通信的研究趋势

虽然可见光通信具有巨大的应用前景,但在实用过程中还有很多关键问题需要解决。目前限制可见光

通信发展的主要因素有:受限的LED调制带宽、LED器件的非线性效应、可见光通信室内信道的多径效应等等。因此,为了实现可见光通信高速的数据传输,以下几个方面已经成为了可见光通信的研究趋势。

(1) 高调制带宽的LED光源

目前商用白光LED的调制带宽有限,只有约3~50 MHz。这是因为白光LED设计的初衷是用于照明,而非用于通信,其结电容很大,限制了调制带宽。因此,在保证大功率输出的前提下,开发出具有更高调制带宽的LED光源,将极大地促进可见光通信的发展。

(2) LED的大电流驱动和非线性效应补偿技术

在可见光通信系统中,LED的工作电流较大,需要进行大电流驱动,而LED的非线性效应则会使可见光信号发生畸变。因此在实际使用中需要合理地控制偏置电压、信号动态范围、信号带宽等参数,并且根据LED的非线性传输曲线的特征有意识地对调制信号进行预畸变处理等等,以提高调制效率,提升传输容量。

(3) LED光源的布局优化

在可见光通信系统中,白光LED光源需要同时实现室内照明和通信的双重功能,而单个LED的发光强度比较小,因此在实际系统中光源应采用多个LED组成的阵列。LED阵列的布局是影响可见光通信系统性能的重要因素之一。一方面,为了满足室内照明的要求,首先要考虑室内照明度的分布;另一方面,为了保证通信的性能,还需要考虑室内信噪比的分布,避免盲区和阴影的出现。一般来说,LED的数目越大,室内的照明度越高,系统接受到的光信号的功率也越大,但由不同路径造成的符号间干扰也越严重。因此,在对可见光通信系统的研究中,应对LED阵列进行合理的布局。

此外,对于不同的室内环境,如何迅速地建立光功率与信噪比分布

模型,实现快速的智能布局也是可见光通信研究中需解决的关键问题。

(4) 光学MIMO技术

与射频系统相似,通过采用多个发射和接收单元的并行传输可以提高可见光通信的性能。此外需要指出的是,一个典型的室内照明方案需要采用白光LED阵列来满足一定的照明度,这恰好使MIMO技术更具有吸引力。

(5) 光学OFDM技术

为了在有限带宽的条件下实现高速传输速率,OFDM成为了一个极具吸引力的高频谱效率的调制技术。OFDM技术为信道色散提供了一个简单的解决方法,而且可以完全在数字域实施,它将信道的可用带宽划分为许多个子信道,利用子信道间的正交性实现频分复用,并可以在子载波上通过对比特和功率的分配来实现信号传输对信道条件的调节适应。由于降低了子载波的传输速率,延长了码元周期,因此具有优良的抗多径效应性能;此外OFDM还可以使不同用户占用互不重叠的子载波集,从而实现下行链路的多用户传输。

(6) 高灵敏度的广角接收技术

室内光通信系统大多数工作在直射光条件下,当室内有人走动或者在直射通道上有障碍物时,将会在接收机处形成阴影效应,影响通信性能,甚至出现通信盲区,使通信无法继续。而采用大视场的广角光学接收系统可以解决这一问题,其大视场角的特性可以保证同时接收直射和散射光信号,这样就避免了“阴影”和“盲区”现象的发生。同时,室内光通信系统采用MIMO技术要求接收机能够接收到发端LED光源阵列发出的光信号,以解析出多个独立的通信信道。这也需要接收光学系统具有大视场特性。

(7) 消除码间干扰的技术

在室内可见光通信系统中,LED光源通常由多个发光LED阵列组成,另外为了达到较好的照明和通信效

果,防止“阴影”影响,一个房间通常要安装多个LED光源。由于LED单元分布位置的不同以及墙面的反射、折射及散射,不可避免的产生码间干扰,极大降低了系统的性能。自适应均衡技术以及前面提到的OFDM技术已经在高速无线通信中得到了广泛的应用。在可见光通信系统中,也可以采用这些方式降低符号间干扰。目前,应用于可见光通信的均衡和OFDM技术的研究已经成为可见光通信研究中的热点。

(8) 可见光通信与现有网络的融合接入技术

目前,全球已经开展了光纤到户的工作,并取得很大的进展。光纤到户后,可为单用户提供300 Mbit/s的下行带宽,在此网络带宽下,目前的微波无线低频段广播覆盖的频谱资源不够,无法满足如此高的带宽需求,因此,在最后10 m距离内的高速接入将成为宽带通信的瓶颈。可见光波段位于380~780 nm,属于新频谱资源。室内可见光通信由于具有诸多优点,已经成为了理想的短距离高速无线接入方案之一。将可见光通信系统与光纤到户系统融合,例如,可以通过“光电—电光”的转换将信息调制到LED光源发射到用户终端,实现高速率、高保密性的无线光接入。此外,可见光通信可与电力线通信(PLC)技术相融合,利用现有的电力线设备传输信号并驱动LED光源,将会大幅度降低成本,因此,这种技术融合在未来也将会成为可见光通信的研究趋势。

4 结束语

可见光通信能够同时实现照明与通信的功能,具有传输数据率高,保密性强,无电磁干扰,无需频谱认证等优点,是理想的室内高速无线接入方案之一。可见光通信在全球已经成为了研究的热点,特别是日本、欧洲和美国对可见光通信的研究投入了大量的人力和物力,并取得了一

定的进展。在可见光通信的研究中,高调制带宽的LED光源、LED的大电流驱动和非线性效应补偿技术、LED光源的布局优化、光学MIMO与OFDM技术、高灵敏度的广角接收技术、消除码间干扰的技术以及可见光通信与现有网络的融合接入技术等已经成为了研究趋势。可见光通信在未来的通信领域中将会占据重要的地位,并将大大地推动信息化社会的发展。

参考文献

- [1] NAKAMURA S. Present performance of InGaN based blue/green/yellow LEDs[C]// Proceedings of the SPIE Conference on Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing, and Applications, Apr 13–14, 2007, San Jose, CA, USA. Vol 3002. Bellingham, WA, USA: SPIE, 1997:26–35.
- [2] 中国安防展览网.10年内LED将占商用照明一半以上份额[EB/OL].(2012-06-13). http://www.afzhan.com/new s/Detail/20080.html
- [3] HARUYAMA S. Visible light communications: Recent activities in Japan[R]. Boston, MA, USA:Academia Day at BU Photonics Center, Boston University, 2011.
- [4] TANAKA Y, HARUYAMA S, NAKAGAWA M. Wireless optical transmissions with white colored LED for wireless home links[C]// Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC'00): Vol 2, Sep 18–21,2000, London, UK. Piscataway, NJ,USA: IEEE, 2000: 1325–1329.
- [5] FAN K, KOMINE T, TANAKA Y, et al. The effect of reflection on indoor visible light communication system utilizing white LEDs [C]// Proceedings of the 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications(WPMC'02):Vol 2,Oct 27–30, 2002, Honolulu,HI,USA. Piscataway, NJ,USA:IEEE, 2002: 611–615.
- [6] VLCC[EB/OL].http://www.vlcc.net
- [7] OMEGA[EB/OL].http://www.ict-omega.eu/
- [8] MINH H L, O'BRIEN O, FAULKNER G, et al. 100-Mb/s NRZ visible light communications using a postequalized white LED[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2009, 21(15): 1063–1065.
- [9] AZHAR A H, TRAN T A, O'BRIEN D. Demonstration of high-speed data transmission using MIMO-OFDM visible light communications[C]//Proceedings of the 2010 IEEE Globecom Workshop on Optical Wireless Communications(OWC'10), Dec 6–10,2010, Miami, FL,USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2010: 1052–1056.
- [10] VUCIC J, KOTTKE C, NERRETER S, et al. 513 Mbit/s visible light communications link based on DMT-modulation of a white LED[J]. Journal of Lightwave Technology, 2010,28(24): 3512–3518.
- [11] VUCIC J, KOTTKE C, HABEL K, et al. 803 Mbit/s visible light WDM link based on DMT modulation of a single RGB LED luminary[C]// Proceedings of the Optical Fiber

- Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'11), Mar 6–11, 2011, Los Angeles, CA, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2011:3p.
- [12] UC–Light[EB/OL].http://www.uclight.ucr.edu/
- [13] VUCIC J, LANGER K. High-speed visible light communications: State-of-the-art[C]// Proceedings of the Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC'12), Mar 4–8, 2012, Los Angeles, CA, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2012:3p.
- [14] GRUBOR J, GAETE JAMETT O C, WALEWSKI J, et al. High-speed wireless indoor communication via visible light[M]. ITG Fachbericht, 198. Berlin, Germany: VDE Verlag, 2007: 203–208.
- [15] WADA M, YENDA T, FUJII T, et al. Road-to-vehicle communication using LED traffic light[C]//Proceedings of the 2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium(IVS'05), Jun 6–8,2005, Las Vegas, NV, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE 2005:601–606.
- [16] PARK S B, LUNG O K, SHIN H S, et al. Information Broadcasting System based on Visible Light Signboard[C]//Proceedings of the 7th IASTED International Conferences on Wireless and Optical Communications, May 30–Jun 1,2007, Montreal, Canada. 2007.
- [17] YOSHINO M, HARUYAMA S, NAKAGAWA M. High-accuracy positioning system using visible LED lights and image sensor[C]// Proceedings of the Radio and Wireless Symposium(RWS'08), Jan 22–24,2008, Orlando, FL, USA. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2008: 439–442.

收稿日期:2012–10–08

作者简介



陈特,北京大学信息科学技术学院博士生;主要研究方向为光通信。



刘璐,北京大学博士毕业;北京大学信息科学技术学院副教授;主要研究领域为卫星激光通信以及光电精密测控技术;已发表学术文章20余篇,申请发明专利5项,已获授权3项。



胡薇薇,中国科学技术大学博士毕业;北京大学信息科学技术学院教授、博士生导师;主要研究领域为无线光通信、ROF通信、光学相控阵等;已发表学术文章100余篇,出版著作3部,已获授权9项。

基于云计算的数据挖掘平台架构及其关键技术研究

Architecture and Key Technology of a Data Mining Platform Based on Cloud Computing

中图分类号: TN393.03 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0053-04

摘要:随着云计算时代的到来,传统数据挖掘系统在海量数据的分析挖掘方面存在性能瓶颈。文章提出了基于云计算的数据挖掘平台,该平台与传统的数据挖掘系统架构相比有高可扩展性、海量数据处理能力、面向服务、硬件成本低廉等优越性,可以支持大范围分布式数据挖掘的设计和应用。该平台能极大减少运营商、企业在数据挖掘技术上的投入并能加快其挖掘业务的推出,缩短研发周期,进一步提高产品收益。

关键词:数据挖掘平台;云计算;数据挖掘云;海量数据

Abstract: There are performance bottlenecks and scalability problems when a traditional data-mining system is used in cloud computing. In this paper, we present a data-mining platform based on cloud computing. Compared with a traditional data mining system, this platform is highly scalable, has massive data processing capacity, is service-oriented, and has low hardware cost. This platform can support the design and applications of a wide range of distributed data-mining systems. It can greatly decrease the amount of investment needed by telecom operators and enterprises on data mining technologies. It can also shorten the development cycle, speed up the launch of mining services, and improve product revenue.

Key words: data mining platform; cloud computing; the cloud of data mining; massive data

丁岩/DING Yan
杨庆平/YANG Qingping
钱煜明/QIAN Yuming
(中兴通讯股份有限公司 业务研究院,
江苏 南京 210012)
(Communication Service R&D Institute, ZTE
Corporation, Nanjing 210012, China)

挖掘平台。该平台架构基于云计算的基础能力,并符合云计算软件即服务(SaaS)的设计理念。该平台还能极大减少运营商、企业在数据挖掘技术上的投入并能加快其挖掘业务的推出,缩短研发周期,进一步提高产品收益。

1 基于云计算的数据挖掘策略

1.1 数据挖掘

数据挖掘^[4-6]是一个从大量的、不完全的、有噪声的、模糊的、随机的实际数据中提取隐含在其中的但具有潜在实用信息和知识的过程。从数据挖掘的定义可以看出数据挖掘是知识发现领域的一个重要技术,它涉及到人工智能、机器学习、模式识别、统计学等高技术领域,具体技术包括特征化、关联、聚类、预测分析等。数据挖掘在互联网、移动互联网、电信、金融、科学研究等领域得到了广泛的应用,例如 Facebook 的好友推荐、Amazon 和淘宝网的商品推荐、银行的防欺诈分析等。传统的数据挖掘技术

随着互联网尤其是移动互联网、物联网的快速发展,目前我们已处于数据、信息过载的海量信息时代。据数据调查公司 IDC 研究报告显示:2011 年全球被创建和复制的数据总量为 1.8 ZB,较去年同期,这一数据上涨了 1 ZB,全球信息总量每过两年就会增长 1 倍。用户面对海量信息却很难找到自己真正感兴趣的内容^[1]。同时随着运营商逐渐推出移动互联网产品应用商店、阅读、游戏、社区等产品,如何分析挖掘这些产品生成的海量数据,将成为运营商迫切

需要解决的问题。

云计算的出现,使得数据挖掘平台有了新的发展方向,也使得新一代的数据挖掘平台成为可能。云计算是能够提供动态资源、虚拟化和高可用的计算平台。云计算平台可被用来开发高性能的应用程序^[2-3]。但是对于数据挖掘来说,海量数据本身具有噪声、异构、算法复杂、技术复杂等问题,而现在的云计算开发平台并没有提供数据规约等功能。因此文章通过对于数据挖掘、云计算的详细描述和分析,提出了基于云计算的数据

术建立在关系型数据库、数据仓库之上的,对数据进行计算,找出隐藏在数据中的模型或关系,并在大规模的数据上进行数据访问和统计计算,整个挖掘的过程需要消耗大量的计算资源以及存储资源^[7]。

随着云时代的到来和移动互联网的快速发展,数据规模从MB、GB级发展到TB、PB级甚至EB、ZB级,并且面临着TB级的增长速度,数据挖掘的要求和环境也变得越来越复杂,从而形成“数据量的急剧膨胀”和“数据深度分析需求的增长”这两大趋势,使得40年来一直适用的数据库系统架构在海量数据挖掘方面显得力不从心^[8]。

综合上述,传统的数据挖掘技术及其体系架构在云时代的海量数据中已经出现了不少问题,其中首先是挖掘效率的问题,传统的基于单机的挖掘算法或基于数据库、数据仓库的挖掘技术及并行挖掘已经很难高效地完成海量数据的分析;其次高昂的软硬件成本也阻止了云时代数据挖掘系统的发展;最后传统的体系架构不能完成挖掘算法能力的提供,基本是在以单个算法为整体模块,用户只能使用已有的算法或重新编写算法完成自己独特的业务。

1.2 云计算

云计算^[9-10]是一种商业计算模式,它将计算任务分布在大量计算机构成的资源池上,使各种应用系统能够根据需要获取计算力、存储空间和信息服务。同时云计算是并行计算、分布式计算和网络计算的发展,或者说是这些计算科学概念的商业实现。通常认为云计算包括以下3个层次的服务:基础设施即服务(IaaS)、平台即服务(PaaS)、SaaS;其中IaaS提供以硬件设备为基础的计算、存储和网络服务,实现了对硬件资源的抽象并服务化提供,使得分布式计算和分布式存储成为现实。

云计算具有一些特点^[10-11]:

(1) 虚拟化。云计算支持用户在任意位置使用各种终端以获取应用服务,所请求的资源来自云而不是固定的、有形的实体,并且对于用户来说只需要使用云提供的服务即可。

(2) 通用性。云计算不针对特定的应用,而是可以在云的支撑下构造出千变万化的应用,同一个云可以同时支撑不同的应用运行。

(3) 高可扩展性及超大规模。云的规模可以动态扩展,并且这种动态扩展对用户是透明的,并且不影响用户的业务和应用。同时这种扩展是超大规模的,如Google云计算已经拥有上百万台服务器,Amazon、IBM、微软等也拥有几十万台服务器。

(4) 可靠性高。云计算使用多副本容错、多计算节点同构可互换等措施来保障服务的高可靠性。

(5) 经济性好。云的特殊容错机制导致可以采用廉价的节点来构成云,而云的自动化集中式管理使得大量企业无需负担日益高昂的数据中心管理成本。云的通用性使资源的利用率较之传统系统大幅提升,因此用户可以充分享受云的低成本优势。

1.3 数据挖掘云化策略

云计算的出现即给数据挖掘带来了问题和挑战,也给数据挖掘带来新的机遇——数据挖掘技术将会出现基于云计算的新模式。如何构建基于云计算的数据挖掘平台也将是业界面临的主要问题之一,创建一个用户参与、开发技术要求不高的、快速响应的数据挖掘平台也是迫切需要解决的问题。

从业界对云计算的理解来看,云计算动态的、可伸缩的计算能力使得高效的海量数据挖掘成为可能。云计算SaaS功能的理解和标准化,使得基于的数据挖掘SaaS化有了技术和理论的支持,也将使得数据挖掘面向大众化和企业化。文章主要是从基于云计算平台的数据挖掘服务化、挖掘算法并行化、挖掘算法组件化角度

进行构建数据挖掘SaaS平台,如图1所示。

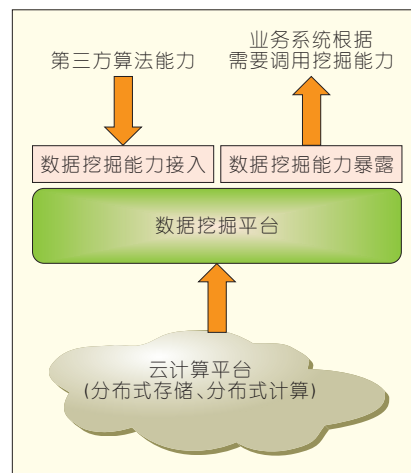
如图1所示,文章提出的基于云计算的数据挖掘平台架构采用分层的思想:首先底层支撑采用云计算平台,并使用云计算平台提供的分布存储以及分布式计算能力完成数据挖掘计算能力的并行实现;其次数据挖掘平台在设计上采用分布式、可插拔组件化思路,支持多算法部署、调度等;最后数据挖掘平台提供的算法能力采用服务的方式对外暴露,并支持不同业务系统的调用,从而较方便地实现业务系统的推荐、挖掘等相关功能需求。

2 数据挖掘平台云架构

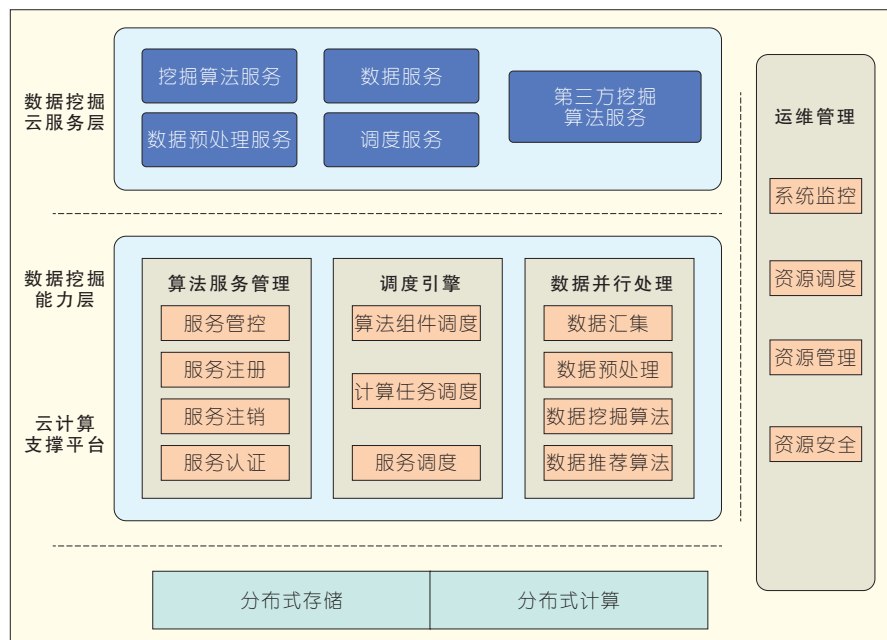
云计算的分布式存储和分布式计算促使了新一代数据挖掘平台的变革。图2是基于云的数据挖掘平台架构。考虑到挖掘算法和推荐算法的并行化和分布化是一个专门的、大的课题,因此文章暂不包含具体算法的并行化和云化的内容。

如图2所示,该平台是基于云计算平台实现的数据挖掘云服务平台,采用分层设计的思想以及面向组件的设计思路,总体上分为3层,自下向上依次为:云计算支撑平台层、数据挖掘能力层、数据挖掘云服务层。

• 云计算支撑平台层



▲图1 基于云计算的数据挖掘平台总体架构图



▲图2 基于云计算的数据挖掘平台架

云计算支撑平台层主要是提供分布式文件存储、数据库存储以及计算能力。中兴通讯有自主研发的云计算平台,该架构可以基于企业自主研发的云计算平台,也可以基于第三方提供的云计算平台。

• 数据挖掘能力层

数据挖掘能力层主要是提供挖掘的基础能力,包含算法服务管理、调度引擎、数据并行处理框架,并提供对数据挖掘云服务层的能力支撑。该层可以支持第三方挖掘算法工具的接入,例如 Weka、Mathout 等分布式算法库,同时也可以提供内部的数据挖掘算法和推荐算法库。

• 数据挖掘云服务层

云服务层主要是对外提供数据挖掘云服务,服务能力封装的接口形式可以是多样的,包括基于简单对象访问协议(SOAP)的 Webservice、Restful、HTTP、XML 或本地应用程序编程接口(API)等多种形式。云服务层也可以支持基于结构化查询语言(SQL)语句的访问,并提供解析引擎,以自动调用云服务。各个业务系统可以根据数据和业务的需要调用、组装数据挖掘云服务。

文章提出的基于云计算的数据挖掘平台与传统的数据挖掘系统架构相比有可扩展性、海量数据处理能力、面向服务、硬件成本低廉等优越性,可以支持大范围分布式数据挖掘的设计和应用。

3 基于云计算数据挖掘平台的关键技术

3.1 云计算技术

分布式计算是解决海量数据挖掘任务,提高海量数据挖掘的有效手段之一,在理论和实践上已经获得证实。分布式计算包含了分布式存储和并行计算两个层面的内容,而云计算平台提供了分布式文件存储和并行的计算能力,因此很好地解决了这两个层面的内容。下面主要分析几个主流的分布式文件系统和分布式并行计算框架,以更好地构建云计算数据挖掘平台的核心支撑能力。

分布式文件系统有效地解决了海量数据存储问题,并实现了位置透明、移动透明、性能透明、扩展透明、高容错、高安全、高性能等关键功能。目前业界比较流行分布式文件

系统有 Google 文件系统(GFS)、Hadoop 分布式文件系统(HDFS)、Kosmos 文件系统(KFS),这3种分布式文件系统都是基于 Google 提出的分布式文件系统理论进行研发的。Google 提出的 GFS 就是解决其海量数据存储和搜索、分析等问题,而 HDFS 和 KFS 是基于 GFS 理论上实现的开源系统,并且在商业和学术领域得到了广泛的应用。

分布式并行计算框架对于高效完成数据挖掘计算任务极其重要,并且它对分布式计算的一些技术细节进行了封装,例如数据分布、任务并行、任务调度、负载均衡、任务容错、系统容错等,使用户不需要考虑这些细节,而只要考虑任务间的逻辑关系。这样不仅可以提高研发的效率,还可以降低系统维护的成本。目前典型的分布式计算框架有:

- MapReduce。MapReduce 是 Google 提出的一个并行计算框架,它可以在大量 PC 机上并行执行海量数据的收集和分析任务。它把如何进行任务并行执行、如何进行数据分布、如何容错、网络带宽时延等问题的解决方案编码,并封装在了一个库里面,使用户只需要执行数据运算即可,而不必关心并行计算、容错、数据分布、负载均衡等复杂的细节。同时它又对上层应用提供良好简单的抽象接口。MapReduce 主要应用在搜索、数据仓库、数据挖掘领域。

- Pregel。Pregel 是 Google 提出的迭代处理计算框架,它具有高效、可扩展和容错的特性,并隐藏了分布式相关的细节,展现给人们的仅仅是一个表现力很强、很容易编程的大型图算法处理的计算框架。Pregel 的主要应用场景是大型的图计算,例如交通线路、疾病爆发路径、WEB 搜索等相关领域。

- Dryad。Dryad 是微软硅谷研究院创建的研究项目,主要用来提供一个基于 windows 操作系统的分布式计算平台,总体用来支持有向无环图类

型数据流的并行程序。微软于2011年宣布,停止对Dryad进行版本升级,转投Hadoop即MapReduce计算框架。

目前业界开源的云计算平台Hadoop平台,包含HDFS和MapReduce,为海量数据挖掘平台提供完备的云计算平台支撑平台^[12]。

3.2 数据汇集调度中心

数据汇集调度中心实现对接入本平台的业务数据的汇集,可以解决不同数据的规约问题,并支持各种不同的源数据格式。源数据格式支持联机事务处理系统(OLTP)数据、联机分析处理系统(OLAP)数据、各种日志数据、爬虫数据等,同时要提供多种数据同步方式,例如数据库实时同步、socket消息同步、文件传输协议(FTP)同步等各种各样的方式,如图3所示。

数据汇集调度中心主要是完成对不同类型数据的汇集。本数据汇集调度中心采用模板化设计技术,支持新数据的模板和元数据配置以达到不同业务数据的统一收集和规约。

3.3 服务调度和服务管理技术

为了能够让不同的业务系统使用本计算平台,平台必须要提供服务调度和服务管理功能。服务调度根据服务的优先级以及服务和资源的匹配情况进行调度,解决服务的并行互斥、隔离等,保证数据挖掘平台的云服务是安全、可靠的,并根据服务管控进行调度控制。

服务管理实现统一的服务注册、服务暴露等功能,不仅支持本地服务能力的暴露,也支持第三方数据挖掘能力的接入,很好地扩展数据挖掘平台的服务能力。

3.4 挖掘算法并行化技术

挖掘算法并行化是有效利用云计算平台提供的基础能力的关键技术之一,涉及到算法是否可以并行、以及并行策略的选择等技术。文章

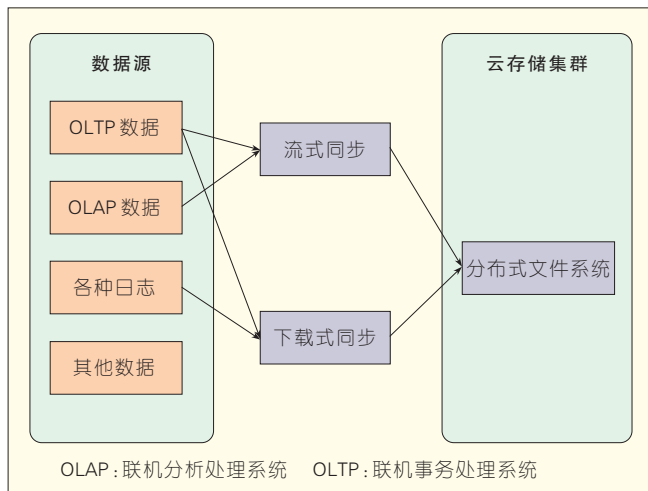


图3 数据汇集中心

通过K-means聚类算法并行化MapReduce并行计算框架来说明挖掘算法的并行化技术^[13]。

3.4.1 K-means算法的主要思想

K-means算法的主要思想是基于使聚类性能指标最小化。这里所用的聚类准则函数是聚类集中每一样本点到该类簇中心点距离平方之和,并使它最小化。如图4所示,K均值算法的处理流程如下:首先,随机地选择k个对象,每个对象代表一个簇的初始均值和中心;对剩余的每个对象,则根据其与其各个簇的均值距离,将它指派到最相似的簇;然后计算每个簇的新均值。这个过程不断重复,直到准则函数收敛。通常,采用平方误差准则,其定义如(1):

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} |p - m_i|^2 \quad (1)$$

其中,E是数据集中所有对象的平方误差和,p是空间中的点,表示给定的对象,m_i是簇C_i的均值。对于每个簇中的每个对象,首先要求出对象到其簇中心的均值的平方,然后再求和。

3.4.2 K-means并行化思路

K-means是以聚类中心来划分聚类的,一旦k个聚类中心确定了,聚类可立即完成。因此,这里主要讲述如何并行实现更新聚类中心^[14]。

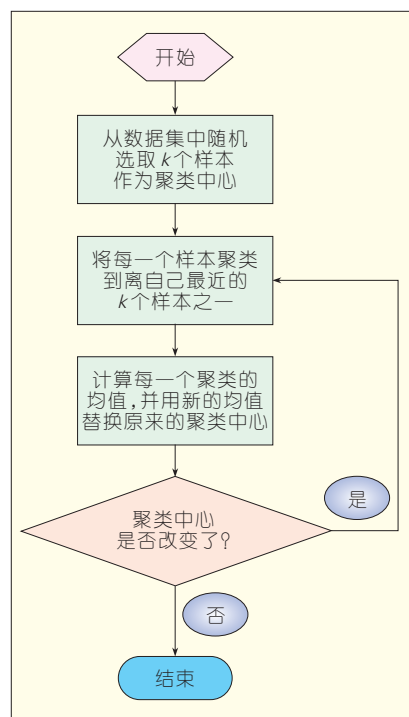


图4 K-means算法流程图

在随机的初始化k个聚类中心以后,每一次任务的执行都会更新当前k个聚类中心的值。在映射(Mapper)阶段,对于每一个样本O_s,需要计算与其最近的聚类中心O_i(0 ≤ i ≤ k-1),然后输出<i, O_s>键值对。

在化简(Reducer)阶段,MapReduce框架会收集属于相同键的值,相当于对每个聚类中心O_i(0 ≤ i ≤ k-1),而离它最近的样本都会作为值收集起

➡下转第60页

大数据

1

于艳华/YU Yanhua, 宋美娜/SONG Meina

(北京邮电大学计算机学院, 北京 100876)

[编者按]数据是与自然资源一样重要的战略资源,大数据技术就是从数量巨大、结构复杂、类型众多的数据中,快速获得有价值信息的能力,它已成为学术界、企业界甚至各国政府关注的热点。本讲座将分3期对大数据进行讨论:第1期介绍大数据的提出、含义、特点,大数据和云计算的关系以及大数据典型应用;第2期将介绍大数据获取、存贮、搜索、分享、分析、可视化等方面的关键技术,并对当前热点技术—可视化进行重点分析;第3期将探讨数据流挖掘等实时数据分析技术,介绍大数据中非结构化数据处理和挖掘技术,并给出大数据发展面临的挑战与应用前景。

中图分类号: TN91 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2013) 01-0060-04

1 大数据概念的提出

高度数字化使得数据充斥着整个地球,大数据也成为一种新的自然资源^[1],并成为当前所有行业最热门的话题之一。大数据概念的提出可以追溯到《自然》杂志2008年9月专刊中发表的文章:《Big Data: Science in the Petabyte Era》^[2],此后大数据这个概念被广泛应用和传播。2011年,麦肯锡公司发布了关于大数据的调研报告《大数据:下一个前沿,竞争力、创新力和生产力》,指出了大数据研究的地位以及将给社会带来的价值。2012年3月,美国奥巴马政府宣布投资2亿美元启动“大数据研发计划”,旨在提高和改进从海量和复杂数据中获取知识的能力,加速美国在科学和工程领域发明的步伐,增强国家安全。这是继1993年美国宣布“信息高速公路”计划后的又一次重大科技发展部署,由美国国家科学基金会、能源部等6个联邦部门共同投资。中国科学院计算技术研究所李国杰院士指出^[3]:“美国政府认为大数据是未来的新石油,将大数据研究上升为国家意志,对未来的科技与经

济发展必将带来深远影响。一个国家拥有数据的规模和运用数据的能力将成为综合国力的重要组成部分和企业间新的争夺焦点。”

维基百科对大数据的定义是:“大数据是由于规模、复杂性、实时而导致的使之无法在一定时间内用常规软件工具对其进行获取、存贮、搜索、分享、分析、可视化的数据集”。互联网数据中心将大数据定义为:为更经济地从高频率的、大容量的、不同结构和类型的数据中获取价值而设计的新一代架构和技术。

大数据和以往的海量数据、超大规模数据有什么区别呢?显然这些术语都表示系统需要管理的数据规模很大。相对于当时的CPU和存储技术水平而言,这些规模过大的数据在处理时需要特别对待。从历史发展来看,超大规模在提出时表示的是GB级别的数据,海量数据提出时表示的是TB级别数据,而大数据则是指PB(1 015)及以上级别的数据。

PB甚至更高级别的大数据的出现是近年来移动通信、互联网、传感器、物联网等技术发展和应用的结果。据IDC公司统计,2011年全球被

创建和被复制的数据总量为1.8 ZB(1 021),其中75%来自于个人(主要是图片、视频和音乐),远远超过人类有史以来所有印刷材料的数据总量(200 PB)。谷歌公司通过大规模集群和MapReduce软件,每个月处理的数据量超过400 PB;百度每天大约要处理几十PB数据;Facebook注册用户超过10亿,每月上传的照片超过10亿张,每天生成300 TB以上的日志数据;淘宝网会员超过3.7亿,在线商品超过8.8亿,每天交易数千万笔,产生约10—20 TB数据;雅虎的总存储容量超过100 PB^[3]。图灵奖获得者吉姆·格雷和IDC公司预测,全球数据量每18个月翻一翻,未来10年全球大数据将增加50倍左右。

大数据对于企业来说意味着巨大的经济效益。2009年,谷歌公司通过大数据业务对美国经济的贡献为540亿美元;eBay通过数据挖掘精确计算出广告中的每一个关键字,2007年以来eBay产品销售的广告费降低了99%,而顶级卖家占总销售额的百分比却上升至32%。

另一方面,大数据对IT业也意味着对海量、分散、变化、异构特性数据

进行分析和管理的技術挑战。IBM、Oracle、微软、谷歌、亚马逊、Facebook等都是大数据处理技术的主要推动者。大数据带来的技术挑战涉及数据的收集、存储、检索、共享、分析以及可视化等各个方面。首先,存储能力的增长已经远远赶不上数据的增长,设计更合理、高可扩展性的分层存储架构是数据管理系统的首要任务。数据移动已是数据管理系统最大开销,数据管理系统需要从数据围着处理器改为处理能力围着数据转。除了数据的采集、数据存储外,新的数据表示方法、非结构化数据的存储和分析、数据的去冗余和高效存储、海量动态数据的实时数据挖掘甚至大数据管理带来的能源消耗都将成为大数据时代的亟待解决的技术挑战。

2 大数据的特点

和很多新出现的概念或技术一样,关于大数据的特点也有很多种不同说法。百度百科给出的大数据的特点是4个“V”,分别代表:数量巨大(Volume),类型繁多(Variety),价值高(Value),处理速度快(Velocity)。但作者更倾向于Forrester分析师布赖恩·霍普金斯和鲍里斯·埃韦尔松在《首席信息官,请用大数据扩展数字视野》报告中给出的大数据的4个特点,分别是:海量(Volume)、多样性(Variety)、高速(Velocity)和易变性(Variability)。

(1)海量。IDC给出了一个估算:2011年全球数据总量大约为1.8 ZB,如果用9 GB的DVD盘来保存,那么叠加起来这些DVD的高度超过260 000 km,大约是地球到月球距离的2/3;如果用1 TB的2.5寸硬盘保存,那么叠加起来的高度将会超过17 000 km,接近地球周长的一半。据IDC最近的报告预测,到2020年,全球数据量将扩大50倍。大数据的规模尚是一个不断变化的指标,单一数据集的规模范围从几十TB到数PB

不等。此外,各种意想不到的来源都能产生数据。例如,从巴塞罗那至沙特首府利雅得的单程航行中,一架商用喷气飞机上收集的传感器数据量将超过1 PB,当用一次飞行的数据量乘以每天所有飞行的航班数,数据总量也将非常惊人。

(2)多样性。数据多样性的增加主要是由于新型多结构数据。以及包括网络日志、社交媒体、互联网搜索、手机通话记录及传感器网络等数据类型造成。其中,部分传感器安装在火车、汽车和飞机上,每个传感器都增加了数据的多样性。

(3)高速。高速描述的是数据分析和处理的速度。在网络时代,通过基于实现软件性能优化的高速电脑处理器和服务器,创建实时数据流已成为流行趋势。企业不仅需要了解如何快速创建数据,还必须知道如何快速处理、分析并返回给用户,以满足他们的实时需求。根据IMS Research研究机构关于数据创建速度的调查,通过跟踪可联网设备的激活量,发现联网设备增长的第二波浪潮正在加速到来。本轮增长后,将涌现更多新型可联网设备增长的浪潮。据预测,到2020年全球将拥有220亿部互联网连接设备。

(4)易变性。大数据具有多层结构,这意味着大数据会呈现出多变的形式和类型。相较传统的业务数据,大数据存在不规则和模糊不清的特性,造成很难甚至无法使用传统的应用软件进行分析。传统业务数据随时间演变已拥有标准的格式,能够被标准的商务智能软件识别。目前,企业面临的挑战是处理并从各种形式呈现的复杂数据中挖掘价值。

3 大数据的应用

2012年被称为大数据元年,因为在这一年大数据这个概念引起了人们的空前关注。首先是美国政府公布“大数据研发计划”,紧接着世界各国以及各大商业公司也对大数据给

予了极大的关注。中国的计算机学会、电子学会等学术机构以及淘宝、中兴通讯等各企业也给予了积极响应。其实,对大数据相关的技术研究和应用一直在进行,2012年突然迸发,只是一个量变到质变的结果。下面将简单地介绍全球重要的企业、机构有关大数据的研究、开发、应用的一些情况。

3.1 Google

众所周知,Google所提出的GFS、BigTable、MapReduce技术奠定了云计算研究和应用的基础。正如很多成功的技术一样,Google提出这些技术是为了解决其业务提供中遇到的现实问题。这个问题用今天的眼光来看就是大数据问题。Google作为搜索领域先进技术的实践者,其面对的现实一方面是海量的网页数据,另一方面是海量的网页数据分布在全世界200多个地方,总计超过100万台服务器上,而且这些数据和服务器的数量还在快速增长。GFS是Google提出的分布式文件系统,可以支持对分布在大量廉价硬件的数据进行有效可靠的访问。BigTable是Google构建在GFS之上的一种压缩高效的专属数据库系统。MapReduce是支持在大规模集群上的大数据进行并行计算的软件框架。基于这三项针对大数据存储访问和计算的关键技术,Google可以进行海量数据的搜索和分析挖掘,保证了其在搜索领域的主导地位。

Google在公布了GFS、BigTable和MapReduce技术后,Apache软件基金会以其为基础用Java开发了开源软件框架Hadoop,该框架现在是云计算相关研究和应用的基础。因为Hadoop是用来进行“批处理”的平台,一个任务一般需要几分钟来完成。针对Hadoop时间延迟的问题,Google提出了可以实现在海量网页文档集或者数字图书馆进行快速查询的Dremel技术^[4],该技术既有传统结构

化查询语言(SQL)的易用风格,又可以极快地处理比如查询PB级别的数据。基于Dremel技术,Google从2011年底开始,向公众发布了它的大数据服务“BigQuery”,其目的是为了销售云端的数据存储,以及分析软件;BigQuery使用了UI和REST界面,该业务的应用意味着数据分析门槛的降低。

3.2 IBM

IBM在数据分析与挖掘领域的聚焦由来已久。从2005年开始,IBM投资160亿美元进行了30次与大数据有关的收购,包括2005年收购拥有ETL数据集成工具DataStage的Ascential软件公司,2007年收购商业智能(BI)领域重量级公司Cognos,2009年收购美国三大统计分析软件之一的统计产品与服务解决方案(SPSS),2010年收购大规模并行处理数据仓库厂商Netezza等。IBM现在是全球数学博士的最大雇主,数学家正在通过IBM的数据分析产品研发和解决方案将其数学分析的才能应用于石油勘探、医疗健康等各领域,提升各行业的智能水平和决策的科学性。

近来IBM在数据分析领域中的一个为人所称道的成功案例,是其拥有学习能力的超级电脑沃森,它在2011年美国的智力竞猜节目《危险边缘》中击败人类。在IBM技术创新全球副总裁Bernard S. Meyerson看来,沃森代表着一个大数据时代的一种全新的计算模式。他说:“未来沃森可以自主学习,如果答案是错的,它会改变思维方式,下次给出正确答案”,这显然与我们现在应用的给定相同输入就一定会给出相同输出的电脑程序是不同的。

IBM大数据平台的几个核心能力包括基于Hadoop的云存储、流计算、数据仓库等。IBM在Hadoop系统领域的代表产品是InfoSphere BigInsights,IBM将其在数据管理上的

丰富经验与Hadoop开源平台高效整合,成为最主要的静态大数据分析工具和平台。IBM在流计算领域的代表产品是InfoSphere Streams,它是流数据处理技术产品,不仅能够在对诸如气象信息、通信信息、金融交易数据的管理中动态捕捉信息并进行实时分析,还能够对静态数据的处理提供有效补充。IBM在数据仓库领域的代表产品是在线交易型数据仓库InfoSphere Warehouse和分析型数据仓库Netezza。Netezza克服了传统数据仓库在面临大数据挑战时的瓶颈,充分发挥了对称多处理能力,可以将大量数据整合到统一的平台上,计算能力高达TB级。通过与Cognos和SPSS等业务分析工具相结合,IBM数据仓库产品还能够实现定制化的分析挖掘功能。

3.3 Microsoft

微软在数据管理、商务智能、数据挖掘的研发和解决方案是以前结构化查询语言(SQL) Server平台为基础的,对大数据的布局也是以SQL Server平台为主,并集成Windows Azure公有云与Hadoop系统,形成覆盖整个产业链的完整解决方案。微软已发布了SQL Server平台的2012版本,其中加入了大数据处理和分析挖掘的功能。这些特性包括:能够处理结构化数据以及非结构化数据;提出了数据商店的概念;将SQL Server的活动目录与Hadoop集成。目前微软已有的大数据实施成功的案例,包括目前正在成都投入运作的云计算中心。该中心利用大数据平台、虚拟化、BI商业智能分析等一系列技术手段,实现了对肉类产品从喂养到售卖的实时监控。

3.4 淘宝

随着电子商务的迅速发展,淘宝所积累的庞大数据、所面对的大量复杂用户需求,客观要求采用大数据技术进行分析和处理,这主要包括在线

分析和离线分析两种。在线分析对相应时间的要求比较高(通常不超过若干秒),通过构建在云计算平台上的NoSQL系统(例如Hadoop上的HBase),实现了更好地开源、降低成本、易于扩展等效果,而且能够实时处理数千万甚至数亿条请求记录。离线数据分析基于开源的Hadoop的HDFS文件系统和MapReduce运算框架,用于较复杂和耗时的数据分析和处理。

采用传统市场调查方式(电话、邮件、信函等)抽样调查耗时耗力,且调查结果与客观情况误差较大,淘宝通过对实际访问、交易的真实数据分析可以发现一些有趣结果,利用它们可以帮助商家调整营销战略,提升竞争力。让我们来分析一个商品之间常常存在的内在关联实例^[9],比如买了奶粉的客户,很可能会买奶嘴等婴儿用品。过去人们更多依靠逻辑分析和抽样统计来发现这些关联关系,现在凭借大数据及其分析处理系统,可以更加清晰和准确地获取商品之间的内在关联。比如,购买了女装的客户,买女士内衣、箱包皮具和食品的比例最大;其次是买彩妆和女鞋;再次是服饰配件和饰品等,这是非常典型的女性消费者购物模式。这些信息可以有多种用途,例如商家在决定扩大或缩小经营范围时,可以藉此来选择扩大或缩小商品的类别;搞促销活动时,商城运营人员可以藉此选择促销的范围乃至不同商品的促销力度等。

4 大数据与云计算的关系

大数据和云计算是关系紧密的两个概念。大数据技术广义来讲涵盖了从数据的海量存储、处理到应用多方面的技术,包括海量分布式文件系统、并行计算框架、NoSQL数据库、实时流数据处理以及智能分析技术如模式识别、自然语言理解、应用知识库等。狭义来讲则主要指从大量、多样、分散和异构的数据集中提取有

用信息的核心技术,包括实时流数据处理以及智能分析技术如模式识别、自然语言理解、应用知识库等。

云计算之所以一经提出就得到广泛关注,是因为它使得人类“将计算能力作为公共事业设施来提供”的梦想变为现实,而使得“梦想照进现实”的关键技术是 GFS、BigTable 和 MapReduce。这 3 项技术是 Google 为了巩固其搜索领域的核心地位而提出的。Google 提出将文件和数据分割成块,以便支持分布式存储和并行处理,实现海量数据存储并提升大数据量下的快速数据处理^[6]。因此,云计算的核心是业务模式,本质是数据处理技术。

可以看出,云计算技术是广义大数据技术的一部分,也是狭义大数据技术的基础。可以说,大数据是资产,云为数据资产提供了保管、访问

的场所和渠道。如何盘活数据资产,使其为国家治理、企业决策乃至个人生活服务,是大数据研究的核心问题。一方面,大数据离不开云计算,正因为有了云计算的超强计算能力,大数据才显示出了堪比黄金钻石的价值。另一方面,大数据处理的兴起也将改变云计算的发展方向,云计算正在进入以分析即服务(AaaS)为主要标志的 Cloud 2.0 时代。(待续)

参考文献

- [1] Big data: The new natural resource[EB/OL]. <http://www.ibmdatahub.com/infographic/big-data-new-natural-resource>
- [2] Big data: Science in the petabyte era[J]. Nature, 2008, 455:1-136.
- [3] 李国杰. 大数据研究的科学价值[J]. 中国计算机学会通讯, 2012, 8(9): 8-15.
- [4] MELNIK S, GUBAREV A, LONG J J, et al. Dremel: Interactive Analysis of Web-Scale Datasets[C]// Proceedings of the 36th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB'10), Sep 13-17, 2010, Singapore. 2010: 330-339.

- [5] 阳振坤, 张清, 王勇, 等. 大数据的魔力[J]. 中国计算机学会通讯, 2012, 8(6): 17-21.
- [6] 王柏, 徐六通. 云计算[J]. 中兴通讯技术, 2010, 16(1): 57-60.

收稿日期: 2012-12-03

作者简介



于艳华, 北京邮电大学计算机学院副教授; 主要研究方向为网络管理与优化、数据挖掘等; 已发表论文 10 余篇, 申请专利 10 余项。



宋美娜, 北京邮电大学计算机学院教授; 主要研究方向为分布式系统、服务计算、数据工程等; 已发表论文 50 余篇, 申请专利 20 余项。

← 上接第 56 页

来。这样 Reducer 里就可以利用这些样本重新估计出 k 个聚类中心, 如(2)所示:

$$O_i = \frac{\sum_{j=1}^n O_j}{n} \quad (2)$$

这样, 在一轮 MapReduce 完成后, 新的聚类中心也已经计算出来。通过比较本轮聚类中心与上一轮聚类中心差异度, 可确定算法是否收敛。

4 结束语

文章通过对数据挖掘和云计算技术的发展分析, 提出了基于云计算的数据挖掘平台架构以及数据挖掘服务化的思路。本平台不仅仅是基于云计算实现了一个数据挖掘平台, 同时也对数据挖掘平台进行了 SaaS 化。本平台可以为运营商、企业提供效益增值的数据挖掘应用, 同时也减少了运营商、企业在数据挖掘技术上的投入。运营商、企业即可以创建自己内部的数据挖掘私有云, 为内部产品提供数据挖掘服务, 也可以提供数据挖掘公用云, 为不同的企业提供数

据挖掘服务。

参考文献

- [1] 云时代企业数据挖掘面临的挑战(1)[EB/OL]. http://cloud.watchstor.com/storage-134538_1.htm
- [2] 陈康, 郑纬民. 云计算: 系统实例与研究现状[J]. 软件学报, 2009, 20(5): 1337-1348.
- [3] 纪俊. 一种基于云计算的数据挖掘平台架构设计与实现[D]. 青岛: 青岛大学, 2009.
- [4] J Han, M Kamber. Data mining concepts and techniques[M]. Third Edition. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2012.
- [5] 邵峰晶, 于忠清. 数据挖掘原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [6] 商琳, 骆斌. 一种基于数据仓库的数据挖掘系统的结构框架[J]. 计算机应用研究, 2000, 17(9): 63-65.
- [7] 杨朋友, 唐彦. 云计算总体架构及其应用与商业模式探讨[J]. 数字通信, 2012, (3): 3-6.
- [8] 何清. 基于云计算的海量数据挖掘[C/OL]// 第二届中国云计算大会, 2010年5月21-22日, 北京. http://blog.sina.com.cn/s/blog_66248a9e0100z38d.html
- [9] 杨勇, 董振江, 陆平. 具备云计算特性的业务交付平台及其关键技术研究[J]. 中兴通讯技术, 2011, 17(5): 55-57.
- [10] 吴朱华. 云计算核心技术剖析[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
- [11] 刘鹏. 云计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [12] 夏英, 杨选伦. 云环境中基于金字塔模型的影像数据存储方法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2012, 24(6): 669-674.
- [13] 余永红, 向晓军, 高阳等. 面向服务的云数据挖掘引擎的研究[J]. 计算机科学与探索, 2012, 6(1): 46-57.
- [14] 李智龙, 宿绍莹, 唐鹏飞, 陈曾平. 基于数字信道化的正弦信号快速测频方法[J]. 雷达科学与

技术, 2011, 9(5): 55-58.

收稿日期: 2012-10-28

作者简介



丁岩, 南京邮电大学硕士学位毕业; 中兴通讯业务研究院业务平台系统部部长; 先后从事 BOSS 系统、核心网网管、SDP、Appstore、MISP 等产品和平台的总体架构设计和研发工作, 研究方向为 SDP、移动互联网、云计算等; 曾获深圳市科技创新奖, 并申请多个专利。



杨庆平, 哈尔滨工业大学硕士学位毕业; 中兴通讯业务研究院系统工程师; 研究方向为人工智能和数据挖掘, 主要从事数据挖掘技术规划、架构设计、需求分析等



钱煜明, 中兴通讯业务研究院副总工、中科院客座研究员、江苏省双创人才; 对移动互联网、云计算及服务计算、大数据分析处理方面有较深入研究。