

下一代移动通信网络控制管理关键技术

韩雪^{1,2,3} 黄亮^{1,2,3} 钱蔓藜^{1,2,3} 石晶林^{2,3}

¹(中国科学院大学 北京 100090)

²(中国科学院计算技术研究所无线通信技术研究中心 北京 100190)

³(动计算与新型终端北京市重点实验室 北京 100190)

摘要 随着无线通信技术的进步,下一代移动通信网络呈现出异构、复杂的特点。同时,移动智能终端的普及使得用户应用从以桌面固定为主向以移动在线为主转移。无线化、泛在化的移动业务带来了海量、突发的数据传输需求。传统网络的控制管理已无法满足异构复杂的移动通信环境下用户随时随地获得高质量丰富多彩的移动业务的需求。因此有必要研究适合下一代移动通信网络的智能控制管理方法。本文将在考察移动通信网络控制管理的研究现状及面临挑战的基础上,分别从网络行为模型及架构、用户多维感知技术和基于感知的网络资源协同适配三个方面提出下一代移动通信网络控制管理的关键技术研究方向。

关键词 移动通信网络; 控制管理; 异构; 感知

Key Technologies of Next Generation Mobile Communication Network Control and Management

HAN Xue^{1,2,3} HUANG Liang^{1,2,3} QIAN Man-li^{1,2,3} SHI Jing-lin^{2,3}

¹(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100090, China)

²(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

³(Beijing Key Laboratory of Mobile Computing and Pervasive Device, Beijing 100190, China)

Abstract With the development of wireless communication technology, the next generation mobile network presents heterogeneous and complex characteristics. Meanwhile, the popularity of intelligent mobile endpoint has made user applications transferred from table fixed to mobile online. These wireless and ubiquitous applications bring the need of transformation of massive burst data. The traditional network transformation control can't meet the seamless transformation requirement of the massive burst data brought by the development of mobile applications. Therefore, it is necessary to investigate intelligent network transformation control methodology for the next generation wireless network. On base of the survey of previous related research work, this article introduces the three research topics of network behavior model and architecture, multi-dimension perceive technology and network resource cooperative adaptation based on perceived information.

Keywords mobile communication network; control and management; heterogeneous; perceive

1 引言

近年来,随着无线通信技术的迅猛发展和人类对

移动通信需求的不断增强,无线通信业务得到了深入研究及飞速发展。在无线网络技术方面,最显著的特征是由一种通信制式组网向混合异构组网转变,传统的仅靠一种无线通信技术或一种组网方式已经无法满

足用户随时随地获得高质量丰富多彩的无线业务的需求。因此,复杂异构无线网络成为下一代移动通信网络的基本形态。在异构的移动网络体系中,移动蜂窝网、广播网、无线局域网以及各种传感网络共存,宏蜂窝、微蜂窝、微微蜂窝以及毫微微蜂窝等组网形式相互补充,根据自身组网优势特点为无线移动用户提供符合各自网络特征的移动通信服务。下一代移动通信网络无论在网络结构,还是在业务支撑和服务环境上,都和传统蜂窝网络有很大的不同,具体表现在:

(1) 通过采用多输入多输出(MIMO)、无线中继、小区间干扰协调、载波聚合等先进技术,可以为各种多媒体分组业务提供高达1 Gbit/s的传输速率;

(2) 为了使wifi、2G、3G以及3G增强和4G等多种无线接入模式共存,实现各系统的平滑切换且保证异构系统间的互联互通,采用网络融合协作技术以提高网络整体性能;

(3) 为了满足室内高速和绿色通信要求,采用家庭基站无线接入技术增强室内覆盖;

(4) 增强基站功能,实现便捷灵活的高效组网。

这些特点使得移动业务从以桌面固定为主向以移动在线为主大规模转移。移动业务流量在过去的几年内呈指数型增长^[1]。在未来的5~6年,将是现阶段的10倍。这为现有的移动通信网络带来了前所未有的冲击。例如,大量的业务流量给传统蜂窝网的网元SGSN和GGSN带来了巨大的压力。现有的固定费率的商业模式也使得传统蜂窝网在不断承受增长的业务量的同时,无法带来更多的收益^[2]。可见,为了满足移动业务不断增长的需求,需要不断升级网络。同时,异构无线网络之间的协作控制困难重重,也会导致网络管理成本急剧上升。

因此,当前移动通信网络的控制管理技术无法支撑用户随时随地获得高质量丰富多彩的移动业务的需求。有必要研究一种适合下一代移动通信网络的高性能低成本智能控制管理方法。本文将在考察移动通信网络控制管理的研究现状及挑战的基础上,分别从网络行为模型及架构、用户多维感知技术和基于感知的网络协同适配三个方面提出下一代移动通信网络智能控制管理的关键技术研究方向。最后对全文进行总结。

2 研究现状及挑战

面对移动业务通信压力不断增大的问题,现有的

解决方案主要包括以下几种:

(1) 通过增加网络中设备的数量和容量进行网络扩容。该方案可以在短期内解决数据业务发展需求,但扩容新增设备不但增加投资,且需要机房面积配套,不利于节能减排的绿色通信需求^[3]。同时单纯通过增加设备存在容量极限瓶颈。也不能从根本上解决海量突发业务在异构网络之间的无缝高效传输的需求。

(2) 通过Direct Tunnel技术,解决网络中关键节点的吞吐能力瓶颈。Direct Tunnel是在传统3GPP 3G网络结构基础上提出的一项创新性的网络优化技术。实现用户面数据在“直达通道”中传送,不再经过SGSN,实现网络用户扁平化。SGSN负责控制面的处理,从而规避了SGSN吞吐能力瓶颈^[4]。该方案能在高数据流量情况下减少用户面投资,提升质量,实现承载与控制分离,网络扁平化,减少处理时延,提高业务的QoS质量。该方案具有平滑演进的优点,但在一定程度上增加了信令面的流量,因此会造成部分网络节点性能有较大幅度的下降。

(3) 通过LIPA/SIPTO架构,减轻主干网络的业务压力。3GPP在Release 10中提出的本地IP接入(Local IP Access, LIPA)和IP数据分流(Selected IP Traffic Offload, SIPTO)的架构^[5]。其含义是用户的业务流直接从家庭基站进行接入,不经过运营商的核心网络,相对于运营商的核心网络来说,这部分业务是直接从H(e)NB就分流出去了,从而减轻了核心网络的负荷和传输成本。移动蜂窝网络为其提供增值业务的重要数据流,仍然在核心网络上传输,而对于那些移动蜂窝网络只单纯的扮演“数据管道”角色的“转储”数据流,则卸载到互联网。同时,通过结合基于业务类型的端到端的QoS控制机制,可以实现用户分级接入^[3],实现差异化运营。该方案能限制P2P类高带宽消耗类业务,保障高端用户和价值业务使用体验,从而间接减缓网络传输压力。然而面对增长迅速的移动业务,该方案只是提供了一个基于现有移动蜂窝网的控制架构,还有许多具体的技术细节如:分流的业务流量选择机制、QoS映射机制等有待进一步的研究。

从目前对移动通信网络环境下应对移动业务增长的控制管理方案的现状来看,虽然针对无线环境下的宽带资源优化及网络架构等方面开展了一定的研究,但是未能从异构的网络环境的实际系统需求出发进行全面的系统性研究,以实现智能的控制管理。

3 移动通信网络控制管理关键技术

从复杂系统的观点来看，实现智能的控制管理，实际上是对网络及业务两方面本质特征的认识以及在此基础上进行资源的合理适配，以满足用户随时随地进行丰富多彩的移动业务的需求。为实现这一目标，首先需要认识下一代移动通信网络在异构复杂的环境下所呈现出得整体性的生长、壮大的过程，进而研究适用于这一新的网络环境的整体控制管理架构，其中包括协议模型架构和无线组网架构。其次，需要透过不断涌现的丰富多彩的移动业务的表面现象，去感知其实质的特征，以便为进一步的网络资源适配提供制约参数。最后，在整体管控架构下，结合感知到的用户业务特征，研究网络资源的协同适配，以便最优化的满足移动业务的QoS需求。

3.1 网络行为模型及架构

对网络行为模型及架构的研究，是下一代移动通信网络控制管理的基础，对于提高网络容量以及网络的鲁棒性有重要意义。虽然目前这方面的研究较少，但已有的传统通信网络上的相关工作将对该领域的研究有一定的启示作用。文献[6]给出了一般网络上信息包传输从自由流到拥塞相变点位置的一个形式解析。复杂网络上传输的通信流的研究，将有助于我们理解具有不同拓扑意义的节点在网络信息流传输中扮演的不同动力学角色，从而有可能找到一些关键的节点，对这些节点局部性能的提高，可以从整体上显著增加网络的能力，而对这些节点的攻击，则可能造成整个网络能力的急剧下降。同时，可以有针对性地设计提高网络控制管理能力的算法^[7]。Arcangelis和Herrmann研究了小世界网络上的级联问题（AH模型），得到了级联反应规模统计特征与小世界网络断键重连概率之间的关系^[8]。Goh等人研究了无标度网络上的级联问题，求得了级联反应规模分布函数与网络节点度幂律分布指数之间的关系（GLKK模型）^[9]。如何发挥复杂异构的移动通信网络相对于单一网络的容错性和鲁棒性，也可以从针对其网络结构的级联问题研究入手。

综上所述，在网络系统行为研究方面的热点和难点包括：在网络结构演进方面，研究异构的无线网络结构的演进变化规律，研究特定网络系统结构与流量之间的联动模型。研究方法则首先需要通过计算机模拟无线网络，模拟业务流量特征，尤其是海量数据的生成、转移模型，进而通过计算机模拟流量对网络架

构的融合和冲击作用。

基于网络系统动力行为的研究成果，进一步研究优化的网络体系架构。该研究内容主要分为两个层次，分别包括协议模型架构和无线组网架构。协议模型架构研究的主要问题如前所述，未来泛在异构网络中移动业务的不断涌现及快速发展向网络管控协议提出了挑战，细腰沙漏模型的IP网络协议模型（图1）虽然在推动业务创新和网络融合方面独具优势，但是面对海量、轻量级突发业务流量的控制管理却无能为力。三位一体的电信模式（图2）适合于大规模的网络运维管理，但是结构封闭僵化，即使在引入IP后，也不能完全解决创新步伐较慢的问题。因此，下一代复杂异构的移动通信网络控制架构不再拘泥于蜂窝组网或热点组网这几种形式，一种业务传输需求一种组网形式，多种组网形式相互叠加将成为主要传输形式。

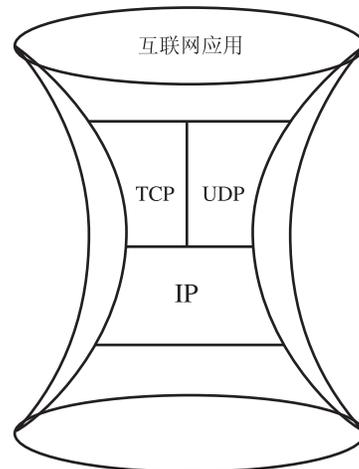


图1 互联网沙漏协议模型

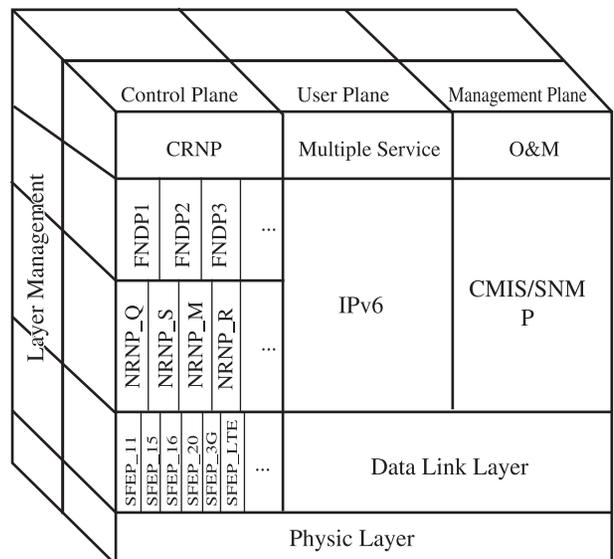


图2 电信网立方模型

基于上述分析, 应建立新的协议模型, 破除细腰模型的简单控制和三位一体模型的封闭结构, 提出基于业务需求的独立控制管理方式。这种协议模型不再追求规定完全的协议体制, 而只是提供一种协议框架, 用于针对特定的业务进行管控。此外, 在组网方面, 限定的组网形式适用于特定的技术和场景, 根据无线环境和应用需求探索叠加的组网形态, 并在叠加的网络中进行控制管理才是关键。

3.2 用户多维感知技术

下一代移动通信网络中包含多种不同体制无线接入网, 干扰形态复杂, 网络拓扑多样, 具有大规模移动用户位置变化频繁, 海量用户且每个用户业务多为轻量级, 传输环境变化剧烈等特点。要在这样一个复杂系统中实现智能的控制管理, 应充分感知用户的多维信息。

目前关于用户特征感知的研究主要集中在位置信息、业务特征两个方面:

(1) 用户位置信息。主要包括位置更新和位置概率预测两种方法。首先动态位置更新机制主要分为基于距离、基于运动和基于时间的位置更新机制。文献[10]通过比较这三种更新机制, 显示基于距离的更新机制性能最优, 然而其性能依赖于距离的准确测量和阈值的有效设定。文献[11]提出了一种利用统计分析, 建立基于运动的位置更新模型, 并讨论了运动模型阈值的优化, 有效的提高位置概率预测准确性。在位置概率预测方面, 许多用户移动感知都依赖于移动用户的位置概率分布已知的假设, 因而未能反映用户的实际运动模型。针对此问题, 文献[12-14]提出了多种位置预测模型。如基于动态贝叶斯网络、多层感知预测和Markov等模型。但是, 目前的位置管理机制应用于下一代移动通信网络的主要不足存在于设计的位置更新机制依赖于用户位置概率或小区拓扑结构已知的假设, 因而影响了位置概率预测的准确性。

(2) 业务特征感知。主要研究方法集中于两个方面^[15]。首先是基于流量, 持续时间, 速率以及突发率等特征的业务识别。这主要是通过对业务流的长期属性特征进行分析, 判断哪些业务流贡献了最大的带宽^[16], 其获取业务流的长期属性的主要手段是通过业务流的采样并结合必要的分组数据收集分析^[17]。第二是业务流量的特性分析。业务流量特性分析研究主要是通过对真实网络的流量进行建模, 分析流量特点。一般来说, 在业务识别中会将所有的连接聚合为一个流, 作为研究对象^[18, 19]。在连接的

聚合方面Brownlee等人提出了一种使用NeTraMet对网络业务流的大小和生命周期进行分析的方法^[20]。此外, 根据应用类型使用分组数据的分布(Packet Distribution)对业务流量进行建模从而对流量负载进行分析也是业务流量特性研究中的一个重要内容^[21]。

网络资源管控对网络性能的制约规律主要通过用户的位置信息、业务特征信息等参数与网络资源之间的相互关系来揭示的, 其中位置信息表明了用户所处的资源区域的位置, 决定了用户可利用的网络资源的地理信息, 业务特征信息刻画了网络用户对于网络状况的实时需求。经典用户感知理论往往基于简单的模型假设, 只能适用传统的简单网络环境, 如传统的P2M传输。因此必须针对下一代移动通信网络的特点, 结合统计几何、随机图论等新型理论, 进行创新的多维用户感知技术研究, 为建立适应下一代移动通信网络特点的智能控制管理提供实际的制约参考信息。

3.3 基于感知的网络资源协同适配

近年来, 对传统单一无线网络中的资源优化已经进行了一定的研究。针对下一代多无线接入复杂异构网络, 提出了可在不同网络之间进行资源分配的通用链路层模型^[22], 适合下一代异构无线网络的两层自适应MAC层协议^[23]。也有工作考虑了在异构融合网络中引入感知能力^[24, 25], 要求网络与终端都能感知到网络环境的变化, 在这种感知能力的支撑下, 网络能够根据环境变化自适应的调整资源管理方式。而终端能够根据环境变化发起自主切换, 选择最适合的接入网络。但上述工作均未考虑将异构复杂网络的动力行为及在与其相适应的网络架构下的网络资源控制管理。

此外, 现有的研究多基于传统的研究方式, 缺乏网络协议与网络行为之间的关系描述, 以及会带来计算复杂性和不确定性的灾难。由于网络协议参数之间的相互作用, 尤其是相依性在不确定环境下随变性, 会显著的影响网络资源优化的性能。在实用系统中网络资源协同适配的问题常常受到高维度和不确定性两种因素的限制, 例如, 网络资源适配的指标函数通常可以映射到高维状态空间, 这意味着最优解通常要通过高维搜索来得到^[26]。然而, 这样做将导致: (1) “维度灾难(Curse of Dimension)”表示随着模块参数数量的增长, 计算复杂度将呈现指数级增长; (2) “不确定灾

难 (Curse of Uncertainty) ”表示在一个复杂的网络系统中存在很多不确定性, 因此获得清晰的网络运行情况是相当困难的事情^[27]。此外, 不确定性还可进一步分为测量不确定性和建模不确定性。在网络资源优化设计中, 测量不确定性一般是由数据采集过程中的随机性造成的, 例如不准确的信息反馈。建模不确定性一般是由于系统建模过程中采用的近似方法造成的例如信道质量、网络负荷、节点移动性、用户数量和用户行为等等。对于复杂异构的移动通信系统网络资源协同适配来说, 网络参数变量之间相互作用的不确定性将会导致整个异构网络性能的降低。因此, 这种“双重灾难 (Dual Curses) ”将使得网络资源的协同适配变得非常具有挑战性^[28]。

因此, 智能控制管理的研究方向应面向异构融合的网络资源协同适配方法, 建立以“用户多维感知”为核心, 基于网元角色可变的时/空维度网络资源动态聚合/分离理论的网络重组机制。基于网元间协同的群学习和感知共享等理论, 对异构的移动通信网络资源的融合状态、以及各类用户需求进行分布式探测与分析, 同时以自组织形式构建分布式知识库, 用于存储资源协同适配方式的历史经验数据。采用智能迭代以及多目标联合优化方法求出用户服务需求以及网络协同优化目标之间的博弈最优解, 实现网络架构的重组适配。运用自主切换等技术解决部分子网功能弱化所导致的时/空维度网络动态聚合/分离问题。具体来说, 确定初始化的网络协作方式后, 每次的更新均需要考虑感知到的用户需求与网络环境的博弈关系。将不同网络的协作方式以及随机产生的网络协作方式作为初始解后进行智能迭代, 寻找同时满足用户需求与多目标联合优化的纳什均衡解, 即为当前最佳的网络组织管理方式, 并存入知识库。网间资源协同适配的前提是某个网络系统现有资源和所提供的服务不能够满足端到端用户的服务需求, 或者该网络本身感知服务需求的能力较弱, 此时就需要各个网络系统之间的协同适配。这也需要进行更加通用的语义化标示的研究。并利用数学工具, 基于多维度的环境感知建模结果, 实现基于网络资源选择机制、自适应网络资源分配和结构调整的智能端到端的管控解决方案。

4 结束语

下一代移动通信网络为了满足泛在移动业务的海

量、突发数据传输需求, 需要在网络动力行为及网络架构、网络资源管理及控制方式等方面呈现多样性的特点。现有的基于单一无线网络控制管理体系已经难以满足未来移动通信对系统抗压能力、鲁棒性和低成本运维的需求。本文分析了现有移动网络控制管理的研究现状及面临的挑战, 从网络行为模型及架构、用户多维感知及基于感知的网络资源协同适配三个方面进行了描述并分析了其需要突破的关键研究内容。针对下一代移动通信网络的复杂异构环境, 目前业界和学术界对其控制管理关键技术的研究仍处于初级阶段, 需要通过进一步的研究与应用, 提出切实可行的方案。

参考文献

- [1] Cisco. Visual Networking Index [EB/OL]. <http://www.cisco.com/web/go/vni>.
- [2] C-RAN无线接入网绿色演进 [R]. 中国移动通信研究院, 2010.
- [3] 张力宏. Direct Tunnel技术在3G网络中的部署 [J]. 信息通信技术, 2009, 5.
- [4] 赵迎升, 李静. 流量激增对核心网分组域的影响及解决方案 [J]. 移动通信, 2011, 2.
- [5] 3GPP TS 23.829 V1.3.0. Local IP Access and Selected IP Traffic Offload. Release 10.
- [6] Zhao L, Lai Y-C, Park K, et al. Phys. Rev. E 71, 026125, 2005.
- [7] Kleinberg J M. Nature (London), 406, 845, 2000.
- [8] de Arcangelis L, Herrmann H J. arXiv: cond-mat, 0110239, 2001.
- [9] Goh K I, Lee D S, Kahng B, et al. Phys. Rev. Lett. 91, 148701, 2003.
- [10] Noy B, Kessler I, Moshe S. Mobile users: to update or not to update? [J]. Wireless Network, 1995: 175-195.
- [11] Zhu Y H, Leung C M. Optimization of sequential paging in movement-based location management based on movement statistics [J]. IEEE Transaction on vehicular technology, 2007, 56(2): 955-964.
- [12] Petzold J, Pietzowski A, Bagci F, et al. Prediction of indoor movements using bayesian networks [C] // In Location-and Context-Awareness (LoCA 2005). Oberpfaffenhofen, Germany, 2005.
- [13] Vintan L, Gellert A, Petzold J, et al. Person movement prediction using neural networks [C] // In First Workshop on Modeling and Retrieval of Context, Ulm, Germany, 2004.
- [14] Ashbrook D, Starner T. Using GPS to learn significant locations and predict movement across multiple users [J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2003, 7(5):275-286.
- [15] Callado A, Kamienski C, Szabo G, et al. A survey on internet

- traffic identification [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009, 11: 37-52.
- [16] Wallerich J, Dreger, et al. A methodology for studying persistency aspects of internet flows [C] // SIGCOMM Computer Communication Review. 2005,35(2): 23-36.
- [17] Sommer R, Feldmann, et al. NetFlow: information loss or win? [M]. New York: ACM Press, 2002: 173-174.
- [18] Park, Kihong, Willinger, et al. Self-similar network traffic and performance evaluation [M]. Wiley-Interscience, ISBN: 978-0471319740, First Edition, 2000.
- [19] Sarvotham S, Riedi, et al. Connection-level analysis and modeling of network traffic [C] // Proceedings of 1st ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement. 2001.
- [20] Brownlee N, Claffy, et al. Understanding internet traffic streams: dragonflies and tortoises [J]. Communications Magazine. IEEE, 2002, 40(10): 110-117.
- [21] Crovella, Mark. Network traffic modeling [D]. Aalborg University, 2004.
- [22] Yamada M, Shinkuma R, Takahashi T. Cooperative networking in heterogeneous infrastructure multihop mobile networks [C] // IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006.
- [23] Han Z, Liu X, Wang Z J, et al. Delay sensitive scheduling schemes for heterogeneous qos over wireless networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(2).
- [24] Enge P, Misra P. Special issue on gps: the global positioning system [J]. IEEE, 1999: 3-172.
- [25] Ong Y S, Zhou Z Z, Lim D. Curse and blessing of uncertainty in evolutionary algorithm using approximation [J]. Evolutionary Computation, IEEE CEC, 2006: 2928.
- [26] Dept. of Mech, Eng A, Dept. of Math. Curse-of-dimensionality free method for bellman PDEs with hamiltonian written as maximum of quadratic forms [C] // European Control Conference. CDC-ECC '05,44th IEEE Conference, 2005: 42.
- [27] Tang L, Chi H H, Wu J B. Study on heterogeneous networks integration based on cognitive wireless network [C] // IEEE Computing in Science and Engineering conference, 2010.
- [28] 胡海波.无线异构网络发展综述 [J].现代电信科技, 2009, 12.