DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2018.02.001
网络出版地址：http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20180317.1655.004.html

大数据驱动的“人工智能”无线网络

Big Data-Driven "Artificial Intelligence" Wireless Network

张琰/ZHANG Yan
盛敏/SHENG Min
李建东/LI Jiandong
（西安电子科技大学，陕西 西安 710071）
(Xidian University, Xi'an 710071, China)

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2018) 02-0002-004

摘要： 提出了以用户特征获取与分析、工作参数配置与调整、智慧资源管控与优化、承载能力提升与进化为支撑的智能无线网络功能架构。以网络资源与用户需求的精准匹配为目标，研究了大数据分析与无线网络人工智能特性间的耦合关系。给出了大数据分析以及人工智能在无线网络中的典型用例，并初步验证了其有效性，同时展望了智能无线网络的发展前景和方向。

关键词： 大数据分析；人工智能；无线资源管理；服务质量（QoS）

Abstract: In this paper, a smart wireless network architecture based on acquisition and analysis of user characteristics, configuration and adjustment of work parameters, intelligent resource management and optimization, and capacity improvement and evolution is proposed. With the accurate matching of network resources and user requirements, the coupling between big data analysis and artificial intelligence of wireless network is studied. The typical use cases of big data analysis and artificial intelligence in wireless networks are given. The validity of this model is verified, and the development prospect and direction of smart wireless networks are also forecasted.

Keywords: big data analysis; artificial intelligence; wireless resource management; quality of service (QoS)

无线网络是大数据应用的重要载体之一；另一方面，无线网络的规模化、密集化发展也将产生海量的运维数据。以某区域运营商现网情况为例，无线基站每日操作维护中心（OMC）产生的各类数据将近数百吉比特，但目前运营商对于该类数据的应用率仅约30%左右。因此，如何充分挖掘和利用网络运维大数据来支撑无线网络的智能化已经成为未来无线网络发展的关键技术问题。

本文从“人”（用户特征获取与分析）、“工”（工作参数配置与调整）、“智”（智慧资源管控与优化）、“能”（承载能力提升与进化）4个方面阐述了支撑无线网络智能化发展的功能架构，如图1所示。同时，结合不同功能和应用场景的特点，提出了大数据分析以及人工智能在无线网络中的典型用例，从而实现网络资源与用户需求的精准匹配。本文旨在给大家提供一种启示性研究思路，使得大数据分析以及人工智能在未来无线通信网络中得到广泛关注，支撑未来人与人、人与物、物与物的全面互联需求。

收稿日期：2018-01-15
网络出版日期：2018-03-17
基金项目：国家科技重大专项（2017ZX03001010-004）；国家自然科学基金（61725103）

1 “人”：用户特征获取与分析

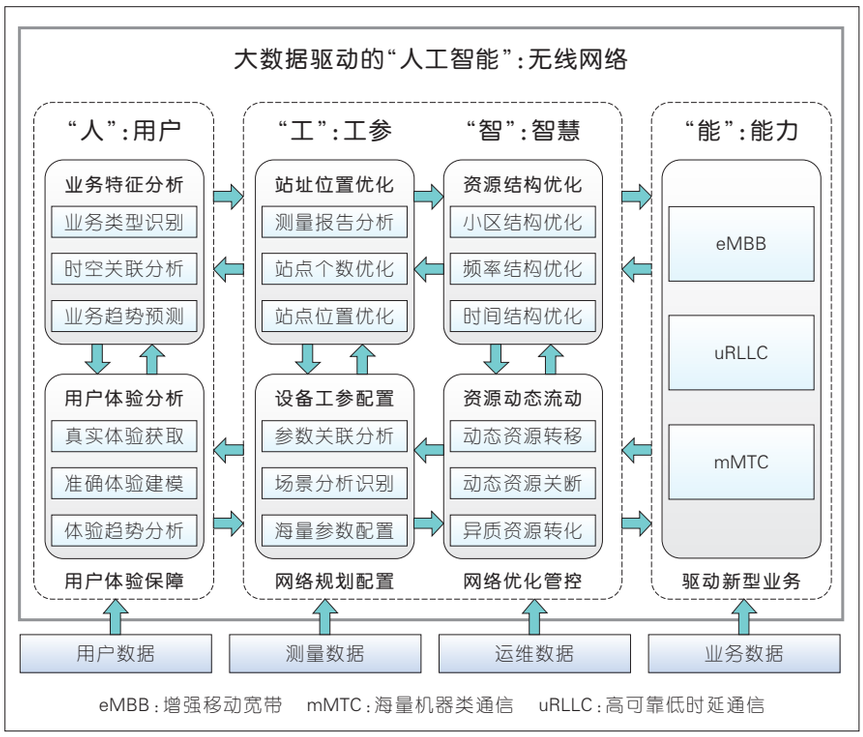
用户是无线网络服务的核心对象，实时、准确地获取用户的业务信息同时对用户的体验信息进行有效建模、评估是保证无线网络智能运行的基础，与此同时掌握用户的行为特征、业务特征也有助于网络的资源分配与管理。

1.1 业务特征分析

无线网络的性能与业务模型紧密相关，而移动互联网新兴业务的不断涌现给无线网络的运维提出了挑战，传统无线网络是通过采集核心网信令进行业务深度解析并检测出业务类别。然而其业务识别种类及实时感知控制能力尚不能满足未来智能化无线网络的应用需求。通过大数据分析手段建立终端、接入网、核心网、业务提供商的全链条业务识别与分析体系，可有效改善整网的业务保障能力，例如：可改善时延敏感类业务的用户体验，提升高价值业务感知，限制低价值业务的资源占用等。

另一方面，随着数据分析手段和计算能力的提升，使得利用业务特征数据建立大量用户及业务的时空关联特征成为可能。例如：在文献[1]中作者建立了贝耶斯网络结构学习框架，利用观测样本数据来确定业务的

D:\MAG\2018-04-139/VOL23\F3.VFT——4PPS/P1



▲图1 无线网络智能化功能架构

空间统计分布及依赖关系，进而可以进行小区间业务的合理推理与趋势预测。基于业务数据的时空关联关系可为网络资源分配与预留提供重要依据。

1.2 用户体验分析

用户体验是判断智能无线网络优劣的基本准则。现如今，各类移动数字设备层出不穷，社会各个领域的信息化不断加深，因此，存在大量与人类领域、技术领域、经济领域、环境领域相关的复杂因素影响着移动用户的业务体验，分析的维度以及关联关系复杂度不断提升。此外，研究表明：85%以上的用户并不愿意反馈自己的业务体验，导致用户的实时准确信息难以获取，使得用户体验的分析变得更加困难。因此，通过用户的客观行为建立用户的真实体验模型成为了极具吸引力的新方向。

以移动视频业务为例，用户的客观行为表征参数，如放弃率、观看时长、快进频率等具有较好的可测性，可在用户无感知的条件下为用户体验的建模提供基础行为数据。在此基础上，可以结合移动视频应用环境来进一步优化用户体验建模的准确性。例如：根据全球定位系统（GPS）信息和基站信息确定用户所处位置；利用终端的麦克采集环境噪音强度；利用终端感光器采集环境的光强；根据时钟信息确定时间等来判断用户体验业务时的周边环境，将此类数据与用户客观行为数据进行联合处理可以有效地获得用户的一些真实业务体验。

传统的无线网络中的数据报表往往是单维的、无关联的，无法描述网络的运行细节，更无法体现用户的真实感知，因此通过用户体验与业务特征的智能分析为网络的智慧运营打下了良好的基础。

2 “工”：工作参数配置与调整

为了应对数千倍容量需求，无线网络的基本形态将是超高密度布设的小基站（热点/家庭基站/微微小区）+微小区+宏小区，并与无线局域网络互补共赢、异构融合。因此，站址位置的选取以及基站工作参数的配置复杂度将成指数增长，通过引入大数据与人工智能的处理手段，可有效减轻网规网优人员的负担。

2.1 站址位置优化

传统无线网络规划通常需要考虑网络结构、业务分布、网络覆盖、无线传播环境、干扰规避、边界协调等方面的要求，目前已有针对2G、3G和长期演进（LTE）系统所量身打造的网规网优系统，比如中兴通讯的ZTE UniPOS无线网络规划系统和ZTE UniPOS无线网络优化系统，但传统网络规划问题站址个数和备选位置往往相对较少，随着微站和微微站的大规模商用使得网络站址选取与优化复杂度不断提升，与此同时家庭基站的引入使得蜂窝基站的布设位置不再受运营商精准控制，这也无形中增加了无线网络规划的难度。因此，面向5G超密集基站部署问题传统的测量与优化方法将不能很好地满足应用需求。通过粒子群优化、量子粒子群优化等智能算法的引入，可有效解决站址个数、站址位置的双重优化问题，同时提升网络规划的自主性、最优性以及鲁棒性。

2.2 设备工参配置

网络的密集布设使网络需管理和配置的参数大幅增长，例如：在2G网络中，单节点需要配置和优化的参数大约为500个；3G网络需要配置和优化的参数达1 000个；4G则有1 500个参数，而在下一代网络中，单节点[2]可能需要配置和优化达2 000个参数，与此同时，各个工作参数间的关联关系更为复杂。

针对无线网络巨量工作参数配置复杂度指数增长的挑战，我们需要构建多维工作参数的网络化自配置架构，设计分层分区的低开销分配与

D:\MAG\2018-04-139/VOL23\F3.VFT——4PPS/P2

配置方案。例如：可根据网络规模与密度，将覆盖区域划分为紧密相接的弹性虚拟小区，根据最大化空间复用原则为每个弹性虚拟小区分配局部最优的工参配置表。基站可根据自身地理位置与密集小区工参配置表进行映射，快速配置多维工作参数，从而减少多个密集区域配置参数及配置开销，且仅需低频次网络化的联动交互，就可实现网络工作参数的无冲突分配和配置，使得网络资源分配和配置开销不随网络规模和密度增大而显著增长。此外，网络化的自配置架构同时可以支撑网络参数的在线调整，为网络资源的按需流动提供了基础。

3 “智”：智慧资源管控与优化

智慧的资源管控是智能化无线网络的核心，其目标是通过无线资源的优化分配与动态流转来匹配用户的需求。

3.1 资源结构优化

网络资源结构的优化是在相对较大的时间尺度上为网络提供优化的资源结构，主要包含小区结构优化、频率结构优化、时间结构优化。

（1）小区结构优化

由于基站布设密度、用户密度以及业务密度的不断提升，网络干扰成为了制约网络服务质量提升的关键因素，尤其是小区边缘用户服务质量更是无法很好地得到满足，通过统一网络化资源管控架构可以实现物理小区的合并与拆分，也就是在网络部署后可以实现网络结构的动态调整来适应不同的业务分布。因此，可以通过将小区结构优化与业务特征分析相结合，构建最佳的小区结构。

（2）频率结构优化

当前的无线网络有D、E、F等多个频段可以使用，未来5G在3.5 GHz以及更高频率将会有更多可供使用的频段，大量接入点的频点配置及其形成的网络频率结构自优化将成为关键。文献[3]中将该问题建模为一个非合作速率最大化博弈模型，并设计了一种完全分布式的频点分配算法，在不需要大量信息交互的条件下实现了即插即用的自主频率优化。

（3）时间结构优化

由于业务的多样性和时变性导致上下行业务存在不均衡的现象，而在时分双工（TDD）系统中可通过动态调整上下行子帧的配比来动态适应网络中业务的变化。然而，不同接入点使用不同的子帧配比也将引入交叉子帧干扰，从而降低了网络的整体性能，因此需要整网的数据统计和分析来实现最优的子帧配比。文献[4]、[5]中作者提出了一种基于动态TDD的匹配网络业务分布的最优资源分配方法，该方法首先根据网络中小区的业务需求将小区进行聚类，推导了不同业务负载对蜂窝链路成功传输概率的影响。以最小化每类小区的服务时间为目标，求解出了与每类小区上下行业务需求最优匹配的上下行子帧配置因子，实现了网络业务与资源的最优匹配。

3.2 资源动态流动

资源动态流动是在小时间尺度上智能地为用户提供最佳资源，主要包含动态资源转移、动态资源关断、异质资源转化。

（1）动态资源转移

根据无线资源细粒度调度和自适应调整的需求，可在优化的资源结构基础上，通过资源状态交互，发现并利用空间隔离区域小区间的隐藏关联关系，将多个相互独立小区的接入资源进行聚合，形成网络化的群聚资源。根据用户业务时空变化特性，综合考虑密集区域内站址的空间分布与频率资源的耦合度，以密集区域内接入用户数最大化为目标，动态构建最佳小区形状及动态区域结构，进行资源的分配和网络化加载，使用户在新构建的区域小区间平滑流转，实现了资源加载过程的快速收敛和区域间的负载均衡，有效地降低系统的阻塞率，提升了系统容量。

（2）动态资源关断

在优化网络运行状态的过程中，除了系统吞吐量，网络传输过程中的能量效率同样是一个值得关注的问题。在5G密集组网场景中除了较大时间尺度上对密集接入点进行关断/开启外，载波关断技术也作为一个节能策略被广泛研究，例如：在分时长期演进（TD-LTE）网络中，当业务负载较轻时，将一帧中的下行子帧配置成一个或多个多播/组播单频网络（MBSFN）子帧，可以实现更多的符号关断。通过动态配置MBSFN区域内的小区，并分配MBSFN区域间的多播帧配置，可以实现多小区资源的联动和干扰的有机规避，从而在节省基站功率消耗的同时提升了网络吞吐量，进而可以支持更多用户。

（3）异质资源转化

在密集接入场景下无线局域网与蜂窝网络的深度融合已成为必然趋势。两种网络资源在时、空、频多个维度均存在差异。因此需要对异质资源配置进行实时优化，以适应无线信道状态的随机变化，匹配不同类型用户的业务特征，文献[6]中作者提出了一种两种异质网络的联合资源转化方法，充分利用不同网络的业务负载与传输能力的异质化特性，细粒度地缓解网络间干扰，保障用户服务需求。此外，计算资源与存储资源的优化分配及其与通信资源间的有机转化也是目前研究的热点。

4 “能”：承载能力提升与进化

支持增强移动宽带业务，如无线虚拟现实/增强现实（VR/AR）；超高可靠低时延业务，如车联网控制信息；海量机器类通信（mMTC），如物联网业务，是5G无线网络承载能力提升的重要目标。以数据为驱动力，我们突破了网络化智能资源管控技

D:\MAG\2018-04-139/VOL23\F3.VFT——4PPS/P3

术，并在第3届全国互联网+大赛主会场——西电远望谷体育馆构建了“繁星”密集无线通信试验系统，系统通过认知资源弹性配置、区域资源链式联动、跨域资源聚合协同，实现网络连接密度提升与无线全息业务承载的新突破，保障了互联网+大赛的顺利圆满进行，为用户提供了“身临其境”的极速无线业务体验，如图2所示。

▲图2 “繁星”密集无线通信系统部署、测试与业务体验

无线网络是数据传输的载体，同时数据的不断积累也成为无线网络智能化水平不断的先决条件，未来无线网络将成为不断具备自配置、自优化、自愈合的智能化系统[7-9]，甚至将具备自进化的能力，如图3所示。

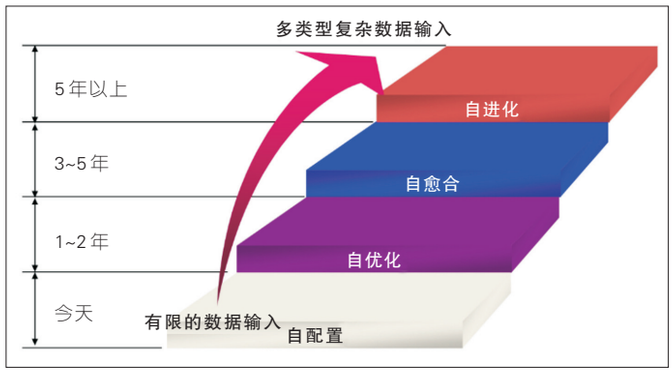


图3▶ 数据驱动无线网络智能化水平提升

5 结束语

大数据与人工智能已经在一些规则的、有边界的问题处理中取得了比较好的应用效果，如围棋、医疗等领域，然而针对支持万物互联的无线网络是否有惊人的优势还在不断探索中；但海量数据与智能算法一定会成为无线网络进一步发展的重要基础。通过在用户特征分析、工参优化配置、智能资源管控、承载能力提升等方面引入人工智能可以帮助人们在系统布设、自动化运营和优化等各个核心环节做出更明智的决策，能进一步满足并催生新兴业务。

参考文献

[1] HAN W J, SANG H Y, SHENG M, LI J D. Efficient Learning of Statistical Primary Patterns via Bayesian Network[C]// IEEE International Conference on Communications. USA:IEEE, 2015 :4871–4876. DOI: 10.1109/ICC.2015.7249094
[2] IMRAN A, ZOHA A, A ABU–DAYYA A. Challenges in 5G: How to Empower SON with Big Data for Enabling 5G [J]. IEEE Network, 2014, 28(6): 27–33. DOI: 10.1109/MNET.2014.6963801
[3] XU C, SHENG M, WANG X J. Distributed Subchannel Allocation for Interference Mitigation in OFDMA Femtocells: A Utility–based Learning Approach[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2015, 64(6): 2463–2475.DOI: 10.1109/TVT.2014.2344434
[4] SUN H G,SHENG M, MATTHIAS W, et al. Traffic Adaptation for Small Cell Networks with Dynamic TDD[C]//Proceedings of 2016 IEEE Global Communications Conference. USA:IEEE,2016
[5] SUN H G,SHENG M, MATTHIAS W, et al. Traffic Adaptation and Energy Efficiency for Small Cell Networks With Dynamic TDD[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2016, 34: 3234–3251. DOI: 10.1109/JSAC.2016.2600442
[6] WANG L, SHENG M, ZHANG Y, et al.IM–Torch: Interference Mitigation via Traffic Offloading in Macro/Femtocell+WiFi HetNets [C]//2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications. USA:IEEE, 2013: 1705–1709. DOI: 10.1109/PIMRC.2013.6666417
[7] KHATIB E J, BARCO R, MUNOZ P, et al. Self–Healing in Mobile Networks with Big Data [J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(1): 114–120.DOI: 10.1109/MCOM.2016.7378435
[8] GOMEZ–ANDRADES A, MUNOZ P, SERRANO I. Automatic Root Cause Analysis for LTE Networks Based on Unsupervised Techniques[J].IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(4): 2369–2386
[9] BARCO R, LAZARO P, MUNOZ P. A Unified Framework for Self–Healing in Wireless Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(12): 134–142. DOI: 10.1109/MCOM.2012.6384463

作者简介

张琰，西安电子科技大学副教授；主要研究领域为无线网络资源分配、智能网络；先后主持和参加基金项目10余项，获得国家技术发明奖二等奖2项；已发表论文20余篇，其中被SCI/EI检索10余篇。

盛敏，西安电子科技大学教授、博士生导师，教育部长江学者特聘教授，国家杰出青年科技基金获得者；主要研究方向为智能宽带无线通信、认知无线网络、大规模自组织网络等；先后主持和参加基金项目20余项，获得国家技术发明奖二等奖2项；已发表论文100余篇，其中被SCI/EI检索80余篇。

李建东，西安电子科技大学教授、博士生导师，教育部长江学者特聘教授，国家杰出青年科技基金获得者；主要研究方向为智能宽带无线通信、认知无线网络、大规模自组织网络以及无线网络的干扰管理等；先后主持和参加基金项目20余项，获得国家技术发明奖二等奖2项；已发表论文200余篇，其中被SCI/EI检索100余篇。

D:\MAG\2018-04-139/VOL23\F3.VFT——4PPS/P4