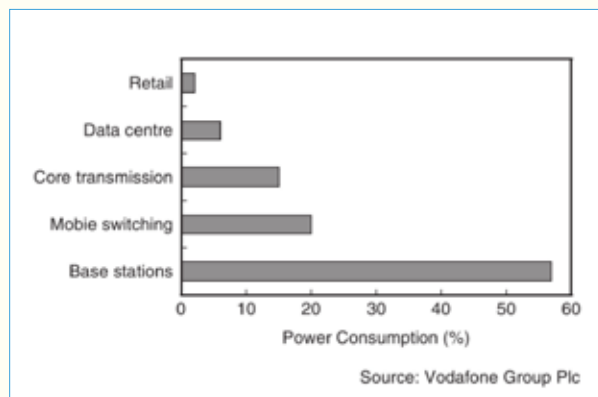


# 超级基站 未来绿色无线通信发展的基石

□ 中科院计算所无线通信技术研究中心 周一青 田霖 石晶林



图一、移动通信网络用户业务需求和支出发展趋势图 [1]



图二、移动通信网络能源消耗比例图 [2]

## 1. 发展未来绿色通信的两个驱动力

近二十年来，移动通信技术迅猛发展，基本实现了为“任何人在任何时间、任何地点实现通信”的无线通信目标。随着人们对移动业务特别是移动数据业务的需求日益增强，移动通信网的业务流量正以每 2-3 年翻一番的速度增长（见图一）。为了满足这些需求，新的宽带移动通信机制、系统层出不穷，移动通信网络需要不断地更新、升级、扩张，运营商的运营成本 (OPEX: Operation Expenditure) 越来越高。但与此同

时，用户支出的增长却极其缓慢。因此为了本身的可持续性发展，运营商必须严格控制 OPEX。数据表明，移动网络的用电占 OPEX 约四分之一，提高网络能源效率成为降低运营成本的关键。据统计，在英国，Vodafone 移动网的 2009 年的耗电量已达 4.4 亿 kWh，电费的支出占其 OPEX 的 20% [1]。而在中国，中移动 2011 年的电力消耗已达 129.35 亿 kWh，较 2010 年同期增长 8.4%，电费的支出占了 OPEX 的 25% [3]。Vodafone 和 Orange 在 2009 年就定下目标，要在 2020 年将网络能耗降低 50%。

中移动更是提出了在 2020 年，要将移动通信网络端到端能量效率提升 1000 倍（相对 2011 年现网（2G/3G）能效而言）。此外，从图二可以看到，移动通信网络的能源有 57% 是消耗在无线通信的基站端。因此，发展绿色无线电技术，特别是基站低能耗技术，是降低整个移动通信网络能耗的关键。

除了来自运营商的驱动力，绿色通信也符合全球环保的发展趋势。全球变暖已经成为当今人们普遍关注的问题。数据表明，整个 ICT 行业所产生的能耗约占整个全球能耗的 7%，产生的 CO<sub>2</sub>

量约占全球排放量的 2%。而这其中无线领域的能耗在整个 ICT 行业中的能耗的比重约为 15%–20%。虽然目前这个数据并不大,但是必须看到,移动设备的数量在飞速增长,据估计,到 2019 年,智能手机数量会超过 56 亿台,移动数据流量使用将增加 10 倍。这势必会导致运营商在基础设施建设上增加投入,导致无线通信领域能耗的增加。此外,像视频服务等数据业务将逐渐成为移动设备的主流业务。他们需要更大的数据传输量,意味着更多的能耗。根据欧盟关于 ICT 行业的 CO<sub>2</sub> 排放量的预测,在 2020 年时无线通信领域的 CO<sub>2</sub> 排放量将会超过普通的网络。因此,发展绿色无线通信,降低无线通信能耗,对降低 ICT 行业的 CO<sub>2</sub> 排放量具有重要的环保意义。

## 2. 绿色通信国内外发展动态

国际组织与项目:绿色无线电的概念最先由 Mobile VCE 于 2009 年提出,目的是为了大幅降低移动通信网络的能耗。Mobile VCE 提出了 Core 5 Programme,即绿色无线电项目,在网络架构和无线电技术两大方向上展开研究,目标是建立一个由低功耗的无线网络和骨干网组成的绿色网络架构,同时保证良好的服务质量;并研究所有协议层上及跨层的最好的无线电

技术,总体上实现降低功耗一百倍的目标。GreenTouch 是专门研讨绿色通信的全球性组织。根据 Bell Labs 专家的分析,目前移动通信网络的效率低下,提供的端到端平均能耗 25 瓦的服务从理论计算仅需 1 毫瓦,因此通信网络能源效率应有 25000 倍的提升潜力。据此,GreenTouch 提出了一个宏伟的目标,力争在 2015 年,提出有效的移动通信网络架构和技术,能够在 2010 年网络能源效率的基础上提供一千倍的改进。此外,欧盟的 FP7 项目支持的 Earth (Energy Aware Radio and Networks Technologies) Project 始于 2010 年 1 月,目标是在两年半的时间内,将第 4 代移动通信网络 (4G) 的能耗降低 50%,以提供环保的、低费用的宽带无线业务。

业界动态:作为全球最大的移动通信网络运营商,中国移动在最近 5 年基站数量从 20 万个增加到 50 万个,电力消耗翻倍。发展绿色无线电,降低网络能耗和运营成本对中移动尤其重要。目前移动通信网络面临的挑战主要包括两个方面。一是现代城市生活方式造成了网络负载的潮汐效应,即在白天工作时间商务区的负载高,而在晚上下班时段,住宅区的负载高。目前移动通信网络的基站之间互相独立,不能有效地处理潮汐效应的动态网络负载,

导致较低的平均基站利用率,造成了能源的浪费。二是现代大型城市已经部署了大量的基站,有些间距仅有 100 米。同时为了有效利用频谱,网络的频率复用因子较高,因此基站间的无线干扰严重。为了解决上述问题,必须优化无线接入网络 (RAN) 的架构。因此中移动提出了 C-RAN 架构,主要是由实时云架构的集中处理中心,高带宽的光传输网络和分布式射频拉远模块三大部分组成 [3]。这样一方面避免了对大量传统基站的维护升级工作,大大降低了传统基站的能耗,一方面将信号进行集中处理和集中控制,有利于多个蜂窝之间的资源联合处理。中移动与华为、Intel、IBM、中兴、中科院计算所等合作,已经实现了在一个 IT 平台上支持 3 个模式的基带处理单元 (BBU: Baseband Processing Unit),并在 2011 年日内瓦 ITU 世界电信大会上进行了演示。基于 C-RAN 的理念,IBM、阿尔卡特朗讯、诺基亚、华为等设备厂商和研究机构纷纷提出了自己的集中式架构或 C-RAN 实现方式。

学术界动态:移动通信网络的能耗问题不仅给产业界带来严峻的挑战,也给学术界提出了众多的科学问题,吸引了全球的学者进行研究。自 2008 年起,越来越多的国际会议出现了讨论绿色无线电的专题,如 GreenWireless2008,

IEEE 旗舰会议 ICC2009-2013, Globecom2009-2013 等。2011 年, Green Radio 成为 IEEE Communication Society 下属一个正式的 subcommittee。此外, 从 2010 年 11 月开始, IEEE Communications Magazine 陆续发表了三期“Energy Efficiency in Communications”的特刊, 就通信网络中的能效问题展开了广泛深入的探讨, 提出了动态节能蜂窝网络架构等概念。同时, 国际通信领域影响因子最高的期刊, IEEE Journal on Selected Areas in Communications(JSAC) 于 2012 年 4 月发布了一期专题特刊“Spectrum and Energy Efficient Design of Wireless Communication Networks”, 将能效作为系统设计的一个重要性能指标, 推动学术界研究不仅频谱效率高, 而且能源效率也要高的无线通信网络技术 [4]。

### 3. 基于超级基站的高能效绿色通信网络

分析现有移动通信网络能源消耗比例和研究可见, 要降低移动通信网络的能耗, 关键是提出新型网络架构, 降低基站能耗。为应对未来绿色通信网络对容量、成本、能耗、管理控制等方面的挑战, 新型基站需要满足下述需求:

- **低功耗**。网络总能耗低,

能应用各种节能技术, 在网络空闲时进行节能, 应对潮汐效应对能耗的浪费。

- **大容量**。能进行较大规模的基站集中部署, 资源集中控制, 满足较大规模容量和处理需求, 及灵活扩容需求, 满足未来网络大数据量的需求。

- **高资源利用率**。对基站处理资源进行动态分配和部署, 解决潮汐效带来的处理资源的浪费。

- **多模异构支持**。支持多种通信模式、多种小区形态的基站, 具有多模可重定制的功能, 可以按需要初始化成需要的制式。

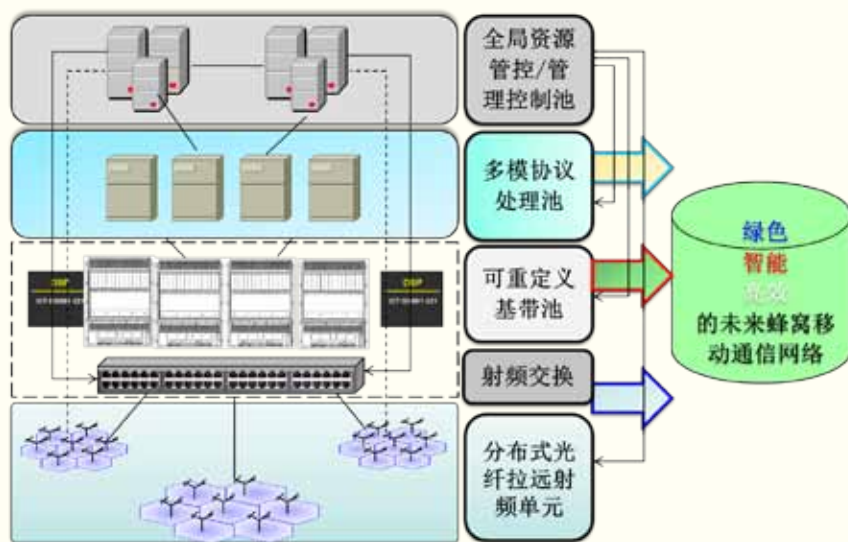
- **可升级扩展**。支持灵活动态扩容升级, 基础设施重用, 而无需替换现有的基础设施。

- **支持实时虚拟化技术**。通过虚拟化技术进行基础设施共享, 将网络资源按需部署到业务需要

的地方, 根据业务需求动态分配计算资源。

- **智能控制**。具有智能自优化等功能, 能对资源进行智能部署, 网络进行自动优化。支持动态部署、升级各种网络优化算法。

针对上述需求, 中科院计算所无线中心提出了基于超级基站的新型集中式网络架构, 如图三所示。超级基站根据蜂窝网络基站设备的特点, 将基站系统解耦成 4 层处理单元, 因此整个系统共分为 4 层资源, 每层均采取资源水平池化共享的理念。其中第一层为**分布式光纤拉远射频单元**, 即 **RRH**, 负责无线信号收发, 通过光纤将射频数据传回超级基站机房。接着是射频交换机, 将射频数据按需要交换到任意基带处理单元, 完成动态组合。第二层是**可重定义的多模基带处理池**, 可



图三、超级基站架构

采用 **DSP** 或者 **通用处理平台** 来实现基站的基带处理。第三层是**多模协议处理池**，主要完成基站层 2 层 3 协议处理。第四层资源是**管理控制池及全局资源管控**，主要完成对基站的管理控制，如 **RRM**，**OAM** 等，以及整个超级基站系统的管理控制。超级基站通过虚拟化将四层资源动态地按需分配给相应的虚拟基站，完成基站功能。

基于上述超级基站架构和组成，我们将**超级基站定义**如下：

定义：超级基站是一种基于集中式架构的新型基站平台，将传统基站资源进行集中式部署并进行水平池化、统计复用共享，利用虚拟化技术在统一的基础设施上提供多个多模虚拟基站的功能，实现基站的逻辑功能与物理实体相分离，通过统一和开放接口实现虚拟基站的按需创建、动态部署，资源按需分配，并能在集中式架构下提供更加广泛的集中式协调、优化等智能控制，是一种无线接入网络虚拟化技术。

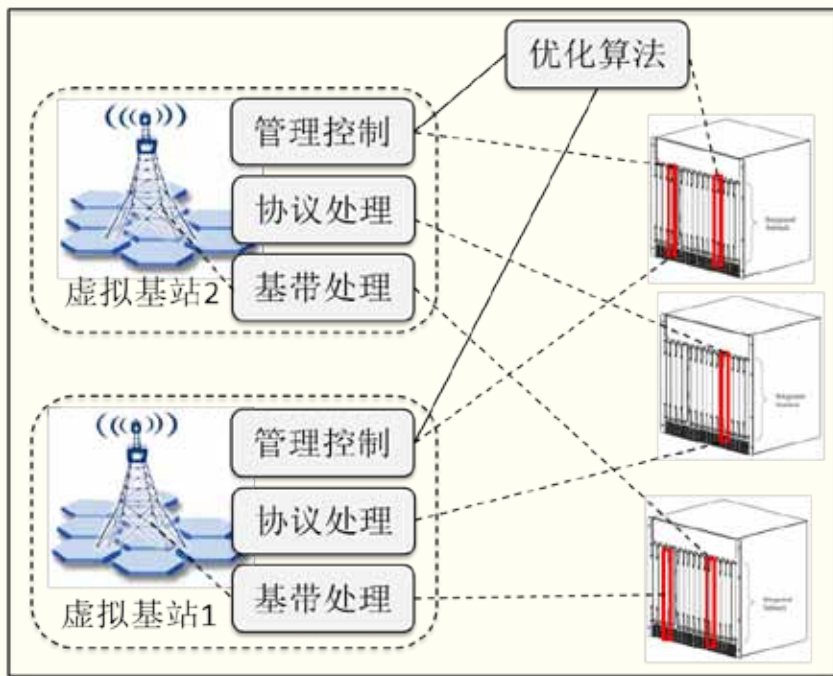
可见，超级基站不是一个独立的基站，而是一个通用多模基站平台。该平台拥有基站各部分处理的基础设施，在此基础设施上，运营商可以动态地创建、部署多个多模虚拟基站，而无需考虑基站对应物理资源的位置和形态，基站之间可以动态共享基础设施。虚拟基站与传统基站具有完全相

同的功能表现形式。基于超级基站的虚拟基站及网络形式如图四所示。图中超级基站各资源池用右边机箱表示，从下往上分别为基带处理资源池、协议处理资源池和管理控制资源池，虚拟基站 1 和虚拟基站 2 为两个不同的基站，分别包含天线铁塔、基带处理、协议处理和管理控制逻辑实体。虚拟基站的逻辑实体与资源池中的物理实体对应关系如图中虚线所示。可以看出，从逻辑上，虚拟基站 1 和虚拟基站 2 分别独立拥有处理资源，而实际上这两虚拟基站的

化算法对虚拟基站 1 和虚拟基站 2 进行联合优化和协调，通过管理控制池，该实体可以与虚拟基站 1 和虚拟基站 2 中的管理控制实体实时进行交互，如图中实线所示，优化算法与管理控制实体直接在部署优化算法软件时便可以通过网络进行实时通信、协同优化。虚拟基站 1，2 可以是宏蜂窝，也可以是对处理能力要求更小的小蜂窝。

综上所述，超级基站的技术特点包括：

(1) **集中式架构**。超级基站采取逻辑分布，物理集中式接入网络架构。集中的重点在于集中式处理和集中式管控。集中式处理采取处理资源集中共享统计复用，从全网的角度节约网络资源，



图四、基于超级基站的虚拟基站示意图



便于对基站处理按业务需求进行动态按需部署,应对潮汐相应等业务分部不均匀。同时,集中式架构便于进行基站之间协同通信,协同传输和协同优化。

(2) **集中式处理资源池化。**超级基站采取集中式处理资源池化的理念,将基站资源划分为射频天线、基带处理、协议处理和管理控制,进一步解耦基站中处理部件之间的关联。并对各资源进行水平池化共享,打破了传统通信系统中不同的基站间/载波处理间软硬件资源不能共享的瓶颈,降低了网络建设和部署成本,提高了资源利用率。

(3) **智能资源控制。**超级基站采取全局资源管理的方式对网络资源进行统一管理,能够准确了解全网络负载,无线资源和计算资源使用情况,便于从全网优化的角度对网络的频谱资源、计算资源、能耗资源进行动态、智能分配,为网络优化提供基础。并且,通过对虚拟基站管理控制实体进行池化,降低管理控制成本,将网络优化等管理功能与基带处理、协议处理等基础功能进行分离,运营商可以动态部署各种网络优化算法,并通过部署虚拟基站管理控制软件,可以快速高效虚拟任意基站之间的信息链路(如X2),支持大范围基站协同控制。

(4) **虚拟化及动态资源分**

**配。**超级基站通过射频交换技术解耦射频天线与基带处理之间的绑定,通过动态组合解除基带处理与协议处理之间的绑定。超级基站根据网络负载对射频天线进行动态无线资源配置,对虚拟小区进行动态处理资源配置,提高资源利用率,也节约更多的网络能耗。与C-RAN等其他集中式架构不同的是,超级基站不采取基于IT的操作系统级虚拟化技术,而是通过资源管控方法对处理资源进行实时虚拟,效率高、代价小。基于超级基站资源虚拟化技术,可以给网络带来更多如高可靠性、高利用率、低升级成本等优势。

#### 4. 无线中心超级基站研发进展

中科院计算所无线中心已经在超级基站方向进行了深入的研发,研究了多小区联合信号处理、全局无线资源管理、计算资源虚拟化、网络覆盖优化等超级基站关键技术。例如,针对未来无线网络小区密集分布的特点,利用超级基站的联合信号处理能力,提出了以用户为中心的小区簇技术,能有效降低小区间干扰,提升系统性能[5];在资源管理方面,提出一种基于软频率复用的超级基站系统广域自适应无线资源分配算法,利用超级基站系统超高计算能力、信息实时共享、集中处

理的特点,在满足系统用户速率需求、系统功率限制条件下,根据系统负载分布,动态调整各小区子载波以及功率分配,实现系统全域资源的优化分配[6];同时我们也研究了超级基站对异构网络的支持和相应的资源管理策略[7];此外,“潮汐效应”给传统的移动通信网络带来了能效低下的问题,而利用超级基站架构,我们发现反而可以利用这种小区负载变化带来的分集增益,提升计算资源的利用效率,据此提出了基于负载分集增益的超级基站资源分配机制[8];我们也对基于超级基站架构的未来网络性能进行了分析,如低信噪比情况下的容量分析,各小区采用分数频率复用技术时的容量分析等,给出了未来网络性能的一个理论上限[9-10]。

同时,无线中心正在进行超级基站原型样机的研发,设计目标是实现具有支持30万移动用户能力的单个基站系统。如图五所示,样机主要由高速射频交换系统,集中式基带池和集中式协议处理池构成。其中高速射频交换系统采用可重构的FPGA阵列,通过硬件逻辑实现高吞吐量的前端数字信号处理,并采用了基于Rapid IO和CPRI的两级高速IQ交换网络;集中式基带池采用自主研发的可编程的DSP阵列,通过软件实现物理层协议,同时采



图五、超级基站原型样机

用 Hyperlink 和 Rapid IO 实现高速数据交换；集中式协议处理池采用高性能 CPU 阵列，实现 L2/L3 协议栈软件、集中管控软件和

资源虚拟化软件，在数据交换方面是基于 IP 实现高速交换。该样机预期在 2014 年底完成基本功能研发和实现。

## 5. 总结

为了满足移动通信系统的可持续性发展和全球环保的需求，绿色无线电成为未来无线通信系统发展方向，受到通信业界和学术界越来越多的关注。中科院计算所无线中心提出的基于超级基站的绿色通信网络架构，通过集中式处理和管控，一方面避免了未来网络对大量传统基站的分布式管理，能够大幅降低基站的能耗，另一方面提供了超级计算、处理、存储能力，支持多小区联合信号处理，支持智能高效的资源管理，能进一步降低系统能耗，提升网络性能，是未来绿色通信网络发展的基石。

## 参考文献

- [1] S. Fletcher, "Green Radio – Sustainable Wireless Networks", Mobile VCE, Feb. 2009.
- [2] C. Han et al., "Green Radio: Radio Techniques to Enable Energy-efficient Wireless Networks," IEEE Commun. Mag., vol. 49, no. 6, pp. 46–54, June 2011.
- [3] 中移动白皮书, CRAN 无线接入网绿色演进, 2011 年 1 月。
- [4] Y. Yang, X.H. You, C.X. Wang, "Spectrum and Energy Efficient Design of Wireless Communication Networks," IEEE JSAC, vol. 31, issue 5, pp. 825–828, May 2013.
- [5] V. Garcia, Y. Zhou and J.L. Shi, "Coordinated Multipoint Transmission in Dense Cellular Networks with User-Centric Adaptive Clustering", accepted by IEEE Trans. Wireless Comm., Apr. 2014.
- [6] M.L. Qian, W. Hardjawana, Y.Li, B. Vucetic, X. Yang and J.L. Shi, "Adaptive Soft Frequency Reuse Scheme for Wireless Cellular Networks", accepted by IEEE Trans. Veh. Tech., Apr. 2014.
- [7] 田霖, 翟国伟, 黄亮, 周一青, 石晶林, 基于集中式接入网架构的异构无线网络资源管理技术研究, 电信科学, 2013 年。
- [8] G.W. Zhai, L. Tian, Y. Zhou and J.L. Shi, "Load Diversity Based Optimal Processing Resource Allocation for Super Base Stations in Centralized Radio Access Networks", Science China Information Sciences, vol. 57, issue 4, pp. 1–12, Apr. 2014.
- [9] Y. He, E. Dutkiewicz, G.F. Fang and J.L. Shi, "Differential Capacity Bounds for Distributed Antenna Systems under Low SNR Conditions", IEEE ICC2014, pp. 1–5, Jun. 2014.
- [10] Y. He, E. Dutkiewicz, G.F. Fang and J.L. Shi, "Downlink Capacity in Cloud Radio Access Networks with Fractional Frequency Reuse", accepted by IEEE WPMC2014.