

5G无线通讯系统

摘要

随着 4G 网络的部署和商业运作的发展，全球范围内的技术专家已经开始寻找下一代无线解决方案以满足在 2020 时代移动互联网爆炸式发展的预先要求。本文介绍了我们对 5G 网络两个主要主题的视角：绿色和软件。通过反思香农定理和传统的中心细胞设计，当网络功耗降低时，网络容量可以显著增加。绿色和软件组合的可能性是通过 5 个相互关联的研究领域：能源效率和频谱效率的协同设计，没有更多的单元，反思信号/控制，看不见的基站，和全双工无线电。

引言

随着第四代（4G）标准的成熟和全球范围内正在进行的4G蜂窝网络的发展，对5G通讯技术的研究活动已经出现在学术和工业社区。来自不同国家和地区的多个组织已经采取措施并且建立了项目旨在潜在的5G关键技术：5G NOW和建立在欧洲电信标准协会框架7下的METIS研究新的波形和5G的基础以满足2020年的需求；5G研究中心已经建立在美国给5G技术进行世界一流的测试；第三代合作伙伴项目（3GPP）已经制定了直到2020年的演变草稿图；中国已经拉开了IMT-2020论坛的序幕来对用户需求，光谱特性和技术趋势的研究[1]。广泛共识的是，5G的要求包括更高的频谱频率（SE）和能源效率（EE），较低的端到端延迟，和更多的连接节点。从对中国移动来看，5G应该反映了两大主题：绿色和软件。

随着全球碳排放量的增加和海平面上升，全球天气和世界各地的大城市空气污染变得更严重的[2]。因此，节能被公认为世界范围内的一个迫切需要解决的问题。信息和通信技术（ICT）中占有相当大的能源消费比例。在2012年，ICT行业年度平均电力消费的超过200万千瓦，其中电信基础设施和设备占据25%[3]。在5G时代，预计有数百万有更高功能的基站（BSS）和数亿计的有更高数据速率的智能手机和设备将连通。在2012年，世界上最大的移动网络在其拥有1.1百万个基站的网络中消耗了14亿千瓦时的能源。EE需要戏剧性的改善；因此，为EE和SE共同优化网络的新的工具将是必要的。一些研究小组和联盟一直在调查EE的蜂窝网络，包括移动VCE，EARTH，和GreenTouch。移动VCE集中精力在基站硬件，建筑，和操作，已经模拟实现75%-92%的节能增益[4]。EARTH已经设计了新的数组技术包括低损耗天线，微直接传输（DTX），天线静音，和自适应分区根据流量的波动，导致60% - 70%的节省能量小于5%的吞吐量降解[5]。greentouch已经树立了一个在2020年提高EE 1000倍的更远大的目标[6]。一些运营商已经积极的开发和部署绿色技术，包括绿色盲源分离完全由可再生能源供电，和绿色基础设施

例如云/合作/清洁无线接入网络（C-RAN）[7]。

电信级网络是复杂的，由专用节点和硬件组成。新的标准和功能往往需要多种设备的开发和集成，从而导致很长的发布周期。在为了适应移动互联网流量的

爆炸增长和大量的新的应用程序/服务要求更短的产品上市时间，更快的周转需要新的网络能力。动态RNA重构能够解决不是过度均匀的移动流量的时间和空间领域的变化。软技术是解决这些问题的关键。

通过将软件和硬件分离，控制平面和数据平面在通用处理器（GPPS）通过编程接口和虚拟化技术重建软件，这使得利用软件定义网络（SDN）和网络功能虚拟化（NFV）可以获得更少的开支和更高的效率[8]。斯坦福大学的开路工程介绍了无线网络的Open-flow, FlowVisor, and SNMPVisor来加强控制平面。NEC的基站虚拟化集中精力在介质访问控制（MAC）层的切片无线资源方面。爱立信的CloudEPC改进了Long Term Evolution（LTE）控制平面来控制开放式流量控制。阿尔卡特-朗讯的CellSDN认为逻辑上集中的控制平面和服务质量（QoS）的可扩展的分布式执行在数据平面的防火墙策略。C-RAN实现了一个软的，虚拟的BS，这个BS使同一服务器上的虚拟机器整合成多个基带单元集（BBUS），并且支持多个无线接入技术（RATs）。一个从核心网络到RAN的软的端到端解决方案能够允许5G频谱和能源效率的目标。

在下面的章节中，本文将详细阐述绿色软 5G 愿景。与对最大程度利用 SE 的传统强调不同，EE 必须并排设置成联合优化。我们提出了一个 EE 和 SE 的协同设计框架。没有更多的细胞的概念强调以用户为中心的设计和作为软细胞基础设施的关键要素的 C-RAN。一个关于对 5G 信令和控制设计的基本构想的理论基础可以被提供。本文进一步讨论了应用了 LSAS 技术的不可见的 BSs 的理念。最后，在网络中基于全双工技术和潜在的解决方案的基本的干扰管理问题是确定的。

反思香农：

EE 和 SE co-design

鉴于有限的频谱和不断增加的容量需求，SE 一直追求几十年来，为所有主要的顶层设计优先无线标准——从蜂窝网络到地方和个人区域网络。蜂窝数据率已经从 2G 的每秒千位向 4G 的每秒千兆位改进。然而，SE 型设计忽略了基础设施的功耗问题。目前，RANs 平均消耗总功率的百分之 70。对比在移动互联网流量量指数性增长，相关联的收入增长和震级网络订单的 EE 改善滞后。一个可持续发展的未来无线网络必须因此，不仅光谱高效而且高效节能。因此，EE 和 SE 联合优化是 5G 研究的一个重要组成部分。

在传统蜂窝网络中，有更多变的更加绿色的机会，从装备水平比如使用包络跟踪的更加高效的电膜，到网络水平比如交通的变化在时间和空间上的动态作业线。对于 EE 和 SE 合作设计的基本原则，一，首先要重温经典的香农理论，并且重建 EE 和 SE 条款。

在经典香农理论中，通道容量为传输功率的对数函数（ P_t ），噪声功率密度谱（ N_0 ）和系统带宽（ W ）。系统总功耗是 P_t 和电路功率 P_c 和，这是： $P_{tot} = P_t/P_c + P_c$ 。其中 R 是功率放大器（PA）的效率定义为 PA 输入和 PA 输出之比。从 EE 的

定义中可以看出，EE 在正常系统功耗时等于通道容量。SE 是标准话的系统带宽的信道容量。EE 和 SE 的关系可以在图 1a 中表示为效率 PA 和功能 PC 的函数。从图 1a，可以观测到当 P_c 是 0 时，hEE 和 hSE 之间有一个单调的权衡能准确预测香农理论。对于非零 P_c ，然而，hEE 在低 SE 的区域增加，在有 hSE 并且高 SE 的区域减少（对于一个给定的 hEE，有两种 hSE 的值）。随着 P_c 增长，EE-SE 的曲线越来越平缓。此外，当对 hSE 作 hEE 的倒数时，EE 的最大值 ($h*EE$) 和他对应的 SE ($h*SE$) 就会呈现下列关系： $\log_2 h*EE = \log_2 r / (N_0 \ln 2) - h*SE$ 。这意味着 $\log_2 H*EE$ 和 SE 之间存在线性关系，与 EE-SE 在 EE 的最佳点的关系是与 P_c 独立的。这一观察意味着 PC 减小，指数 EE 增益可在线性 SE 最佳点损失的成本获得。

比较图 1b 的 EE-SE 性能移动通信系统 (GSM) 和目前全球 LTE 基站表现。LTE 在 SE 和 EE 方面都比 GSM 表现得好一点。同时，然而，如果在低 SE 区域工作则暗示需要改进的地方。天线路由提出了在 EARTH 提高能量效率，同时也规定了通过增加天线数目 EE 的改善。看似矛盾的结论其实是与上述分析一致的，其中的区别是，前者操作一低 Se 区，但后者中高 SE 地区。

虽然已经在在 EE 与 SE 协同设计的研究取得了一些进展，制定一个统一的框架和在这一领域的全面了解仍有很长的路要走。理想的情况是，在未来的系统 EE-SE 曲线应达到以下标准：

- ee 值应提高每个 SE 的操作点。
- EE-SE 共赢的地区应该是扩大的并且 EE-SE 权衡区域应减少。
- EE-SE 在权衡区域的斜率应该减小。

回顾 RING 和 YOUNG:

没有更多的单元

蜂窝系统的概念在 1947 年由由贝尔实验室的两位研究人员 H. Ring 环和 W. Rae Young 提出。从第一代蜂窝标准开始，单元中心理论已经通过包括 4G 的每一代新的标准维护完善。

一个均匀的细胞为中心的的性质设计是用于小区规划和优化，移动资源管理，信号处理，控制，覆盖范围，并且信号的处理假设要与全部的 BS 一致。在实际的部署中，这个系统与交通变化和不同的环境不匹配是很明确的。继电器，协调多点 (COMP)，分布式天线系统 (DASS)，异构网络 (HetNet) 已作为短期解决方案来实施修正这些问题。最近，Cellular Green Generation (BCG2), liquid cells, softcells, 和 phantom cells 已经安置于潜在的无线构架中。这些样例都导致了 no more cells 原理的产生。5G 设计应该从这样一个范式转变，从细胞覆盖，资源管理，信号处理，和以用户为中心的学习分离出来，通过 CRAN 型的架构促进发展。

以用户为中心的设计

没有更多的单元的概念是结合非晶态单元的以用户为中心，分离的信号和数据，下行链路 (DL) 和解耦和上行链路 (UL)。例如，宏基站将成为一个信号

BS 而小电池将数据化成 BSs。在 HetNet 的构想中，小电池将内有宏蜂窝的覆盖。即使小电池没有通信量，它在传统电池样例中也不能关闭。但与控制数据解耦方案，宏单元负责控制和小电池数据。因此，当没有数据流量的小电池可以完全关闭以节约能源。新用户可以访问宏电池，然后宏电池可以协调可能传输数据的小电池。

基于信道条件，服务类型，和 BS 的交通负荷，DL 和 UL 可解耦在电池之间提供更好的资源分配。这可在下面的例子中体现出来：假设有两个电池，电池 1 装在下行，电池 2 装在上行。在传统的电池概念中，如果一个用户设备（UE）装置位于有 UL 的数据要求的 DL 电池边界和服务单元电池 1 的对称处，其 DL 要求可能不令人满意。如果 UE 装置的服务电池为电池 2，那他的 UL 需求可能不令人满意。如果有一个以用户为中心的设计，那 UE 的 DL 的设计能从电池 2 和 UL 到电池 1，以满足相对应 DL 和 UL 的 UE 设备的数据要求

C-RAN

通过将分布式基站安置在在室外靠近天线和将基带单元安置在室内电池网中（BBUS），C-RAN 将 BBUS 从多个 BSs 改进成一个中心结构。GPP 服务器进行的基带处理使用虚拟机上运行的实时 Linux。集中的基带处理导致更节能的制冷，使网络节能网络的公式设计成为重要组成部分。在 BS 的基础设施 OPEX 上能量节省百分之 70 已中国 2G 和 3G 得到实现。通过虚拟化的基带处理，可以在数月内添加新的功能到网络，而不是几年时间到传统的基础设施。集中基带处理允许软技术如公司处理，多大的虚拟化，以及软、动态重构.. C-RAN 是一个无线接入架构革命性的新类型，是 5G 另一个重要的元。

考虑信号控制

现有的移动的网络设计更多针对传统的流媒体应用如语音和视频。随着移动数据流量呈指数增长，更出现了多样化的交通概况。他们带来了移动网络的新挑战，特别是小型持续突发流量类型，如即时消息（IM）交通，包含常见的文本，照片，和周期性扫描。这些移动应用会导致连接和空闲状态之间频繁转换。作为一个结果，这些转变不仅增加器件的电池引流，还造成在移动网络过度发送信号。表 1 总结了基于中国移动通讯资料用途网络的常规蜂窝应用和突发交通概况。

如图 3 所示，不同的流量之间的数据信号/控制率（DSR）有很大的差距

。而视频流媒体实现的 DSR 大于 1000（即，有用数据传输信令开销小于百分之 0.1），和语音 IP（VoIP）已实现 50 - 150 之间的 DSR，而 IM 的 DSR 是超过 6。而短脉冲产生不利影响 im 对流动性影响可能是很显著的，但对于长期流并没有影响。

在当前的网络中，只有一种信号/控制机制是专为所有类型的交通与各种不同的型材如交通量，交通间隔时间，和容忍延迟的。目前的信号/控制在空气中

是面向连接的，因此导致较高的突发流量开销。每个连接在空气需要几个信号和数据承载连接，并涉及超过 10 次的相互作用。此外，在一个面向连接的系统中，网络需要保持连接状态的连接，当在这些电池之间移动时，连接需要更新。

为了打击由于无线资源连接（RRC）产生的尾效应，由 3GPP 提出的建议 release-11 和以前的版本中增加了小数据包传输的交通效率包括快速过渡到怠速，始终与自适应 DRX 开关降低 UE 的电池消耗和信令开销[10]。这些方法，然而，在高移动性的用户案例中，结果产生了乱影响 RRC 状态或大的信令开销。它也已经在 3GPP release-12 提出对机器（M2M）传输小数据包频繁的小数据包使用 RRC 通道的机器，从而避免了过多的信令开销。

这套关于 3GPP 的解决方案得到了显著改进。为从根本上解决问题，很多的无线电信号装置架空更需要有根本性变化。对于 5G 无线信号/控制设计，在无线连接/释放显著储蓄阶段应远离纯粹的面向连接的实现机制。相反，应该设计自适应信号/控制相结合的面向连接和无连接的机制。根据业务类型和网络负荷，动态应用适当的机制。

两个关于 release-11 的无线电信号机制修改实验介绍了如何适当运用动态机制。第一个是一个轻量级的没有切换和信道状态的 RRC 状态反馈的维护开销。二是微弱的相互作用的无线电信号（例如，没有建立数据无线承载和基于竞争的接入）。如图 3 所示，新设计的 IM 应用的 DSR 已经从 5.2 显著提高到 30.4。此外，其他尺寸如体验质量（QoE）也可以考虑进一步优化无线电信号。例如，周期性实时消息比 IM 应用的延迟和可靠性的短信有更宽松的要求。因此，无线电信号的程序，如重传机制可以专门设计用于保持在线和文本短信来实现更大的节约信令。

有不规则的天线阵列不可视化基站站

从 marzetta'a 的论文开始，大规模多输入多输出（MIMO）或 LSA[11] 成为一个研究热点[12]。LSAS 的前提是，基站天线与完整的收发器链 L 量比单天线 UE 终端 K 的数量大得多，其中 L 是成百上千的天线。允许使用低功耗的 PAS 时，完美的信道状态信息（CSI）总的辐射功率与 L 成反比[12]。对于一个固定的 L/K ，采用多用户波束形成的 SE 线性增加。如匹配滤波器的实现，低复杂度的 TX/RX 算法接近最优的性能。在时分双工（TDD）系统中，CSI 可以利用自然互惠获得，从而使不增加信令的开销增加。

EE-SE 分析

M 有源天线结构的 N

出于现实考虑，虽然每个天线单元一般也需要一个完整的收发信机链，但天线元件可以采用更少的收发器数量。在目前的基站射频结构中，每个收发器连接到一系列天线单元产生一个固定波束覆盖范围，在调查中的 LSA 系统是尺寸 $L =$

$N \times LSA$ 系统 M , N 是收发器和 M 数是每个收发器的有源天线的数量。对于一个给定的 L , 在 $EE-SE$ 性能最好时能找到最佳的 N 。

为了简化问题, 假定有完美的模拟波束形成时, 每一组有源天线 m 零 $interbeam$ 干扰。零束干涉是基于假设的发射天线的数目是大于接收天线数 M 的, 假设信道增益, 这种结构的总容量可以表示为发射功率的收发次数的对数, 天线的数量, 和 PA 的效率 (类似于稍后讨论香农信道容量)。在这个模型中, 应用了一个简化的动力模型的天线发射功率和总功率电路消耗。然后 $EE-SE$ 关系可以写成传输系统容量中数量标准化的收发器的功率加上电路的功率。如图 5 所示, 当收发功率 P_0 小于支配的 n , 在低 SE 环境下产生更好的性能, 而 SE 变高时, 最佳 N 增加 (然后可以优化 $M L M = \text{图 3 尺寸计算}$ 。不同的流量和流动性之间的 DSR 比较 L / N)。如果 p_{common} (普通电路电源独立的收发器的数量) 是显性的, 几乎所有值的 SE 中, 更大的 N 会产生更好的 EE 性能。

不规则的天线阵列

$LSAS$ 不仅有地址容量和功耗的挑战, 还需要担心物理规格。因暴露在电磁波中, BSS 商业部署已经从公共和商业物业关于美学和潜在业主觉察健康问题面临阻力。 $LSAS$ BSs 将不仅带来很大的塔建筑挑战, 并且也导致了更大的冲突。

通过将天线元件整合到环境中, BSs 能被制成虚拟不可视的。而不是构建往往是影响市容的树, 多种活性元素可以建在砖的形式。通过将单个的 $LSAS$ 分离成多个块, $LSAS$ 可以灵活的以不规则的方式部署在建筑平面或标识时代一部分中, 并且融入环境。

一个实际的不规则的天线部署环境需要不同的系统设计自适应信号处理算法。图 4 显示了装在一个 5×9 均匀平面阵 $L / 2$ 中的三维辐射模式的半波长偶极子阵列因子的计算和相位偏移 $P / 6$ 的天线分离对于一个不规则的 5×9 阵列中汉字的“中形”比较。由稀疏天线阵列理论预测, 稀疏阵列的旁瓣电平的增加和由于天线的数量较少, 主要叶峰下降。对于阵, 正交放置或寄生效应的先进的算法帮助优化波束成形成不规则数组。

除了优化波束, 还有其他几个不规则的天线阵列的挑战。同步, 广播, 和细胞共同参考信号的蜂窝系统一般为了更好的覆盖方式都是在一个全方位的传播, 而 LSA 板只能在面板前面创建的辐射模式。小区覆盖范围将更具挑战性, 因为对于一个给定的天线布局, 有许多可能的覆盖情况。另一个问题是不规则的天线信道建模部署。3D 通道建模正在被 3GPP 和不同的研究团队研究, 就像 WINNER 一样, 这研究主要假设一般正规天线部署。在顶端的 WINNER 或 3GPP 二维信道模型中, 每个射线仰角增加, 其中由于在传统的二维阵列的间距规则角/角度出发到达 (AOA / AOD) 和大量的关于不同天线的衰落是相同的。然而, 不规则的阵列天线中每个天线的间距和相对位置不同可能使上述假设不成立, 其中

AOA / AOD 和大规模的衰落可能使每个射线对不同的天线有不同的 LSA; 因此, 当前信道建模需要修改。

全双工无线

当前的蜂窝系统是频分双工 (FDD) 和时分双工。5G 应考虑全双工操作。全双工 BS 从不同的终端发送和接收同时使用相同的频率资源。自干扰消除的关键是一个全双工系统的成功, 但是高 DL 的干扰会使接收机无法检测 UL 信号。重大的研究进展最近一直在干扰抵消技术上, 包括正交极化天线放置, 模拟和数字的取消 [13]。大部分的研究, 然而, 已经在点对点的继电器或单电池的 BS 场景上。也有用户间的 UL 在单 cell 的全双工系统下行被干扰。为了减轻这种干扰, 用户间的干扰信道必须测量和报告。全双工 BS 可以安排适当 UL 和 DL 用户组, 可能会与联合功率控制。

在一个多单元的全双工网络的情况下, 干扰管理变得更复杂。目前 TDD 或 FDD 系统, 接收到从 UE 和 UL UL 干扰基站发送的 DL— DL 干扰已经广泛的被很多文献和标准化机构 (例如, 在 3GPP LTEAdvanced 和 IEEE 802.16m 的公司) 研究。然而, 在一个全双工系统中, 有新的干扰情况。例如, 如果有两个基站, 将多个 UE 的移动设备之间在 UL 和 DL 的附加干扰下具有相同的频率和时间资源。此外, 小区内的干扰会有 dlto UL 基站间干扰和小区用户间的 DL 干扰。这些其他类型的干扰会影响全双工系统的性能。传统的发送或接收波束形成方案可应用于减少基站间 DL- UL 干扰。小区内的干扰可以被扩展到对 DL -UL 处理小区间用户间干扰。

结论

针对绿色软 5G 系统, 本文介绍了五个有前景的研究领域。经典的香农理论和实际系统之间的根本区别是首次发现并协调为 EE-SE 协同设计框架。从基础设施和架构的变化对没有更多的单元的特点进行描述, 为了使各种软技术实现, 特别强调把 C-RAN 作为一个典型实现。反思信号/控制基于不同的流量和网络负载与初始设计的机制和结果进行探讨。几乎看不见的基站在低功率高密度区, 当集成到建筑的标识提供更大的容量的情况下对不规则阵列进行设想。EE-SE 研究收发器和有源天线优化配置以提高性能。最后, 新的干扰情况下的全双工网络识别, 和几个候选的解决方案。这五个领域结合其他学科的研究成果提供了根本性突破的潜力, 他们将带来一个革命性的新一代的适合 2020 5G 部署的标准。

引用

- [1] <http://www.miit.gov.cn>。
- [2] <http://www.gesi.org>。
- [3] T. C.组, “智能 2020: 实现信息时代的低碳经济, “2008。
- [4] <http://www.smart2020.org>。
- [5] P. skillermark 和 P. frenger, “加强 LTE 天线静音节能, ”IEEE VTCSpring12, 2012, 2012-3, 1-9 页。
- [6] <http://www.greentouch.org>。
- 【7】C. M. R.所, “C-RAN: 迈向绿色跑路, 月 2011, 可用 labs.chinamobile.com/cran。

- [8] M. chiosi, D. 克拉克, P. 威利斯, “网络功能虚拟化, “10 月 2012。
- 【9】 G. Y. Li 等人。 , “能量有效的无线通信: 教程, 调查, 和开放的问题, ” IEEE 无线通信。 , 18 卷, 6 号, 12 月 2011, pp. 28 - 35。
- [10] M. Gupta 等人。 , “新兴的移动互联网应用在 LTE 网络能量的影响: 问题和解决方案, ” IEEE 通信杂志, 51 卷 2 号, 2 月 2013, 90 页 - 97。
- [11] F. Rusek 等人。 , “扩大 MIMO: 机遇与挑战非常大的阵列, ” IEEE 信号处理。 杂志, 30 卷 1 号, 1 月 2013, pp. 40 - 60。
- [12] T. marzetta, “非合作无线与无限数量的基站天线, ” IEEE Trans. 无线通信。 , 9 卷, 11 号, 11 月 2010, 3590 页 3600。
- 【13】 E. Aryafar 等人。 , “弥渡: 使 MIMO 全双工, ” pro. ACM MobiCom' 12, 2012。

微信扫描以下二维码, 免费加入【5G 俱乐部】, 还赠送整套: 5G 前沿、NB-IoT、4G+ (VoLTE) 资料。

