

# 5G 无线网络

## 蜂窝结构体系和关键技术

### 一、摘要

第 4 代无线通信系统已经部署或即将被部署在许多国家。然而，随着无线移动设备和服务爆炸式的发展，它们仍然面临着甚至 4G 不能调解的一些挑战，例如，频谱危机和高能耗。无线系统设计人员面临着不断增长的高数据率和移动性要求的需求的新的无线应用。因此，已经开始研究第五代无线系统，预计将在 2020 年部署。在本文中，我们提出一个潜在的蜂窝体系结构，分室内场景和室外场景，并讨论 5G 无线通信系统各种有前途的技术，比如，大规模 MIMO，节能高效通信，认知无线网络和可见光通信。还讨论了未来面对这些潜在的技术的挑战。

### 二、介绍

创新和有效的利用信息和通信技术（ICT）已在提高世界经济中变得越来越重要。无线网络在全球 ICT 战略中可能是最关键的因素，是许多其他工业的支柱。它是世界上发展最快、最具活力的行业之一。欧洲移动天文台报道称：移动通信业在 2010 年有总计 1740 亿欧元收入。一举超过了航空工业和制药业。无线技术的发展大大提高了人们的沟通能力、在商业活动和社交活动中的生活。

无线移动通信显著的成就反映技术更新快速步调。从第 2 代移动通信系统（2G）在 1991 年的初次露面到 3G 系统在 2001 年首次着手进行，无线移动系统从一个单纯的电话系统已经变换成一个能传输丰富多媒体内容的网络。4G 无线系统设计满足高级国际移动通信（IMT-A）的需求，利用 IP 协议提供所有服务。在 4G 系统，采用一种高级无线电接口，是利用正交频分复用（OFDM），多输入多输出（MIMO）和链路适配（或自适应）技术。4G 无线网络可以支持在低速移动中 1 Gb/s 速率，例如漫游/本地无线接入；在高速移动中最高 100Mb/s，例如移动接入。长期演进（LTE）和它的延伸，先进的长期演进系统，作用可实现的 4G 系统，最近已部署或很快将在全球部署。

然而，订制移动宽带系统的用户数量每年都在以引人关注的增加。越来越多的人渴望更快的移动互联网接入服务，时尚的智能手机，总的来说，与他人或获取信息的即时通信。当今更强大的智能手机和便携式电脑越来越受欢迎，它追求先进的多媒体功能。这导致了无线移动设备和服务的爆发。EMO 指出，从 2006 年以来移动宽带每年以 92% 的速度增长。它已被无线世界研究论坛的预测（WWRF）到 2017 年时有 7 万亿无线设备服务于 7 亿人口；换句话说，连接网络的无线设备将达到世界人口的 1000 倍。随着越来越多的设备无线上网，很多研究需要面临挑战。

最关键性的挑战之一是物理上为蜂窝通信分配的射频（RF）频谱十分稀缺。蜂窝频率使用超高频段的手机，通常范围从几百 MHz 到几 GHz。这些频谱大量被使用，使运营商获得更多的频谱很困难。另一个挑战是，先进的无线技术的部署是以高能耗为代价。在无线

通信系统中的能量消耗的增加会间接的导致二氧化碳排放增加，目前被认为是对环境的一大威胁。此外，它已被报道，蜂窝运营商基站（BSS）的能耗占他们的电费账单 70%。事实上，节能高效的通信不在 4G 无线系统的初始条件之一，但它是后一阶段的问题。其他挑战，例如，平均频谱效率，高速率和高移动性，无缝覆盖，不同的服务质量（QoS）要求，和分散的用户体验（不同的无线设备/接口和异构网络不兼容性），仅举几例。

所有上述问题给蜂窝服务供应商施加更多压力，他们正面临着不断增加更高的数据传输速率，更大的网络容量，更高的频谱效率，更高的能源效率，高流动性的新的无线应用所需的需求。另一方面，4G 网络在现有技术的数据率上已经达到理论极限，因此不足以容纳上述挑战。在这个意义上，我们需要突破性的无线技术来解决由数万亿无线设备造成上述问题，研究人员已经开始研究超 4G（B4G）或 5G 无线技术。中英科学的桥梁项目：（B）4G 无线移动通信（<http://www.ukchinab4g.ac.uk/>）或许是世界上第一个开始研究 B4G 的项目，其中一些潜在的 B4G 技术被鉴定。欧洲和中国也开始了一些 5G 项目，如由欧盟支持的 METIS 2020 项目，和在中国由科技部支持的国家 863 重点项目在 5G。诺基亚西门子网络描述了潜在的无线接入技术可以进一步发展，以支持在接下来的 10 年与 2010 年通信水平相比高达 1000 倍的通信流量[6]。三星证明使用毫米（mm）波技术无线系统在 2 公里的情况下传输速率超过 1 GB/s [7]。

5G 网络将是什么，预期 2020 年左右使其标准化，是什么样子的？现在定义为时过早。然而，人们普遍认为，相比于 4G 网络，5G 网络系统容量应达到 1000 倍，10 倍的频谱效率，能源效率和数据速率（即，在低速移动下峰值速率为 10 GB/s 和在高速移动下峰值速率为 1 GB/s），和 25 倍的平均小区吞吐量。目的是连接整个世界，实现无缝和无处不在的通信，任何人之间（人与人），任何事物之间（人与机器，机器与机器），无论他们在哪里（任何地方），无论他们什么时候需要（任何时候），无论他们想用什么电子设备/服务/网络（无论如何）。这意味着，5G 网络应该能够支持一些特殊场景的通信，4G 网络不支持（例如，高速列车的用户）。高速列车可以达到 350 到 500 公里/小时，而 4G 网络只能支持的通信场景为 250 公里/小时。在这篇文章中，我们提出了一个潜在的 5G 的蜂窝体系结构和讨论一些有前途的技术，可以部署提供 5G 的要求。

本文的其余部分安排如下：我们提出了一个潜在的 5G 蜂窝体系结构。我们描述了一些有前途的关键技术，可以在 5G 系统采用。未来的挑战也重点强调了。最后，得出结论。

### 三、一个潜在的 5G 无线蜂窝结构

为了解决上述挑战和满足 5G 系统的要求，我们需要在蜂窝结构的设计中有一个引人注目的变化。我们知道，无线用户大约 80% 的时间呆在室内，而只有 20% 的时间呆在室外 [8]。目前传统的蜂窝结构通常使用在小区中间的室外基站与移动用户通信，无论他们在室内还是室外。对于室内用户与室外基站通信，信号必须通过建筑物的墙壁，这会导致非常高的穿透损耗，大大损害了无线传输的数据速率，频谱效率，以及能量效率。

一种 5G 蜂窝结构设计的关键理念是单独的室外和室内场景，以便用这种方式避免通过建筑物的墙壁造成的穿透损耗。这将借助于分布式天线系统（DAS）和大规模 MIMO 技术[9]，在地理上的分布式天线阵列是由部署数十或数百个天线单元构成的。虽然目前大多数的 MIMO 系统利用两到四根天线，大规模 MIMO 系统的目标是在大型天线阵列中开拓出潜在的

大容量增益。室外基站将配备有大型天线阵列的天线元件（或大阵列天线）分布在小区周围，通过光纤连接到 BS，受益于 DAS 和大规模 MIMO 技术。室外移动用户通常配备的天线元件的数量有限，但它们可以相互合作，形成一个虚拟的大型天线阵列，连同 BS 天线阵列构建虚拟大规模 MIMO 链路。大型天线阵列也将安装所有建筑物的外面与室外 BSS 或 BSS 分布式天线单元通信，可能与线性的视线（LOS）组件通信。大型天线阵列的电缆连接到建筑物内部无线接入点与室内用户通信。这肯定会在短期内增加基础设施成本的同时，从长远来看会显著提高小区的平均吞吐量，频谱效率，能源效率，和数据速率的蜂窝系统。

使用这样的蜂窝结构，室内用户只需和室内无线接入点通信（不是室外 BSS），与大型阵列天线安装在建筑物外面，许多适于短距离高数据速率通信的技术可以利用。一些例子包括 WiFi，飞蜂窝，超宽带（UWB），毫米波通信（3—300GHz）[ 7 ]，和可见光通信（VLC）（400—490THz）[ 10 ]。值得一提的是，毫米波和 VLC 技术使用较高频率，不采用传统的蜂窝通信。这些高频波无法很好穿透固体材料，可以很容易地被气体、雨和树叶吸收或散射。因此，很难用这些波在室外或长距离上应用。然而，可利用的大带宽，毫米波和 VLC 技术可以大大提高室内环境下的数据传输速率。为了解决频谱短缺的问题，除了寻找不被传统的无线服务使用的新的频谱（例如，毫米波通信和 VLC），我们也可以尝试改善现有的无线电频谱的频谱利用率，例如，通过认知无线电（CR）网络[ 11 ]。

5G 蜂窝结构也应该是异构的，包括宏蜂窝，微蜂窝，小蜂窝，和中继。为了适应高移动用户，如用户在车辆和高速列车上。我们已经提出了移动飞蜂窝（MFemtocell）的概念[ 12 ]，它结合移动中继和飞蜂窝的概念。移动飞蜂窝位于车辆内部与车辆里的用户通信，而大型天线阵列位于车辆外部与室外基站通信。一个移动飞蜂窝及其相关的用户都是被视为一个单一的单位与基站 BS 通信。从用户的角度来看，一个移动飞蜂窝看成是一个普通的基站 BS。这很相似上述室内（车内）和室外场景分离的想法。这证明用户使用移动飞蜂窝可以减少信令开销享受高数据速率服务。上述 5G 异构蜂窝结构，如图 1 所示。

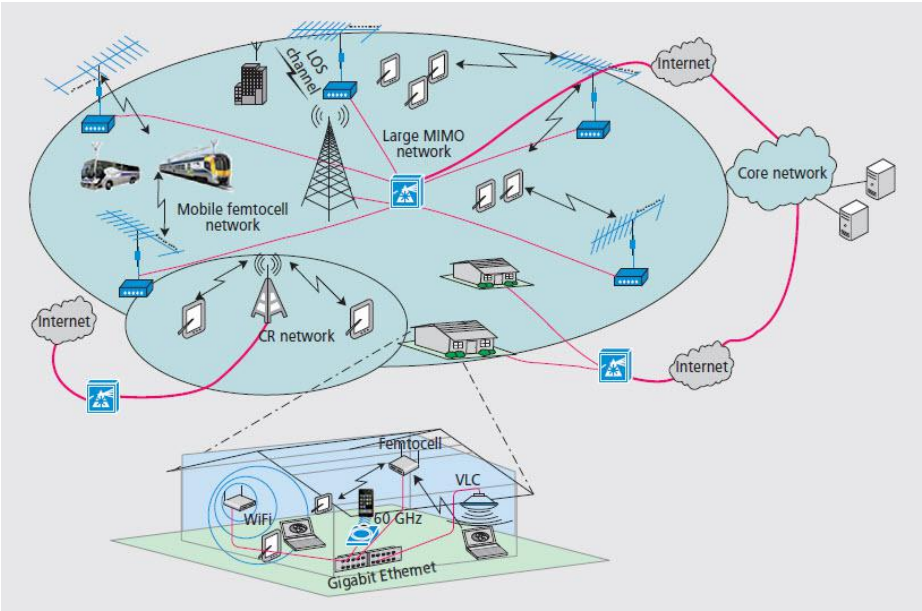


图 1 一种 5G 异构无线蜂窝结构

四、有前途的关键 5G 无线技术

在这一部分中，基于前面提出的异构蜂窝结构，我们讨论了一些有前途的关键无线技术，可以使 5G 无线网络来满足性能要求。发展这些技术的目的是使容量急剧增加，在 5G 网络中有效利用所有可能的资源。基于著名的香农理论，系统总容量的  $C_{\text{sum}}$  近似表达式为：

$$C_{\text{sum}} \approx \sum_{\text{HetNets}} \sum_{\text{Channels}} B_i \log_2 \left( 1 + \frac{P_i}{N_p} \right) \quad (1)$$

$$C_{\text{sum}} \approx \sum_{\text{HetNets}} \sum_{\text{Channels}} B_i \log_2 \left( 1 + \frac{p_i}{N_p} \right) \quad (1)$$

式中， $B_i$  是第  $i$  个信道的带宽， $P_i$  是第  $i$  个信道的信号功率和  $N_p$  表示的是噪声功率。公式 1 明确系统总容量的  $C_{\text{sum}}$  等于所有子信道的和异构网络容量的总和。为了增加  $C_{\text{sum}}$ ，我们可以增加网络的覆盖范围（如宏蜂窝，微蜂窝，小蜂窝，中继，移动飞蜂窝[12]等异构网络），子信道的数量（如大规模 MIMO [9]，空间调制 SM [13]，协作式 MIMO，分布式天线系统 DAS，干扰管理等），带宽（如认知无线电 CR 网络 [11]，毫米波通信，可见光通信 VLC [10]，多重标准系统等），和功率（能量效率或绿色通信）。在下面，我们重点关注的一些关键技术。

## 1. 大规模 MIMO

MIMO 系统是由发射机和接收机都有多个天线组成。通过增加多个天线，在无线信道中一个更大的自由度（除了时间和频率维度外）能够容纳更多的信息数据。因此，在可靠性、频谱效率、能源效率方面性能可以获得一个显著的改善。在大规模 MIMO 系统中，发射机或接收机都配备了大量的天线元件（一般为几十或甚至数百个）。请注意，发射天线根据不同的应用可以是集中或分布式（即，一个分布式天线系统 DAS）。同时，庞大的接收天线可以附在一个设备或分布到许多设备。除了继承传统的 MIMO 系统的好处外，一个大规模 MIMO 系统可以显著提高频谱效率和能量效率[9]。此外，在大规模 MIMO 系统中，噪声和快速衰落消失的影响和小区内的干扰可以使用简单的线性预编码和检测方法来减轻。在大规模 MIMO 系统中，通过合理地利用多用户 MIMO（MU-MIMO）技术，通过避免复杂的调度算法来简化介质访问控制（MAC）层的设计[14]。就 MUMIMO 技术来说，最早提出基站 BS 可以发送分离的信号给使用相同时间和频率资源的个人用户。因此，这些优点使大规模 MIMO 系统成为 5G 无线通信网络中一种很有前途的候选者。

## 2. 空间调制（SM）

空间调制，最初哈斯等人提出的，是一个新颖的 MIMO 技术，已经在低复杂设备的 MIMO 系统被提出，不降低系统性能的 [13]。代替了从可用天线同时发送多个数据流，空间调制 SM 把部分的数据编码传送到天线阵的每个发射天线的空间位置。因此，天线阵列中的第二次（除了通常的信号星座图）星座图（所谓的空间星座图），它可以用来提高数据速率（空间复用）相对于单天线无线系统。在任何时间只有一个发射天线是激活的，而其他的天线是空闲的。一节的信息比特被分成两个子节  $\log_2(NB)$  的  $\log_2(M)$  位，其中， $NB$  和  $M$  分别是发射天线的数量和复杂信号星座图的大小。第一子节从一组发射天线中识别出激活的天线，而第二子节是将信号星座图选择符号从激活的天线发送。因此，SM 是一个组合的



空间移键控 (SSK) 和振幅/相位调制。图 2 显示了以 4 个发射天线 ( $NB = 4$ ) 和正交相移键控 (QPSK) 调制 ( $M = 4$ ) 为例的 SM 星座图。接收机可以采用最佳最大似然 (ML) 检测, 译码接收的信号。

空间调制可以减轻在传统 MIMO 系统中三大问题: 信道间干扰, 天线间的同步, 和多个 RF 链[13]。此外, 在空间调制 SM 系统中, 可以设计低复杂度接收机, 并配置任何数量的发射和接收天线, 即使不平衡 MIMO 系统。我们必须指出, 随着发送天线数量的增加 SM 复用增益成对数增加, 而传统的 MIMO 系统成线性增加。因此, 实现低复杂度设备是在牺牲一定的自由度为代价。大多数研究 SM 集中在一个单一的接收器的情况下 (即, 单用户 SM)。多用户 SM 可以看作是在 5G 无线通信系统被认为是一个新的研究方向。

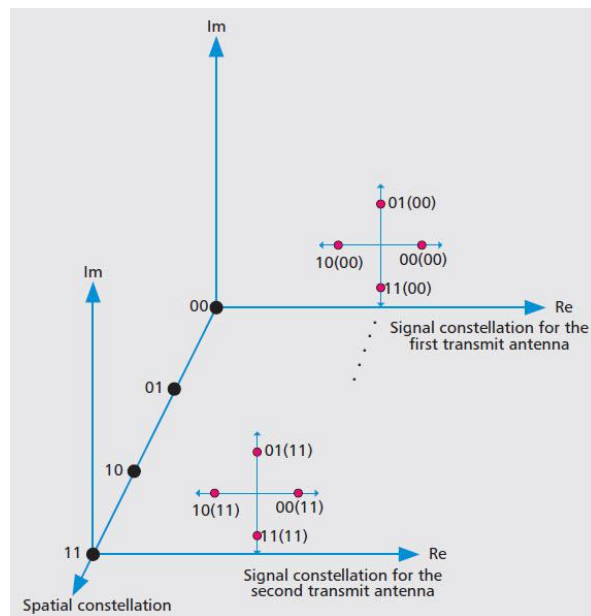


图 2 采用四个发射天线 ( $NB = 4$ ) 和 QPSK 调制的 SM 星座图

### 3. 认知无线网络

CR 网络是一个创新的软件定义的无线电技术, 被认为是有前途的技术之一, 可有效的提高拥挤的 RF 频谱[9]利用率。采用 CR 的根据是大部分时间很大一部分无线电频谱未被充分使用。在 CR 网络中, 次系统能够与授权系统共享频段, 可以在一个无干扰的基础上或在干扰容忍基础上[9]。CR 网络应该意识到周围的无线环境和调节其相应传输。在无干扰的 CR 中, CR 用户允许借用频谱资源, 当授权的用户不使用它们。使无干扰的 CR 网络成为可能的一个关键是找出如何检测出分布在宽带频谱的频谱空洞 (白色空间)。CR 接收机首先应该通过频谱感知 (或结合地理定位数据库) 监控和分配未使用的频谱, 并把信息反馈给 CR 发射机。在多个 CR 网络尝试接入相同的频谱时, 需要协调机制防止用户接入匹配的频谱空穴发生碰撞。在干扰容忍 CR 网络中, 在干扰保持低于阈值 (临界值) 期间, CR 用户可以与授权系统共享频谱资源。与无干扰的 CR 网络相比, 干扰容忍 CR 网络通过适当时机共享授权用户无线电频谱资源, 可以达到提高频谱利用率, 以及更好的频谱和能源效率。然而, 它已经表明, CR 系统的性能对于在用户密度、干扰阈值和授权系统的传输性能的任何轻微变化非常敏感。这一事实, 如图 3 所示, 我们注意到, 在主接收器的数量增加的频谱效率迅速降低。然而, 频谱效率可以通过放松的主系统的干扰阈值或只考虑 CR 用户谁到第二 BS 距离短得到

提高改善。在[15]，混合 CR 网络中已经被提出，并在蜂窝网络采用，目的是探索另外的频带和扩大容量。

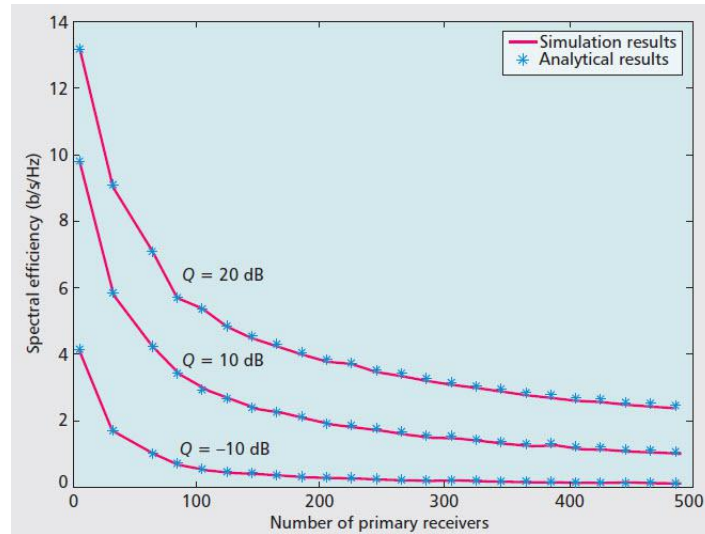


图3 关于取不同干扰阈值  $Q$  (次接收机数量为 20) 时, CR 网络平均系统频谱效率作为主接收器数量为函数的图示

#### 4. 移动飞蜂窝 (移动超小型化移动基站)

移动飞蜂窝 MFemtocell 是一个新的概念, 最近已经提出作为一个潜在的候选技术在下一代智能运输系统[12]。它结合了移动中继的概念 (移动网络) 与飞蜂窝技术。一个 MFemtocell 是一个小的基站, 可以四处移动和动态变化, 与运营商的核心网络连接。它可以部署在公交车、火车、甚至私人汽车上, 提高车内用户的服务质量。部署 MFemtocell 可能有益于蜂窝网络。首先, MFemtocell 可以提高整个网络的频谱效率。为了证明这一事实, 图 4 比较了直接传输方案的平均频谱效率和 MFemtocell 增强方案两种资源划分方案 (即, 正交和非正交资源划分方案) 作为一种与 MFemtocell 连接的用户比例的函数。同时, 比较了最大信噪比之间的 (MAX-SNR) 和比例公平 (PF) 调度算法。我们可以看到, 通过增加 MFemtocell 与 BS 通信的用户比例导致频谱效率的增加, 这比用户直接与 BS 通信好得多 (即, 直接传输方案)。第二, MFemtocell 可以促进网络信令开销的减少。例如, 一个 MFemtocell 可以对所有与之相关联的代表用户执行切换, 从而减少在 MFemtocell 内用户切换活动。这使得 MFemtocell 部署适合高速移动环境下。此外, 在 MFemtocell 内由于相对较短的通信范围和较低的信令开销, 用户的能源消耗可以减少。

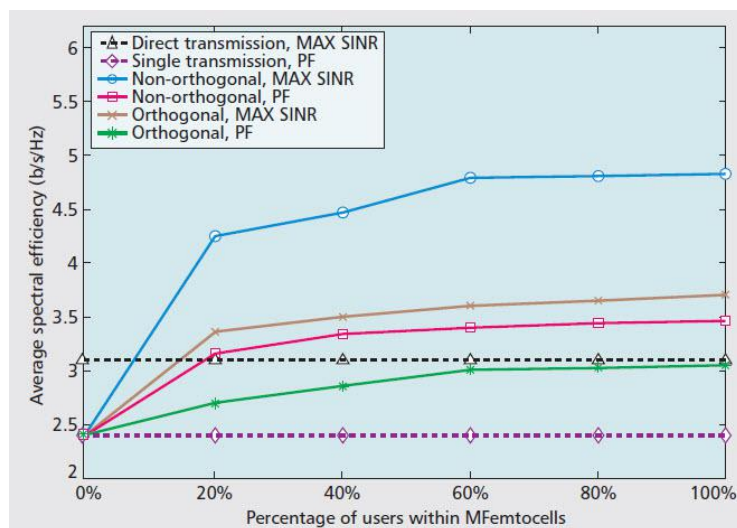


图4 系统级 MFemtocell 的平均频谱效率与多用户调度和资源分配方案图示

## 5. 可见光通信

可见光通信使用现成的白光发光二极管 (LED) 用于固态照明 (SSL) 信号发射机,和现成的对本征 (PIN) 光电二极管 (PDs) 或雪崩光电二极管 (APD) 作为信号接收机[10]。这意味着, VLC 使系统在照明同时, 提供宽带无线数据连接。如果在上行链路不需要照明, 红外 (IR) 发光二极管或甚至射频是确实可行的解决方案。在 VLC, 信息是通过光的强度 (功率) 进行传输。因此, 携带信息的信号必须是实数值和严格为正。传统的数字调制方案射频通信使用复数和双极性信号。因此, 必须修改, 并有基于改进的多载波调制技术的丰富知识实体, 比如 OFDM 强度调制 (IM) 和直接检测 (DD)。据报道, 从一个单一的 LED 数据率已可以达到 3.5 GB/s。必须指出的是, VLC 不受快衰落的影响, 由于波长明显小于检测器面积。链路级论证的重要步骤是证明 VLC 是帮助减轻射频通信的频谱瓶颈的一种可行的技术, 它可以利用现有的照明设施开发成熟的无线光网络是必不可少的。这包括多用户接入技术, 干扰协调等等。最后, 让我们假设在一个房间有多个发光体固定装置。每个发光体固定装置想像担任一个非常小的光学基站形成一个非常小的蜂窝网络被称为光学 **attocells** (渺蜂窝)。这是类似于在射频通信的 femtocell, 事实上一个房间可以由许多这些非常小的蜂窝服务。一种光学**渺蜂窝** attocell 覆盖面积为 1~10 m<sup>2</sup>, 距离约 3m。众所周知, 在蜂窝射频通信中, 小的蜂窝明显有助于提高网络的频谱效率。然而, 主要的限制因子是干扰。由于光波不能穿过墙蔓延, 所以光学 attocells 较少受到干扰。面积频谱效率 (ASE) 采用每平方米每赫兹每秒比特 (bit/s/Hz/m<sup>2</sup>) 表示, 如图 5 所示, 是 attocell 网络的 ASE 和 femtocell 网络的 ASE 的比值与每层楼不同数量的 femtocell 的图示说明。每个房间的光接入点的数量从一到四变化。和预期的一样, 增益随着每楼层 **femtocells** 数量的增加而减少, 但在每楼层有 20 个 femtocell 和 4 个光学 attocells 情况下, 增益仍高于 100。ASE 最大增益接近 1000。

举一个例子, 让我们假设一个典型 1.2 b/s/Hz/m<sup>2</sup> 的 ASE 的光学 attocell 网络和带宽为 10 MHz 的 LED 和射频。这就意味着在光学 attocell 网络情况下, 用户可以在一个 5m×5m×3m 的房间里平均分享共 300 MB/s。在 RF femtocell 网络情况下, 每楼层有 20 个 femtocell 最好的情况下, 对于同一房间达到容量只有约 3 MB/秒。

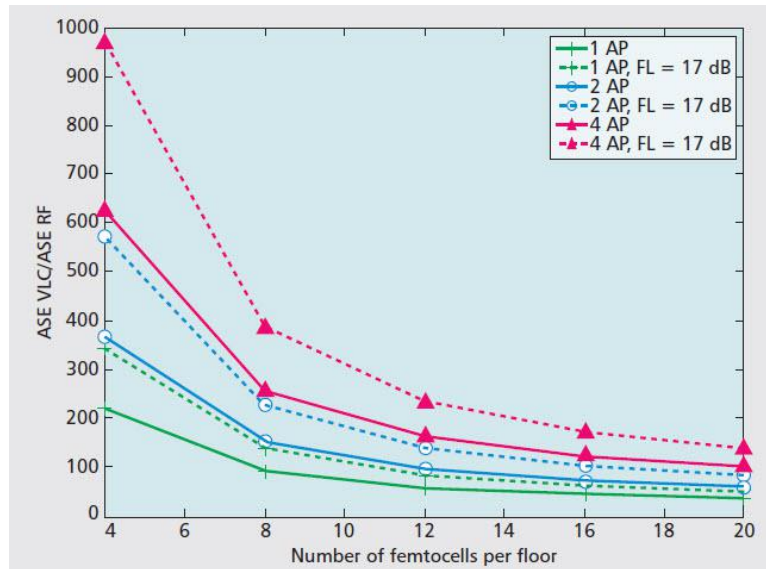


图5 在每层楼不同数量的 femtocell 时, attocell 网络 ASE 与 femtocell 网络 ASE 的比值

## 6. 绿色通信

5G 无线系统的设计应考虑最大限度地减少能源消耗, 以实现绿色无线通信系统[5]。世界各地的无线系统的运营商应该以实现减少能源消费量为目的, 从而有助于减少二氧化碳排放量。有前途的室内通信技术部署策略可实现更好的能源效率。这是因为在发射机和接收机之间他们能提供具有良好的信道条件。此外, 通过将室内传输与室外传输分离, 可使 macrocell BS 分配无线资源压力较小, 可以低功率发射, 致使有效的减少能源消耗。VLC 和毫米波技术也被认为是在 5G 无线系统发展中能量效率解决方案。例如, 在 VLC 系统中一个灯泡消耗的能量远远小于发送相同高密度数据的 RF 基站消耗的能量。

## 五、5G 无线通信网络中未来的挑战

尽管上述潜在关键 5G 无线技术有了一些进展, 在前面仍然有许多挑战。由于篇幅有限, 在这一部分中我们只讨论其中的一些挑战。

### 1. 优化性能指标

评价无线通信网络的一般特征仅考虑一个或两个性能指标, 而由于高复杂度忽视其他指标。对于一个完整的和合理的评价 5G 无线系统, 应考虑更多的性能指标。这些包括的频谱效率, 能源效率, 延迟, 可靠性, 用户的公平性, 服务质量 QoS, 设备的复杂性, 等等。因此, 应该发展一个总体的框架来评估 5G 无线系统的性能, 尽可能从不同的角度考虑到多的性能指标。应该权衡所有性能指标。这就需要高复杂度的联合优化算法和长的仿真时间。

### 2. 5G 无线系统的实际信道模型

用适当的精度、复杂度权衡实际的信道模型, 对一些典型的 5G 的场景都是必不可少的, 例如, 大规模 MIMO 信道和高移动信道(如, 高速列车信道和车辆与车辆信道)。传统 MIMO 信道模型不能直接应用于大规模 MIMO 信道, 不同的天线遵守不同的群集。大规模 MIMO



信道模型应考虑到特定的特性，使它们不同于传统 MIMO 信道的特征，如球面波假设和非平稳特性。同样，3D 大规模 MIMO 模型，联合考虑方位角和俯仰角，越实用就越复杂。

表 1 是一些现有的大规模 MIMO 信道模型进行了简要的总结和分类 [14]。与传统的低移动性的无线信道相比，高移动信道有更大的动态和可能更严重的衰落，本质上都是非平稳的。如何描述非平稳高移动性的信道也很有挑战性。

信道模型	复杂性	描述	是否为大规模 MIMO 准备
窄带独立同分布的瑞利	低	不相关的模型	否
窄带 CBSM (Weichselberger)	中等	联合相关模型	否
窄带 CBSM (Kronecker)	中等	经典的相关模型	否
宽带椭圆 CBSM	高	考虑大规模 MIMO 性能	是

**CBSM** Cell Broadcast System Model ??

表 1 最近大规模 MIMO 通道模型的研究进展

### 3. 降低大规模 MIMO 信号处理的复杂度

在发展大规模的 MIMO 系统的一个技术挑战是信号处理的复杂度。作为发射和接收信号是相当冗长的（漫长的），搜索算法必须执行许多可能的符号排列。在目前的文献中，大规模 MIMO 的研究往往被视为一个基于著名的最大似然 ML 准则为搜索依据的检测课题。现有的检测算法，假设信道是理想，给定的信道矩阵的大小，因此监测传递数量，这似乎是不合理的假设。这个问题可能的解决方案是将 SM 概念运用于大量的 MIMO 系统。在这种情况下，每个天线的空间识别标志需要不同于接收器的观察点，因为在发射天线阵列中，数据编码选择激活的发射天线。因此，信道估计不需要精确而仅仅是足以区分每个发射天线。这可能是一个合理的前景，尤其即使接收阵列很大，在这种情况下，每个发射天线也会有一个非常详细说明，因此区别空间识别标志。

### 4. CR 网络的干扰管理

在 5G 干扰容忍 CR 网络的一个主要问题是如何可靠的和实用的管理 CR 和主系统的相互干扰。为了与其他许可制度并存的 CR 系统，调节发射功率是必不可少的。干扰温度模型被推出的目的是来描述从 CR 到授权网络的干扰特征。干扰消除技术也应用于减轻 CR 接收机的干扰。在干扰容忍的 CR 网络的另一个问题是，一个反馈机制很重要，在授权系统定期通知 CR 网络当前干扰状况。一种实用的解决方案是，干扰状态信息可以从授权系统发送和由一个中央单元收集（或第三方系统）。任何 CR 网络首先要注册到中央单元，为了更新允许的光谱和干扰。另外，CR 发射机可以听到来自主接收机发送的信标信号和依赖于信道互易性估计信道系数。在这种情况下，CR 发射机可以互相合作来调节发射功率和防止在主接收机的干扰高于阈值。

## 六、结论

在这篇文章中，已在容量、频谱效率、能源效率、数据速率和小区平均吞吐量方面明确 5G 无线通信系统的性能要求。提出一个新的异构 5G 蜂窝结构，分为的室内应用和室外应用，

可使用 DAS 和大规模 MIMO 技术。一些短距离通信技术,如 WiFi, femtocell, VLC, 和 mm-wave 通信技术,可以被看作是有希望的候选技术能够提供高质量和高速率服务给室内用户,同时减少对室外基站的压力。我们还讨论了一些潜在的关键技术,可以在 5G 无线系统施展,满足预期的性能要求,如 CR 网络, SM, MFemtocells, VLC, 和绿色通信,以及一些技术上的挑战。

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。

