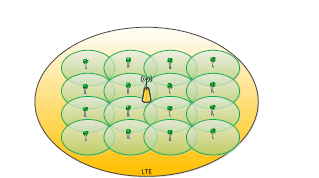
随着智能手机和物联网越来越流行，在不久的将来一些重要的频谱是非常的短缺。为了支持不断增长的频谱需求，人们都在寻找不同的方式来解决，包括使用更高的频谱（如毫米波频段），更多的频谱高效的传输技术（如大规模的MIMO），和更有效的未许可频谱的使用。据预计，在不久的将来越来越多的未许可频谱将分配。对于前四次的高效报告，LTE的频谱效率通常高于当前的WIFI系统[1]。激励未经许可的频段的高效使用，一种可能性是重新定义在IEEE802.11规格以实现更高效的频谱效率，例如正在开发中的IEEE802.11ax规范，另外一种的可能性是引入LTE技术到开放频段，这就是所谓协助许可访问（LAA）。

我们在第二部分对无照LTE进行详细的介绍。此外我们考虑两个重要的技术在无照LTE：传输功率控制（TPC），即以多响亮的声音说话，和空闲信道评估(CCA)，即在说话之前需要听到多少。空闲信道评估中，我们研究两种情况，即静态CCA和动态CCA，其中静态CCA是指我们网络中每一个STA设置一个通用的静态CCA不需要参考提供服务的eNodeB的路径损耗来确定，动态CCA就是在所述网络内的每一个STA设置不同的CCA值，需要参考提供服务的eNodeB的路径损耗来确定。对于发送功率控制(TPC),我们也研究两种情况，即静态TPC和动态TPC。其中静态TPC是每一个STA设定一个固定的公共的发射功率与路径损耗无关，而动态TPC设置不同的发射功率，发射功率是通过路径损耗来确定的。在文章的第三部分在评估和优化LTE-U网络吞吐量性能方面，我们展示了一个系统级别的评估方法。数值仿真结果在第四部分给出并且在第五部分给出结论。

Ⅱ许可辅助访问(LAA)

A.许可辅助访问(LAA)

许可辅助访问（LAA）是LTE在没有执照的频谱中应用的有效载体，在许可频谱中携带LTE信号的两个分量载波同时使用，二级载体（无照频谱）以一种巧妙的方式应用。在这个情况下，主载波总是有效的，而二级（无证）载体的有效与否取决于信道。LTE中一个大的基站可能用于覆盖一个大的范围，和覆盖大量小的用户机，这些小的社区都配置了LAA接入点，如图一所示。



图一 LTE小区和LAA设备

LBT是一项能与LAA现存的技术（比如WiFi）相兼容的重要技术:载波监听。简单的说就是一个LAA发射机确定他是否可以进行传输需要监听无线信道（在无执照频谱）。如果信道非常繁忙，那么发射机需要保持准备发送的状态。否则，任何现有的传输（例如，任何现有的或通过WiFi设备或者其他LAA设备）可能会严重干扰。如果信道是空闲的，那么发射机可能在未经授权的频谱上继续传输。相应的技术已经应用于IEEE802.11。

B.静态空闲信道评估

在IEEE802.11领域，载波监听的特点空闲信道评估（CCA）。空闲信道评估技术（CCA）的应用基于两种形式，其中一种是基于信号能量的CCA，一种是基于序言的CCA。由于基于序言的CCA和IEEE802.11的序言格式的联系非常的紧密，所以这里我们仅仅简单的考虑给予能量的CCA。基于能量的CCA:发射机需要检测在信号带宽内总的接受功率，在这里非相干操作和不需要有任何发射机的信号结构或数据包格式的反馈。在IEEE802.11中，当在带宽20MHz下总的接受功率是一个大于62dBm，这种情况下视为信道繁忙，发射机应该申明信道。

CCA机制的本质是监听LAA发射机。当设置CCA的阈值为一个比较的小的值，发射机将会对现有的通信非常的敏感。甚至这个发射机会持续的向很远的的地方发射信号。因此，对于任何的一个发射机需要一个非常小的机会进行发射。在另外的一个方面，设置CCA的阈值为一个很大的值，那么发射机对于发射自身数据过于积极，忽略了比较远的发射机并并且只关心比较近的发射机。这样的造成的结果就是，任何发射机都有一个非常大的机会发射数据。在一个LAA社区内，静态CCA的值可能对于所有的移动设备设置相同的值。这个就是所谓的静态CCA策略，他已经被IEEE802.11采纳。

C．动态空闲信道评估

另外一种可能设置CCA的值的方式就是以接受信号的强度作为参考[9]。这可以通过让移动站点监控一个周期或半个周期的从服务站发送到移动站的信标。

移动站点从提供服务LAA基站获取一个功率高的参考信号，这样移动站点将有更多机会接触小区的用户，并且小概率造成对其他用户产生冲突，因此我们需要有一个高的CCA值，使其更加积极的访问未经授权的频谱。在另外的一方面，移动站点从提供服务的LAA基站（甚至边缘用户）获取一个低功率的参考信号，移动站点有更多的机会接触小区的边缘用户，但是会造成高概率和其他用户产生冲突，因此需要有一个比较小的CCA值，并且更加保守的访问未经授权的频谱。这就是所谓的动态CCA策略，在IEEE802.11ax正在讨论标准化。

虽然静态CCA的优势在于所有的用户在相同的网络中将有相同的机会来访问信道，因此更加公平。但是通过给所有的远近设备设置静态CCA的值，对于边缘用户他们具有差的信道和好碰撞率，这样是不公平的，并且拉低了整个网络的吞吐量。

D．传输功率控制

每一个发射机可能使用一个特定的传输功率。理想条件下，发射机的传输功率是根据发射机和接收机之间的路径损耗来确定的。这就是所谓的动态传输。在实践中，这种动态的传输功率设定是不可靠的，因为在无执照频谱中干扰水平会改变的很频繁。信号的损失也是需要考虑的，特别是小数据包传输。通常大多数WiFi发射机总是使用一个固定的传输功率。

在LAA系统中可以使用类似的固定策略传输功率控制。这就是叫做传输功率控制。设置传输功率控制是在LAA网络中的占有无线介质的发射机以多大声音说。如果我们设置传输功率为一个小的值（比如10dBm），这样仅仅是相邻的用户才能监听并且持续的传输自己的数据，比较远的用户就不能监听到并且无法传输数据。这样就造成这样其他的用户就有很大的机会去传输。如果我们设置传输功率是一个很大的值（比如20dBm）,这样不仅临近的用户而且远的用户都能够监听到并且中止传输他们的数据。造成的结果是，其他用户通常都只有很小的概率进行传输。

正确设置CCA参数和小区内的传输功率是非常重要的。下面在LAA网络系统中进行系统的数值评估和学习CCA和TPC的交互。

Ⅲ 评估方法

A.模拟设定

为了简单起见，我们认为这里有16个房间，每个房间宽10米，长10米高3米。这16个房间组成一个大的区域，如图1所示，其中每行4个房间，每列有4个房间。每一个房间都有一个LAA小的基站，放置在房间的中心天花板上。对于每一个房间，四个LAA移动设备被随机的放置在房间里，其高度是大于0米和小于2米，在此区间内一律分布放置。假定在相同的房间里每一个LAA基站服务每一个移动站点都是一样的。对于所有的LAA基站我们使用的是载波频率是5.2GHz。除非明确的提到，频率复用因子是3的意思是在每个LAA基站上随机选择3个20MHz带宽进行操作。这个模型的频率复用是托管的。在另外的一个案例中，频率复用可能将严格的的管制，无论空间大小相同频谱使用的可能性是一样的。

室内信道类型B使用的是定义在IEEE802.11ac的信道模型，其中包含路径损耗，对数正态分布阴影衰落和多径衰落。这样的信道模型更多的适合小的室内房间。模型中假设每个房间都是隔着墙壁的，墙壁的渗透是有损失并且假定渗透一面墙壁的损耗为14dB[2]。如果两个房间是处于对角线上，这里猜想他们是由两个墙壁阻挡，这样就造成28dB的渗透损耗。噪声功率假设是使用房间的温度值和5dB噪声系数。我们这里只考虑上行传输，即所有的数据流量都是移动站点到LAA小区基站。在这里我们 假设是一个全缓冲交互模式。这里规定所有的LAA移动站点使用相同的CCA参数和提供服务的基站指定TPC参数。

B．评估策略

在多个场景下的数值评估完成，每一个场景下，这个移动站点的位置是随机产生的并且保持不变，在传输者（干扰）和接收者之间的路径损耗进行相应的计算，并且阴影衰减是随机产生的并且保持不变。对于每一个场中我们有多个事件进行模拟。每一个事件对应一组链接（每一个链接有一个发射机和一个接收机），在同一个时刻这一组链接通过满足CCA约束和传输功率限制下进行有序通信。建模中是通过随机信道访问的形式使得链接的集合随着不同的访问顺序而不同。对于每一个场景每一个事件，都是采取以下的CCA和TPC机制的步骤访问信道：

1.插入初始化链接

随机选择一个房间，在房间内选择LAA基站和随机选择一个LAA移动站点。在上行传输，这个LAA移动站点是一个发射机，而LAA基站是一个接收机。在下行传输中，这个是反向使用。对于每一个特定环节的链接，我们需要根据信道计算路径损耗和产生随机的阴影衰落和随机的多径衰落。最后我们标记这个房间被访问过。

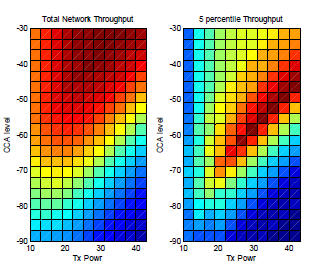
2.增加新的链接

在剩下没有访问过的房间内随机选择一个房间。同样的，在这个房间内我们选择LAA激战和随机选择一个LAA移动站点。在上行传输中，这个LAA移动站点是一个发射机，LAA基站是一个接受机。在下行传输中，这个是反向使用。

在判断链接激活之前，新的潜在发射机需要进行空闲信道评估。新的发射机需要计算他所接受到来自其他已经激活的发射机干扰（潜在的干扰）的总功率。如果新的发射机接受到的功率大于CCA的阈值，南无这个新的连接就不能被激活，他们之间就不能进行数据传输。否者这个新的连接被激活，他们之间也可以进行通信，以此同时相关的发射机标记为激活。无论新的链接是否被激活，最后这个房间标记都标记为被访问过。上述步骤重复操作直到在这个系统中的所有的房间都被访问过。这个时候请注意在一个网络中有N个LAA基站，以此同时最多会有N个链接被激活。

3.SINR和吞吐量计算

在这一步中，所有的房间被标记了，并且明确了被激活的链接数（相关的发射机和接收机）。对于每一个被激活的接收机，我们需要计算SINR（信干噪比），SINR是考虑接受的来自本链接发射机自身干扰信号和来自其他被激活的发射机产生的干扰信号。例如，有n个已经激活的链接，每一个接受者都对应有一个提供服务的链接和n-1个干扰链接。接受到的SINR映射到可以进行传输数据的链接中，SINR的映射是通过使用MCS（调制和解码）查找表。通常而言通过链接层仿真产生MCS表。对于每一个事件，通过所有激活链接来计算总的吞吐量。



图二 静态CCA和TPC

而且在每一个场景下我们都重复多个事件，一些站点可能被激活（有吞吐量），在下一次事件中可能没被激活（没有吞吐量）。因此对于每一个站点，我们在所有的事件和所有的场景中就定义为每一个用户的平均吞吐量。这样的目的是为了观察每个用户的吞吐量为了研究用户吞吐量的怎么分布的。重要的度量标准是观察5%用户吞吐量，在某种程度上反映了系统公平。

四 数值结果

1. 静态CCA和TPC

对于不同的静态CCA水平和静态TPC水平而言，整个网络的吞吐量被和5%用户吞吐量如图二所示，通常而言深红色表示有较高的吞吐量，浅蓝色表示较低的吞吐量。频率复用因子是1。在x坐标轴上，传输功率是10dBm到43dBm，在y坐标轴上，空闲信道评估参数是-90dB到-30dBm。

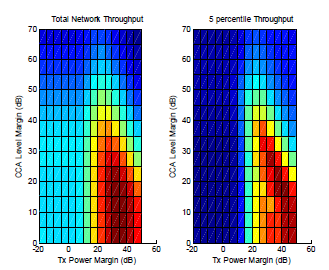
通常，增加CCA参数有助于挺高整个网络的吞吐量，但是超过一个值后会出现饱和 。另一个方面而言，初始时增加CCA参数可以增加5%用户吞吐量，但是超过一定的点后吞吐量会减少。一般而言，静态CCA参数不应该会设置的很大，因为他可能产生过于激进的发射机。

初始时增加静态传输功率参数可以提高整个网络的吞吐量，但是当增加到一定的参数时会出现负面效果即吞吐量减少。同样的适用于5%用户吞吐量。通常而言传输功率不应该设置的太大，否则他会产生过度糟糕的发射机。这样在无执照频谱中就不满足功率限制。

在观察5%用户吞吐量时可以发现一个有趣的问题，即在最优CCA参数和最优TPC参数之间存在一个线性关系（在dB域）：静态参数CCA的值为-60dBm与静态TPC参数的值为25dBm可能和静态CCA为-50dBm与静态TPC参数为35dBm时的表现效果相同。在实际应用计划这是有利的。

1. 动态CCA和TPC

如图3所展示的是，在使用动态CCA和TPC的情况下，整个网络的吞吐量和5%用户吞吐量。传输功率附带效果本质上是和SNR（信噪比）成正比的关系，比较高的传输功率附带效果可以转化成比较高的SNR（信噪比）。另外一方面，CCA参数的选择的基础是参考接受到来自提供服务的基站的信号功率，在这里认为基站没有干扰。



图三 动态CCA和TPC

初始时一个高的CCA参数可以增加整个网络的吞吐量，但是超过一个阈值是会带来负面影响（大约25dBm）。这样的现象在5%用户吞吐量同样出现。总之一个合适的CCA参数时对吞吐量是有利的，但是超过一个值时就会出现不是很好的效果。在另外一个方面，传输功率参数大约在25dB-30dB通常不会有改变，除非CCA非常高的时候（看图三左边）。在这种情况下，合适的传输功率可能是很重要的。

五 结论

我们学习传输功率控制和空闲信道评估机制，为了有执照频谱网络LAA网络辅助进入无执照频谱。首先我们研究所有站点都配置相同的CCA值的空闲信道评估和所有站点都使用相同传输功率的静态传输功率控制。通过数值仿真的结果可以看出，一定的程度增加CCA参数的值和传输功率的值有助于提高整个系统的吞吐量和5%用户吞吐量。我们注意后者发现在最优CCA参数和最优TPC参数之间有一个有趣的线性关系。而且从观察整个网络吞吐量的点和5%用户吞吐量的点，发现这个最优CCA参数和传输功率是不相同的。

值得注意的是最优CCA和最优传输功率参数时依赖场景，比如房间的维度，穿透损耗，MCS表，频率复用因子等参数。自动选择CCA参数和传输功率参数的算法在实际LAA网络使用时非常重要的，我们将在不久的将来学习该算法。

其次，我们研究动态CCA和动态TPC策略，其中动态CCA是每一个站点都是用他们自己的CCA参数，动态传输功率控制是每一个站点都是使用自己的传输功率，传输功率是以服务基站的距离来制定的。CCA参数的值大约25dB与TPC参数大约为30dB通常会出现最优的网络吞吐量，但是在5%用户吞吐量中最优的情况看起来会更加复杂。不同的站点会有不同的CCA参数值，CCA参数值取决与服务基站的路径损耗。