

IMT-2020（5G）推进组 灵活双工专题组技术报告

技术报告
Technical Report

版权声明 Copyright Notification

本文档由IMT-2020（5G）推进组灵活双工专题组成员单位起草

未经许可 禁止打印、复制及通过任何媒体传播

© 2015 IMT-2020推进组版权所有

目 录

第一章 绪论	5
1.1 研究背景	5
1.1.1 蜂窝系统	5
1.1.2 LTE 系统	5
1.2 研究目的	6
1.2.1 现有的双工方式简介	6
1.2.2 无线业务量的发展	8
1.2.3 两种双工方式的缺点	9
1.2.4 研究目标	10
第二章 双工方式的演进	12
2.1 TDD&FDD 融合趋势	12
2.2 灵活双工研究进展	13
2.2.1 FDD 非对称频谱分配	14
2.2.2 动态 TDD	14
2.2.3 动态频谱共享	16
2.3 全双工	17
2.4 灵活双工技术难点	18
2.5 灵活双工中的关键技术	21
2.5.1 上下行对称设计	21
2.5.2 发射功率对等	21
2.6 小结	21
第三章 应用场景	23
3.1 异构	23
3.2 RELAY	23
3.2 密集小站	23
第四章 共存问题研究	25
4.1 法规调研	25
4.2 异运供应商干扰评估	25
第五章 灵活双工在 LTE 中的实现	27
5.1 灵活双工发送端信号处理流程	27
5.1.1 频谱搬移	27
5.1.2 参考信号正交	28
5.2 灵活双工接收端信号处理流程	32
5.3 小结	34
第六章 灵活双工在 5G 中的设计	35
6.1 载波映射	35
6.2 参考信号	35

第七章 仿真结果	36
7.1 射频性能评估	36
7.2 系统仿真性能评估	36
7.3 小结	38
第八章 结论及建议	40
参考文献	42

第一章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 蜂窝系统

理论上，宏基站一般采用全向天线，那么它的覆盖范围是以基站为圆心的一个圆。而由于相邻基站的覆盖区域会在边缘处重叠，通常就把服务区划分成六边形的区域，每个子区中心设立一个基站，形成了类似蜂窝的架构，这也正是蜂窝网得名的由来。如图 1 所示。而实际中，由于无线信道条件的复杂多变，各个小区的覆盖区域不是规则的六边形。蜂窝网主要包括三个部分：移动台、基站和骨干网。移动台通过无线接入网与基站间收发信息，基站是连接无线网络和有线骨干网的转换设备。

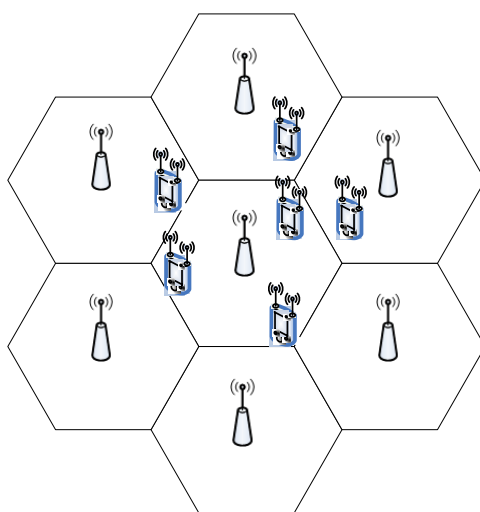


图 1 蜂窝网结构

1.1.2 LTE 系统

相比于利用铜线和光纤等媒质进行传输的技术，无线频谱是一种在存在潜在干扰的多样技术间所共享的介质。因此，监管机构、特别是国际电信联盟的无线通信部门和区域以及国家监管机构在无线技术演进中起到了至关重要的作用。

3GPP(第三代合作伙伴计划, 3rd Generation Partnership Project)是目前最主要的对移动无线通信标准发展进行规划的组织^[1]。

3GPP 在 2004 年底指定了无线长期演进计划及无线长期演进标准(Long Term Evolution, LTE)和系统架构演进标准(System Architecture Evolution, SAE)^[2]。LTE 接入网络基于 OFDM/OFDMA 技术,与 3 代移动通信技术 CDMA(码分多址, Code Division Multiple Access)相比带来了更高的频谱效率、更强的带宽扩展性、更灵活的频谱资源分配方式等。

目前开始商用的 4G(4 代移动通信技术)网络,即 LTE-Advanced 是 LTE(Long Term Evolution)的演进。其满足了无线通信市场的逐步提高的需求及越来越多的应用的,同时还保持对 LTE 较好的后向兼容性。

1.2 研究目的

1.2.1 现有的双工方式简介

目前 LTE 采用的双工方式分为时分双工技术(Time Division Duplexing, TDD), 频分双工技术(Frequency Division Duplexing, FDD)两种方式。

使用 FDD 模式的移动通信系统在分离的两个对称频率信道上进行接收和发送,利用保护频段来分离接收和发送信道,避免信号将相互间干扰。其中,一段频谱资源用于下行信号的传输(由基站发送信号给移动台),一段频谱资源用于上行信号的传输(由移动台等发送信号给基站)。因此,其特点是必须采用成对的频率,依靠频率来区分上下行链路,而其单方向的信号传输资源在时间上是连续的。FDD 模式的时间频率工作示意图如图 2 所示。图中,横坐标为频率域,纵坐标为时间域。

在 TDD 模式的移动通信系统中,基站到移动台之间的上行和下行通信使用同一频率信道(即载波)的不同时隙,用时间来分离接收和传送信道。即,在某个时间段由基站发送信号给移动台,而另外的时间由移动台发送信号给基站。这就要求基站和移动台之间必须协同一致才能顺利工作。TDD 模式的时间频率示意图如图 3 所示。

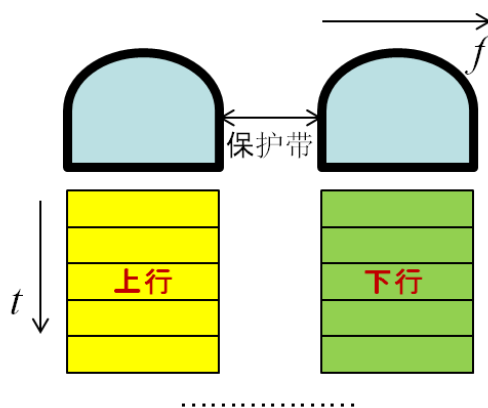


图 2 FDD 模式时间频率工作示意图

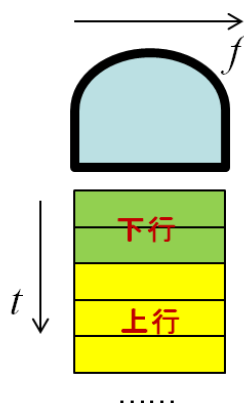


图 3 TDD 模式时间频率工作示意图

因为 TDD 是按照采用不同的时隙来区分上下行信号的，二者的载波频率是一样的。在 LTE 标准中定义了多种 DL/UL(下行/上行)时间资源分配方式，包括下行资源较多的“9:1”，到将大部分资源分配给上行业务的“2:3”等 7 种不同的子帧(时间)配比。

二者的比较：

而 FDD 方式要求带宽对称的频段，也就是说用于上下行传输的资源是相等的。因此可以看出，FDD 在支持对称业务时，能充分利用上下行的频谱，但在支持非对称业务时，频谱利用率将大大降低；TDD 技术可以灵活的设置上行和下行转换时刻，这就使得运营商能够根据全网络中上下行不同的业务需求采用不同的资源配比，用于实现不对称的上行和下行业务带宽，有利于实现明显上下行不对称的数据业务，如互联网业务。但是，这种转换时刻的设置必须与相邻基站协同进行。

1.2.2 无线业务量的发展

上下行流量比例变化主要取决于用户使用业务类型的上下行比例，表 1 列出了几种不同业务类型的平均上下行业务量需求比^[3]。如在线视频收看、软件下载、网络浏览等均是下行业务量远大于上行；而社交网络业务和 P2P 视频分享、文件传输等是则上行比例会变大。类似的，不同业务在不同区域所需要的上下行比例差异也很大，这主要是由使用业务的软件特性和用户的使用习惯等因素造成。随着在线视频业务的增加，以及社交网络的推广，未来移动流量上下行比例将会变大。

表 1 不同业务上下行业务量需求对比

业务类型	平均上下行业务量比
在线视频	1:37
软件下载	1:22
网络浏览	1:9
电子邮件	1:4
社交网络	4:1
P2P 视频分享	3:1

从表 1 可以看出下行业务需求量高的业务占多数，因而网络在多数时间内可能保持下行业务平均需求普遍高于上行业务，但在特定区域或时段，上行业务需求超出下行业务需求。图 4 为 4GEE mobile living index 给出的撒切尔夫人葬礼现场及移动业务流量统计数据。图中人们争相用手机拍摄视频并上传到社交网络中，使得上行流量快速增长，超过了下行流量。

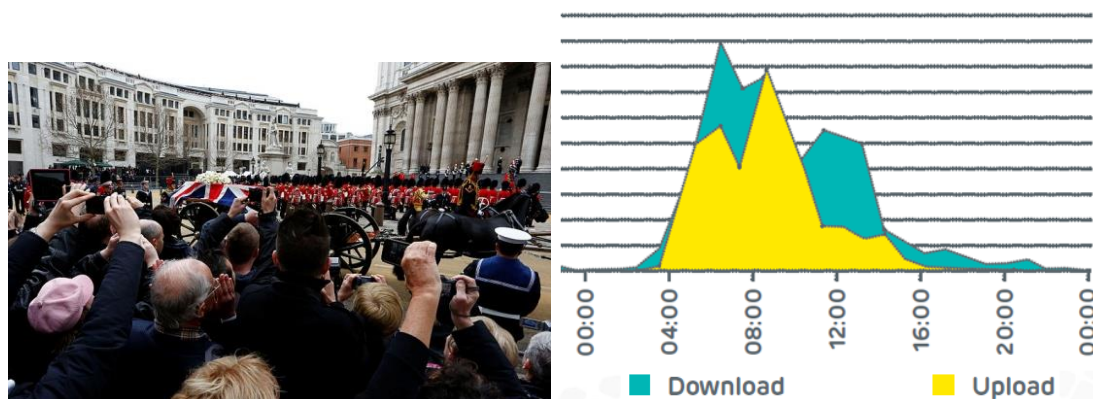


图 4 撒切尔夫人葬礼现场及移动业务流量统计数据

同样的，图 5 为在某大型足球比赛期间数据流量的统计^[3]。从统计结果可以看出，上下行平均业务量的比例大约 1:1。开场时上下行业务量持平；而随着比赛的进行上行业务出现快速增长，上行数据量高于下行；而散场时刻上行数据流需求下降，下行数据流需求增高，下行数据量高于上行数据。同时，比赛期间的数据流量剧增，远高于非比赛时间。对上下行数据流需求变化的主要原因是众多用户使用社交网络分享图片，开场时以发送图片为主，散场时以接收为主。社交业务短时间在聚集区爆发，造成上下行流量比例突然收缩。

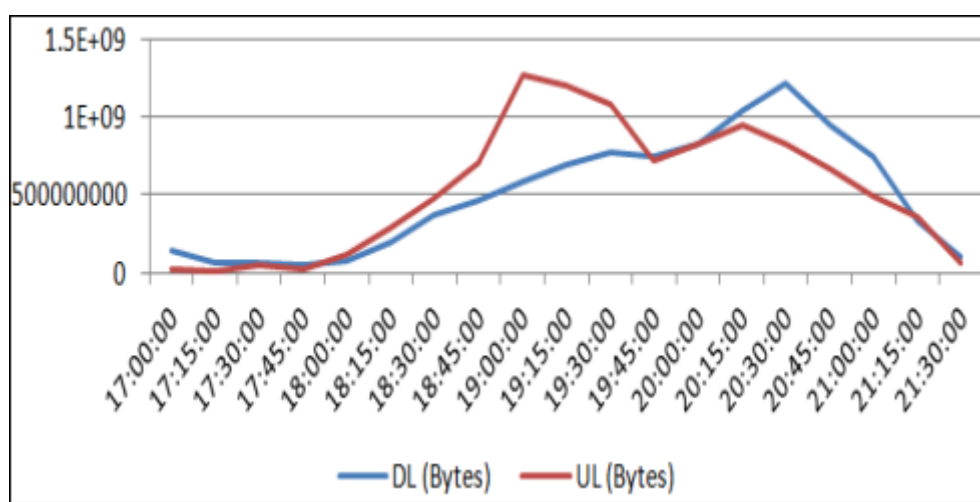


图 5 某足球比赛期间数据流量变化

1.2.3 两种双工方式的缺点

从前面的介绍中可以看出，移动数据业务的上下行需求呈现非对称性和时变性的特点。

FDD 系统采用对称频谱资源，分配相等的上下行资源，这种分配方式非常适合传统的语音业务占多数的通信系统。而在上下行业务量不对称的情况下可能造成资源的浪费。如前面足球场的例子中，前半段时间上行业务量需求剧增，导致上行资源无法满足业务量的需求，造成网络拥堵；而此时下行业务量需求较低，部分下行资源处于空闲状态，但无法分配给上行业务使用。因而，FDD 方式无法满足当前以及未来无线业务的发展需求。

TDD 系统具有不同的时间资源分配方式，因而可以根据网络的业务量变化情况调整上下行资源的比例。但是，由于 TDD 网络要求基站之间、基站与移动台之间的上下行切换保证严格的时间同步。即，各基站发送或接收信号保持一致，

这就要求全网采用相同的子帧配比。而前面的统计分析给出上下行业务量的需求不仅是时变的，而且根据地域的不同也会变化，例如比赛中的足球场上行需求较高，但附近的咖啡馆可能下行需求较高。这就导致 TDD 的方式也无法满足变化的无线网络需求。

近年来，随着移动宽带业务种类和数量上的迅速增长，以及移动终端的快速发展，人们对无线通信的需求持续攀高。思科在 2014 年的预测报告中提到，2018 年平均每个月的全球移动数据业务量将达到 15.9Exabytes(存储单位，1exabytes 相当于 10 亿 G 字节) [4]。如图 6 所示。而无线资源频谱资源是有限的，因而如何高效利用现有频谱资源显得尤为重要。

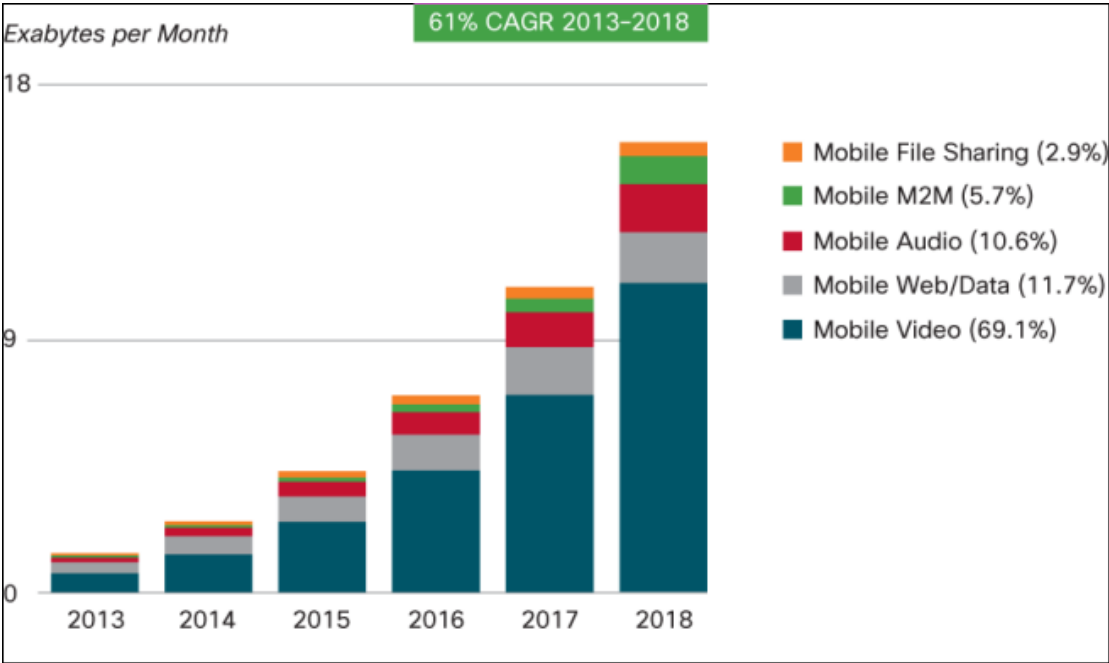


图 6 全球移动业务量趋势预测

1.2.4 研究目标

传统的移动通信业务以话音为主，且业务量需求及变化相对较小、上下行业务具有对称性，因而才采用了频谱成对出现的 FDD 系统及全网统一子帧配比的 TDD 系统。而当前飞速发展的移动宽带业务呈现出多变特性：上下行业务比例的变化、业务需求随时间的变化、随地点的变化等。现有的无线通信网络的双工方式已不能够灵活的适应当前网络的发展。

无线资源作为不可再生资源，十分有限。而当前由于双工方式无法适应变化

的业务需求，导致现无线资源利用率不足。因而，如何充分利用现有资源、增强资源分配的业务适配性成为无线通信领域十分重要的课题。这也是无线双工方式演进的目标和驱动力。

后面的章节讨论了目前双工方式的演进进展，以及为了更好的进行业务适配，在 4G 及 5G 技术中引入上下行对称设计来解决上下行信号间的干扰问题。

第二章 双工方式的演进

前一章中介绍了传统的双工方式，图 7 给出了双工方式演进的路线图。其中，阶段 1 为传统的双工方式：时分双工和频分双工。考虑到时分双工和频分双工各有优缺点，3GPP 标准开始了 FDD&TDD 双模融合的研究，即阶段 2 为标准中提出的 FDD/TDD 双模融合、FDD/TDD 载波聚合、FDD/TDD 多流聚合。虽然阶段 2 在双工方式上增加了灵活性，但资源的分配仍然不够灵活以适应上下行业务的快速变化，因而双工方式在阶段 3 中着眼于如何增强资源分配的灵活性，提高资源利用率，目前的研究分为 FDD 非对称频段分配、TDD 灵活资源分配、动态频谱分配。当资源分配能够适配与业务的变化时，如何进一步提高资源利用率成为了阶段 4 需要考虑的问题，这对当前日益紧张的无线资源来说显得尤为重要。目前，全双工技术取得了突破性进展，理论上频谱利用率可提高一倍。随着其研究的深入，全双工很可能成为下一阶段双工方式。

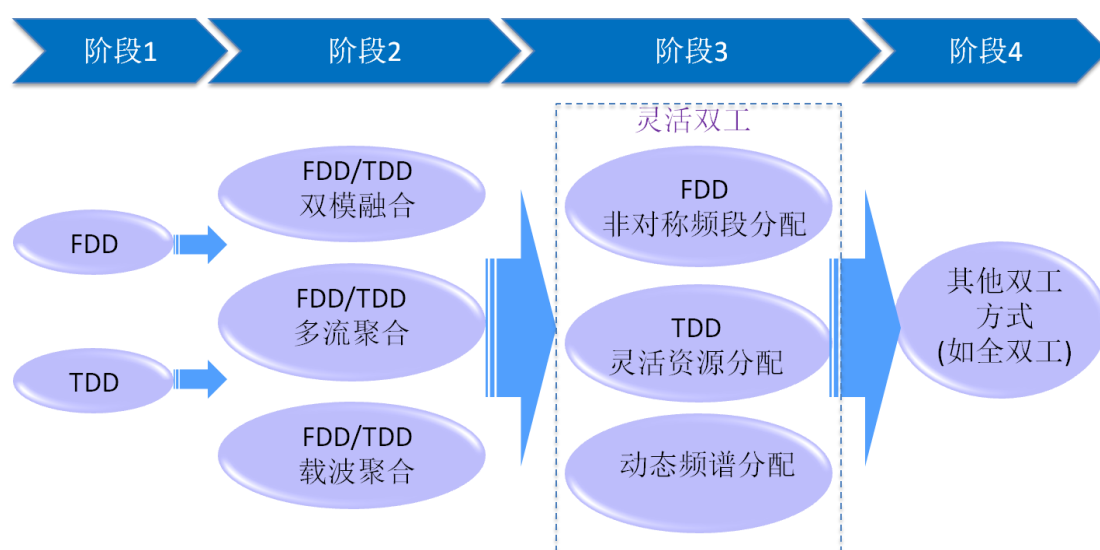


图 7 双工方式的演进图

2.1 TDD&FDD 融合趋势

因为 FDD 与 TDD 各有优缺点，而 3GPP 定义的 LTE 协议就将二者的差异主要限制在了物理层上。阶段 2 就是标准研究中双工方式的改进。在 3GPP Release 12 版本中研究了多种 FDD/TDD 融合的模式，包括 FDD&TDD 双模融合网、

TDD&FDD 融合载波聚合(Carrier aggregation, CA) ^[5]、多流聚合技术(Multiple Stream Aggregation, MSA) ^[6]。

FDD&TDD 双模融合网是一种基本的融合方式，网络中仍使用现有的双模终端，而两种模式采用独立的资源调度，仅共享相同的核心网以及网管。这种模式仅仅是 FDD 和 TDD 模式的简单融合，因而实现相对简单，仍有较大空间提升网络效率。

作为 LTE-A 的一项关键技术，载波聚合是一种可以帮助运营商将分散的零散频段集合起来使用、使单个用户带宽达到最大的创新技术。载波聚合技术让频谱的整合速度加快，TDD&FDD 融合载波聚合的引入使得 TDD 和 FDD 在物理层的差异也开始模糊。TDD&FDD CA 提供了基于 TDD 和 FDD 载波频段的联合调度，实现物理层的数据聚合，因而需要采用同时支持 TDD&FDD 的双模移动台，及 FDD 与 TDD 基站共址或二者基站间有理想 backhaul 连接。沃达丰与华为在 MWC 2014 联合演示的 TDD&FDD 4CC CA(四载波聚合)技术。沃达丰目前在西班牙拥有 800MHz、1800MHz 和 2600MHz 三个 LTE FDD 载波，共 70MHz 的丰富频谱资源，以及 1 个 20MHz 的 2600 TDD 频谱资源。本次演示对 3 个 LTE FDD 载波和 1 个 LTE TDD 载波进行了聚合，使单用户的下行理论峰值超过 500Mbps，真正实现了 One LTE。

后续 3GPP 协议 Release 12 版本引入的 MSA(Multiple Stream Aggregation, 多流聚合技术)。MSA 具有为一个用户提供高层多数据流聚合的能力，因而可以提供更高的吞吐量及稳定的移动服务质量，这一点对小区边缘尤为显著。高层的聚合使得 MSA 适合多种场景的需要，无论是 TDD 还是 FDD，抑或宏站微站，甚至在非理想 backhaul 的 FDD&TDD 场景下，都可以聚合在一起，提供更高的容量和速率。双工手段，殊途同归于 One LTE。

2.2 灵活双工研究进展

虽然阶段 2 提出的多种 TDD&FDD 融合方案，较传统的 TDD 或 FDD 能够更加有效的整合资源，但这些方案仍然不够灵活，网络中的上下行资源仍是预先配置好，而无法根据上下行业务量进行灵活的分配。因而，双工方式演进的阶段 3 目的就是面对当前上下行业务不对称且时变的特点，如何能够更加灵活的分配

上下行资源。目前，3GPP 中对灵活双工的研究内容包括 FDD 非对称频谱分配、动态 TDD[7,8]、动态频谱分配[9]。

2.2.1 FDD 非对称频谱分配

FDD 非对称频谱分配的特点在于为通信系统分配非对称的上下行频率资源，及上下行分配不同数目或不同带宽的频率资源。目前全网上下行平均吞吐量数据统计结果显示，下行业务量远高于上行业务量，因而，运营商可能会在实际应用中投入更多的下行频段。FDD 非对称频谱分配可以在一定程度上降低上下行业务与资源分配不协调的问题，避免了上行资源的浪费。但是，该方式在网络运行中上下行频段资源分配比例仍然是静态的，仍然无法满足当前上下行业务比例时变的特性。

2.2.2 动态 TDD

前面提到过各个地区甚至各个基站间的上下行业务量也存在很大差异，而传统 TDD 系统全网所有基站采用相同的上下行子帧配比，所以 TDD 不能灵活的根据业务量调整资源分配。动态 TDD 是目前 3GPP 正在讨论的研究项目，该项目初衷是能够使系统中各个基站根据各自覆盖区域内用户的上下行业务量分配时间资源，即根据上下行业务量的比例动态调整二者占用的时隙配比。并且，为了更好的达到资源适配的目的，上下行时隙配比调整的最短时间可以达到 10ms。

在传统的通信系统中，包括 TDD 及 FDD 系统，在同一时刻全网中统一发射上行或者下行信号。如，某一时刻全网的基站发射下行信号、移动台接收上行信号。此时，某一小区移动台接收信号受到的干扰均来自其他基站发送的下行信号。类似的，在上行时刻，网络中任一基站接收上行信号收到的干扰均来自其他小区的移动台发送的上行信号。即网络中仅存在基站对移动台的干扰、或移动台对基站的干扰，如图 8、图 9 所示。两幅图中用户使用相同的上下行时隙配比，即 DSUUD，D 表示该时隙传输下行、U 表示该时隙传输上行信号。图 8 给出的是下行时隙相邻小区两个基站同时发送下行信号时，基站对邻区移动台的干扰情况。图 9 给出的是上行时隙相邻小区两个移动台同时发送下行信号时，移动台对邻区基站的干扰情况。

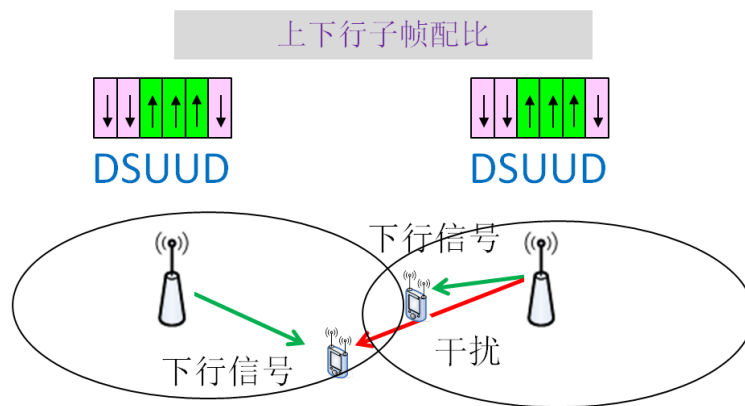


图 8 基站对用户的干扰

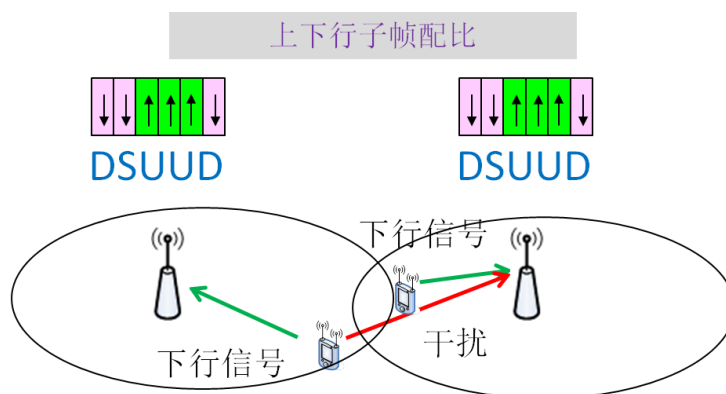


图 9 用户对基站的干扰

动态 TDD 允许网络中各个基站可以灵活调整上下行时隙配比，因此在同一时刻，可能出现相邻小区一个传输下行信号，而另一个传输上行信号的情况。如图 10 所示，两个相邻基站在第 4 个时隙的信号传输方向不同。此时，网络中除了传统系统中存在的基站对移动台以及移动台对基站的干扰外，还出现了两类干扰：基站对基站的干扰(如图中干扰 I)、移动台对移动台的干扰(如图中干扰 II)。针对这两类干扰带来的问题和解决方法，3GPP 成立了 eIMTA(further Enhancements to LTE TDD for DL-UL interference management and traffic adaptation)项目，研究如何进一步增强上下行信号间的干扰管理，是 TDD 能够更灵活的进行业务适配调整。

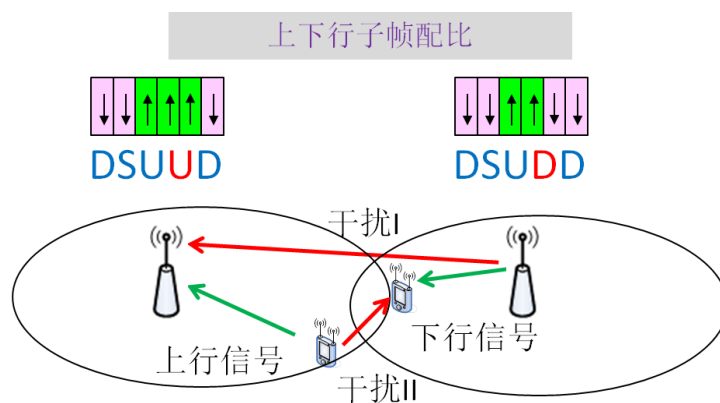


图 10 动态 TDD 中基站间和用户间的相互干扰

2.2.3 动态频谱共享

按照全网平均吞吐量统计，下行业务量远高于上行业务量，因而对于对称频谱分配 FDD 系统来说，大部分时间上行资源处于部分空闲状态。如果能够将部分上行资源转换为下行资源，即在上行频段发送下行信号，则网络的频谱利用率将得到很大提升。实现的方法可以是时域方法，即在部分时隙中在上行频段由基站发送下行信号，另一部分时隙中仍然由移动台在上行频段发送上行信号(如图 11 所示)；或者采用频域方法，即将上行频带配置为灵活频带以适应上下行非对称的业务需求(如图 12 所示)。用于下行传输的时隙或者频段的大小可以由上下行业务量来决定，因而动态频谱分配使得现网 FDD 系统具有更好的灵活性。

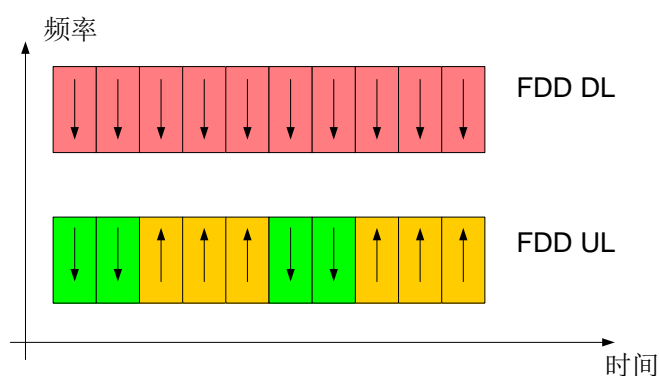


图 11 时域方式的动态频谱共享

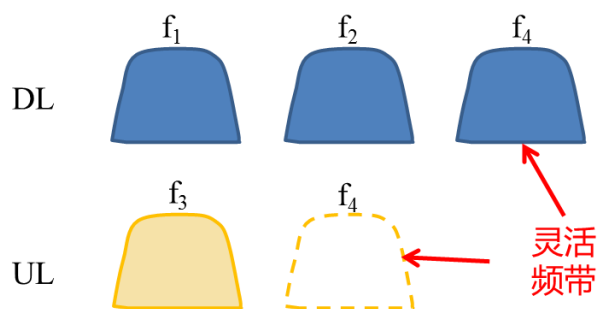


图 12 频域方式的动态频谱共享

与动态 TDD 中出现的干扰问题相同，动态频谱共享中也存在着基站间以及用户间的互干扰问题亟待解决。

反之，网络中也存在上行业务量大于下行业务量的情况。此时，可以用同样的方法将部分下行资源转换为上行资源，进行信号传输。

2.3 全双工

全双工技术使得同一通信设备在同一时频资源上进行信号的接收和发送。图 13 给出了基站采用全双工设备时的信号收发示意图。图中，移动台还没有采用全双工设备。由于全双工设备在接收其他通信设备向其发送信号的同时，还在向其他通信设备发送信号，而全双工设备接收机和发射机距离较近。因而，全双工设备的发射信号对其接收信号来说是一个功率很强的干扰，可能导致接收机无法接收有用信号。这也是长期以来全双工技术无法实现的根源。但近几年，多家大学和研究机构在这方面的研究取得了重大进展，美国 Rice 大学更是宣布在 2.4G 频段 20M 带宽内自干扰删除可以达到 85dB^[10]，虽然这个指标还未达到实际商用的标准，但这预示了全双工技术的应用离我们越来越近了。



图 13 全双工基站发射、接收信号示意图

全双工网络中也同样存在着上下行信号在相同的时频资源上发送的问题，因

而，因而灵活双工的上下行对称设计在全双工技术应用中也同样适用。

2.4 灵活双工技术难点

前面提到灵活双工技术中面临的主要问题在于上下行信号间干扰严重，这是因为在 LTE 系统中，上行信号和下行信号在多址方式、子载波映射、参考信号谱图等多方面存在差异。

(1) 子载波映射方式

在现有的 LTE 系统中，上行频段是连续的，而下行频段中间空出一个子载波不发送信号，如图 14 所示。下行频段中间子载波承载的是直流分量，如果在该子载波上传输信息，则会被直流分量干扰，无法有效解调，因此当前协议中规定了空出中间子载波不发送信号。上行信号发送也存在着与下行相同的问题，但是下行信号调度是按照资源块分配的，可以是非连续的，而上行信号的调度是连续的。这是因为下行信号采用正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 多载波的多址方式，为一个用户调度的资源可以是离散分布的多个资源块；而上行信号采用单载波频分多址 (Single-carrier Frequency-Division Multiple Access, SC-FDMA) 的单载波多址方式，每个用户一次调度只能分配一个子载波，因而必须是连续的资源块。所以上行信号无法按照下行的方式直接空出中心的子载波不发送信号，而采取了错开半个子载波的方式，尽量避免直流分量的干扰。

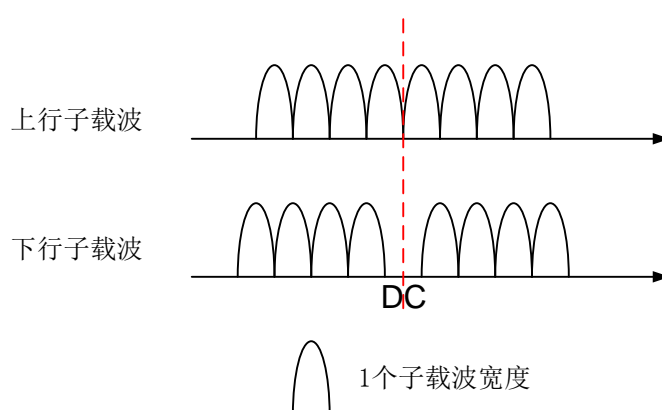


图 14 LTE 上下行子载波映射示意图

(2) 解调参考信号谱图

由于无线信道会随着周围环境的变化而变化，例如周围车、人的走动导致反射体移动，带来了多径信号的变换，甚至风吹树叶也可能导致无线信道质量的变换。因而，为了准确估计出信道状况，以便从干扰及噪声中有效的解调出有用信号，在传输的有用信号中会插入解调参数信号。接收端的通信设备预先获取了解调参考信号的信息，因而接收端可以根据接收到的参考信号的畸变形状进行信道估计，从而获取无线信道的如何改变信号的。根据信道估计结果恢复出有用信号波形并解调出信息数据。

LTE 中上下行信号在用于解调的参考信号上的设计也有所不同。上行信号同样因为单载波的原因，即多址方式为 SC-FDMA，要求数据信号和参考信号在频域都要保持连续性。如图 15 所示，上行解调参考信号在第 2 时隙(横坐标 $l = 2$) 占满整个频域进行传输。而下行参考信号采用 OFDM 多址方式，因而没有连续性的限制，可以采用离散的谱图，如图 16 所示，从而获取更好的信道时频变化信息。

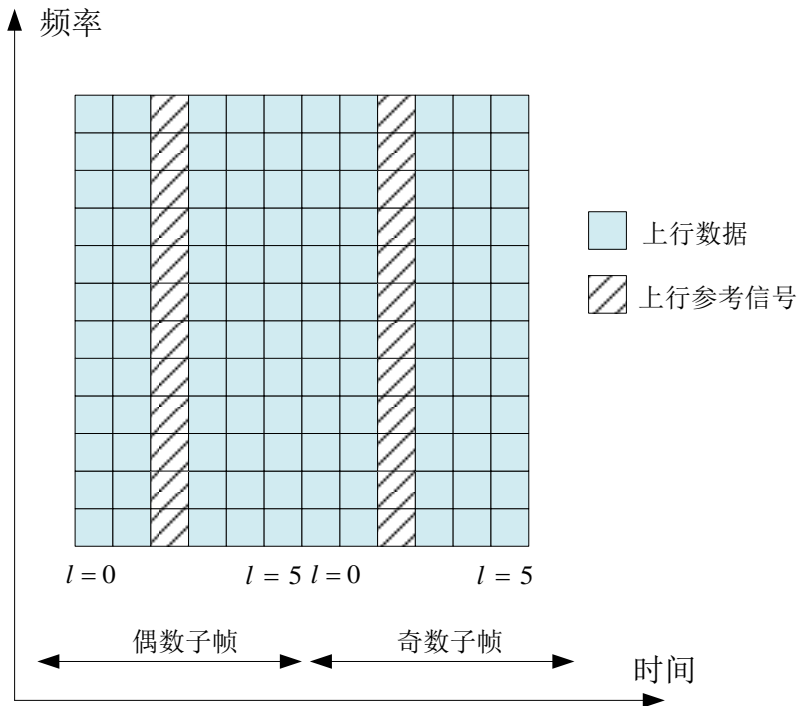


图 15 上行参考信号谱图

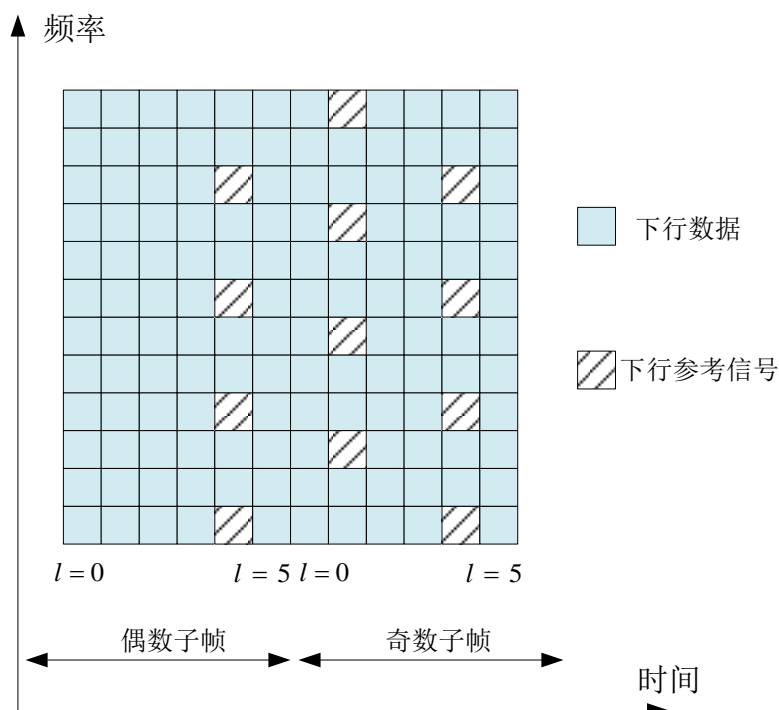


图 16 下行参考信号谱图

因为无线蜂窝网络中相邻小区没有隔离，所以邻区通信设备发送的信号虽然在传输一段距离后有很大的衰落，但仍有一部分残留功率形成干扰信号，影响邻区设备接收本区的有用信号。因此，相邻小区的参考信号被设置在相同的时频资源上，不同小区采用不同的正交码来避免相互之间的干扰。而上下行参考信号采用不同的资源映射方式，这就导致参考信号会受到邻区数据信号的干扰，无法有效估计出信道状况。

(3) 其他

除了子载波映射和参考信号谱图外，上下行在多址方式、测量参考信号、调度策略等多方面都有所不同，这也是目前无线蜂窝网需要全网在相同的时频资源上不同小区必须采用相同的信号传输方式(FDD 固定上下行频段、TDD 采用统一的子帧配比)的原因。

2.5 灵活双工中的关键技术

2.5.1 上下行对称设计

灵活双工不仅适用于演进的 LTE 技术，同样，灵活双工也适用于革命性的 5G 技术中。

在革命性的 5G 技术中，上下行信号的设计不再受 LTE 标准的限制，因而可以采用上下行信号对称的设计。将上下行信号中包括参考信号谱图、子载波映射、多址方式、参数设置等方面采用一致的设计。由此，有效利用多用户多天线、干扰删除等技术手段更好的分离上下行信号。

上下行信号间的互干扰问题严重影响了灵活双工技术所带来的增益，因而如何有效消除或抑制上下行信号间的干扰成为了灵活双工中亟待解决的技术问题。前面已经分析出上下行信号之间之所以互干扰严重，是因为 LTE 将上下行信号做了不同的设计。而上行信号及下行信号间的同向干扰在 LTE 系统中是可以通过干扰删除、多天线接收等方式消除或避免的。因此，如果能够保证上下行信号的一致性，将灵活双工系统中的异向干扰转换为同向干扰，就可以有效避免二种信号间的干扰产生。

2.5.2 发射功率对等

为了抑制相邻小区上下行信号间的互干扰，灵活双工需要采用降低基站发射功率的方式，使基站的发射功率到与移动台对等的水平。调整以移动台发射功率 23dBm 为基准。宏基站设备的发射功率一般设置为 46dBm，而覆盖范围较小的微站发射功率一般设置为 24dBm。并且，当前无线通信系统中宏站与小站业务分配的趋势是，小站承载多数的移动业务，而宏站负责用户的管理、控制等业务。因而，灵活双工技术将主要应用于发射功率为 24dBm 的小站。

同时，降低基站的发射功率还可有效避免了灵活双工系统对邻频通信系统的干扰。

2.6 小结

本章首先介绍了经过双工方式阶段 1，即彼此独立存在的 TDD 和 FDD 系统的后，为了更充分的利用系统资源，当前双工方式向着 TDD 与 FDD 融合方向发展的趋势，分别介绍了 LTE 标准从物理层到高层研究的关于 TDD&FDD 融合的 3 项技术的概念。而后，指出灵活双工将是阶段 3 的双工方式，其能够根据各个小区上下行业务量的需求动态调整网络资源，提高系统资源利用率。接着，说明灵活双工是阶段 4 的全双工应用的基础，起到了承上启下的作用。并且分析了灵活双工的技术的难点为上下行信号间的相互干扰，提出解决该干扰问题的关键是实现上下行信号的对称设计。并且，适当降低基站发射功率使移动台与基站发射功率对等，可有效抑制同频及异频信号间干扰。

第三章 应用场景

3.1 异构

移动通信系统中宏站与小站业务分配的趋势是，小站承载多数的移动业务，而宏站负责用户的管理、控制等业务。灵活双工的应用场景之一就是用于承载业务的小站。如错误!未找到引用源。所示，在预先分配的上行频段/时间，小站根据业务需求来传输下行信号，从而提高系统资源利用率。

3.2 Relay

现有的系统 Relay 节点占用上行资源向基站发送信息及接收终端的信息；而占用下行资源向终端发送信息及接收基站的信息。在灵活双工系统中，Relay 节点同样可以灵活利用预先分配的上行/下行资源。如图 17 所示，利用 MIMO 技术在上行资源上同时向基站和终端发送信号。在提升系统资源灵活性的同时，还提高了资源的使用效率。

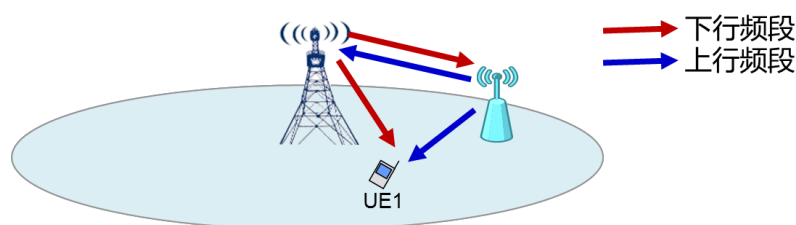


图 17 Relay 场景

3.2 密集小站

前面提到灵活双工的应用场景之一就是用于承载业务的小站，灵活双工尤其适用于密集小站场景下。如图 18 所示，在商场、机场等人员密集区域，人员密集且业务量需求较大，各个小站的上下行业务量需求不均衡且变化。采用灵活双工技术，能够使各个小站的资源按照业务量分配，以有效提高资源的利用率。

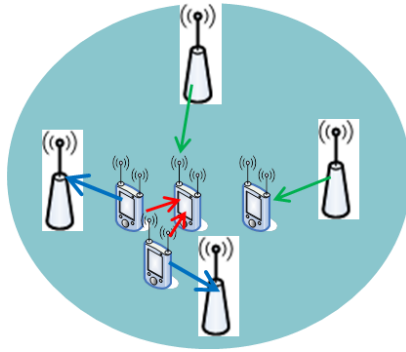


图 18 密集小站场景

第四章 共存问题研究

4.1 法规调研

在有些国家灵活使用频段，如在 FDD 上行频段传输下行信号是可以被允许的，但有些国家还没有被允许。2015 年 3GPP 向欧洲(Electronic Communications Committee, PT1)、美国(Federal Communications Commission)、日本(Association of Radio Industries and Business)等电信法规部门的咨询相关规定，从中可以得出了以下结论：

- (1) 欧洲(ECC PT1)当前还不允许灵活使用 FDD 上下行频段。但是，由于小站的发射功率与终端最大发射功率相当，小站的使用似乎能够满足上行频段法规的技术限制。考虑到这些，ECC PT1 对灵活使用频段的技术研究持开放态度，乐于了解 3GPP 关于灵活双工研究的进展。
- (2) 美国(FCC)，某些频段，如 1710-1755 MHz 频段，仅仅限制了最大发射功率和天线高度。
- (3) 日本(ARIB)，中继站或基站目前还不允许 FDD 上行频段的灵活使用。

因此，在文献[11]中 3GPP 给出结论：至少在一个国家的某些频段在 FDD 的上行频段，网络侧设备向终端的信号传输是被允许的。

虽然目前灵活双工在某些区域受到法规的限制，但法规的修改制定可能滞后于技术的革新。如果能够通过技术手段控制灵活双工对其他系统的干扰，并且灵活双工技术所带来的增益被认可，未来申请法规的改变也未尝不可。下面一节给出了灵活双工的干扰评估结果。

4.2 异运供应商干扰评估

在无线移动通信中，根据法规不同的运营商(如中国移动、中国电信、中国联通)或系统(如 LTE 系统与 CDMA 系统)被分配在不同的频段中传输无线信号，从而避免相互之间的干扰。但是，各系统信号的功率仍然会在一定程度上落入相邻频段内，干扰邻频段系统接收信号，这就是邻频干扰。当邻频干扰大于某个特定

值时，就会影响到通信设备的通信质量，导致用户无法通话或进行数据业务。因而，法规中为明确通信设备对邻频的干扰程度，定义了邻频干扰抑制比(Adjacent Channel Interference Ratio, ACIR)这一指标。ACIR 是射频中一个综合判定邻频干扰衰减度的参数，根据通信设备能力的不同，对 ACIR 的要求也不同。对于基站设备，在 ACIR=45dB 时，与无干扰情况相比，如果受干扰小区的吞吐量损失小于 2%，则认为该邻频干扰在可接受范围内。

表 2 给出了在相同覆盖区域内，灵活双工的 Pico 基站对邻频异运营商宏基站的干扰情况。干扰程度通过小区的平均吞吐量损失和边缘用户吞吐量损失来判断。其中第一列给出的是微蜂窝基站发射功率和天线增益的参数值。

表 2 邻频干扰仿真结果

ACIR (dB)		30	35	40	45	50
24dBm 0dBi	平均吞吐量损失 (%)	11.2	6.0	3.1	1.5	0.7
	边缘用户吞吐量损失(%)	83.2	58.1	16.0	0.0	0.0
24dBm 3dBi	平均吞吐量损失(%)	15.8	8.8	4.6	2.3	1.1
	边缘用户吞吐量损失(%)	91.5	75.9	42.7	0.0	0.0
30dBm 0dBi	平均吞吐量损失(%)	21.5	12.6	6.8	3.5	1.8
	边缘用户吞吐量损失(%)	100.0	86.5	64.5	25.3	0.0
30dBm 3dBi	平均吞吐量损失(%)	28.6	17.5	10.0	5.3	2.7
	边缘用户吞吐量损失(%)	100.0	92.6	80.0	50.8	5.5

根据射频指标可以判断，在 ACIR=45dB 时，对于发射功率为 24dBm 的基站，其带来的邻频干扰满足通信指标要求，可认定不会对邻频段的通信造成干扰。对于发射功率为 30dBm 的基站，邻频吞吐量损失超过 2% 的指标，则认定其影响了邻频系统的通信质量。

根据初步的邻频仿真结果可以看出，如果限制基站的发射功率在 24dBm 以下，采用灵活双工模式的基站对异运营商干扰程度在可接受范围内。而现网在大多数情况下将小站的发射功率设为 24dBm，这就无需对小站做特别的限制。

第五章 灵活双工在 LTE 中的实现

LTE 演进中, 灵活双工可以有效提高现有 LTE 网络的资源利用率。如将 FDD 的上(下)行频段在某些时隙或多个上(下)行频段中的一个频段做为下(上)行资源使用, 或 TDD 系统中各小区可根据业务量自主选择上下行子帧配比。但由于 LTE 系统中上下行非对称的设计, 导致了上下行信号间的干扰, 如果令在上(下)行频段发送的下(上)行信号采用上(下)行信号格式, 或令在下行频段发送的上行信号采用下行信号格式, 即保证网络中同一时刻传输的信号方向相同, 这样就将异向(上下行之间)干扰转换为同向(同为上行或同为下行)干扰, 再按照同向干扰的方法进行干扰抑制或删除。这就在 LTE 上下行信号的基础上, 在应用灵活双工的时频资源上遵循了上下行对称的设计。

5.1 灵活双工发送端信号处理流程

为了保证上下行信号在解调参考信号、子载波映射等方面能够一致, 从而将上下行互干扰转换为上行间或下行间的同向干扰。就需要上行或下行信号中的一方做出调整, 将上(下)信号映射方式转换为下(上)信号的映射方式。

5.1.1 频谱搬移

首先, 以上行信号按照下行信号映射方式发送为例, 如图 19 所示。在资源映射模块后加入选择模块频谱搬移, 保证上下行子载波对齐。

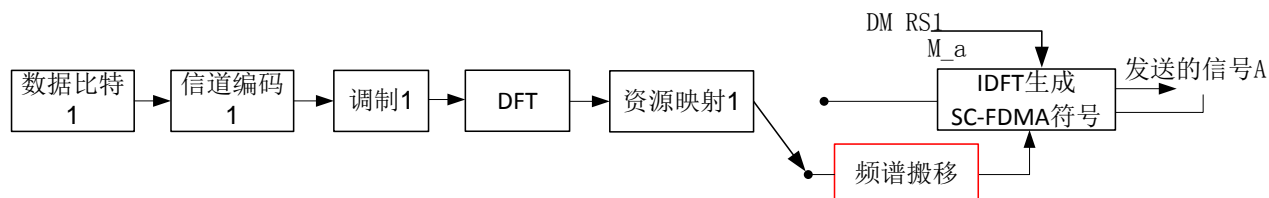


图 19 上行信号生成流程

在使用灵活双工的资源上, 具体的操作流程为:

1. 灵活双工模块选取下行信号作为下一时频资源上，上下行信号采用的共同的映射方式。
2. 灵活双工模块通知移动台需要改变映射方式，频谱搬移。
3. 收到载波搬移指示的移动台，进行频谱搬移。移动台按照指示将发送的信号频谱从中心点向两侧搬移半个子载波宽度，使发射信号频谱中心空出一个子载波，即下行子载波的映射方式。

当移动台在不采用灵活双工时，则信号的处理流程与现有 LTE 系统相同，即图 19 中资源映射模块后，选择直接进行 IDFT 处理生成 SC-FDMA 信号，而不需要进行频谱搬移。

相类似的，如果灵活双工采用下行信号按照上行信号映射方式发射，如图 20 所示。同样需要在资源映射模块后加入选择模块频谱搬移，保证上下行子载波的对齐。具体流程为：

1. 灵活双工模块选取上行信号作为下一时频资源上，上下行信号采用的共同的映射方式。
2. 灵活双工模块通知基站需要改变映射方式，频谱搬移。
3. 收到指示的是基站，按照指示将发送的信号频段中心两侧频谱向中心搬移半个子载波宽度，得到连续的信号频谱，即上行子载波的映射方式。

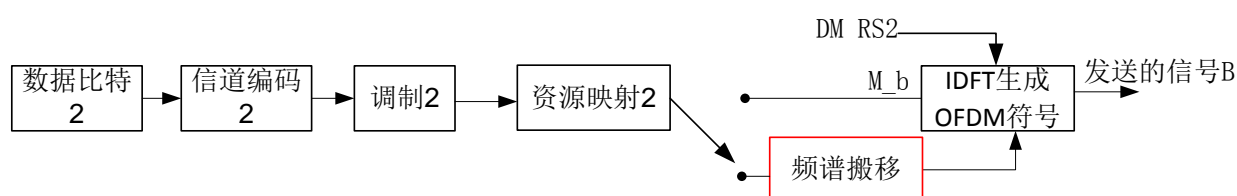


图 20 下行信号生成流程

5.1.2 参考信号正交

图 21 给出了在一个资源调度单位，即资源块(Resource Block, BR)上，下行解调参考信号(Demodulation Reference Signal, DM RS)的资源映射位置。需要注意的是，其中，横坐标为时隙，纵坐标为子载波。在此资源上用物理下行共享信道承载来自下行链路共享信道的数据，即用于传输下行数据信号；也用于传输下

行解调参考信号，作为解调时进行信道估计使用。

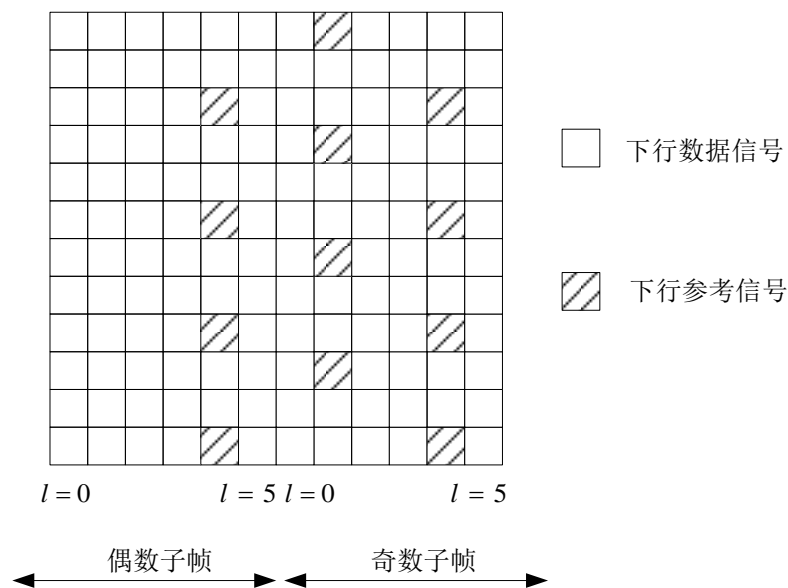


图 21 下行参考信号

图 22 则示出了在一个资源块上，上行解调参考信号的资源映射位置。同样，在该资源上，同时传输上行数据信号和解调参考信号。

需要说明的是，要进行干扰删除、信号解调，首先要进行信道估计，为了保证信道估计的准确性，就要求各路信号中用来做信道估计的解调参考信号间彼此正交，或相互干扰很小。如果两个解调参考信号在相同的资源块上，需要为两个解调参考信号分配不同的正交序列，以保证二者码分正交；而如果两个解调参考信号在不同的资源块上，他们自然是正交的。

在现有 LTE 系统中，参见图 21 和图 22 可知，下行解调参考信号和上行解调参考信号在不同的资源块上(也即，下行解调参考信号的资源块映射位置与上行解调参考信号的资源块映射位置相错开)，因此他们是正交的。而引入灵活双工技术后，在同一时频资源上，上行信号与下行信号将共存，上行解调参考信号将受到下行数据信号的干扰、而下行解调参考信号也将受到上行数据信号干扰。这样，会影响信道估计的准确性，从而直接影响干扰删除、数据解调结果。因此需要进行优化。可令在同一时频资源上传输的上、下行信号采用同样的解调参考信号映射方式。

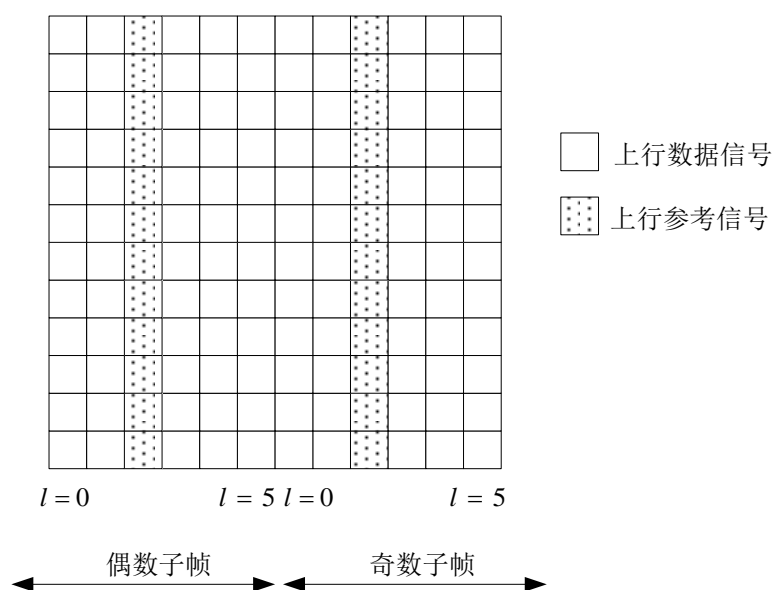


图 22 上行参考信号

(1) 采用下行参考信号谱图

由基站决定同一时频资源上传输的上、下行信号采用何种解调参考信号资源块映射方式后,如上行信号和下行信号均采用下行解调参考信号的资源映射方式时,由于移动台默认采用上行解调参考信号的资源映射方式发送上行信号,因此,在接收通信信号之前,基站还需要通知移动台执行上行资源映射转下行资源映射处理。

前面已经说明,如果两个解调参考信号在相同的资源上,需要为两个解调参考信号分配不同的正交序列,以保证二者通过码分正交。因此,上述上行解调参考信号还要采用新的正交序列,并且,其采用的(新)正交序列与下行解调参考信号的正交序列码分正交。而基站的下行参考解调信号的资源映射位置和正交序列则不需要做调整或更新。如此一来,上、下行信号均可按照图 21 的映射方式发送。

(2) 采用上行参考信号谱图

当上行信号和下行信号均采用上行解调参考信号的资源映射方式时,由于基站默认采用下行解调参考信号的资源映射方式发送下行信号,因此,在接收通信信号之前,需要基站执行下行资源映射转上行资源映射处理。

而相应的,在发送下行信号之前,基站所执行的传输方法还可包括:(根据信号接收方的通知)执行下行资源映射转上行资源映射处理,以令信号接收方接

收到的通信信号中，下行解调参考信号的资源位置与上行解调参考信号的资源位置相同。

（3）采用静默/低功率数据信号方式

由于在现有 LTE 中，上行解调参考信号的资源映射位置与下行解调参考信号的资源映射位置本来就相错开，因此，可保持上下行解调参考信号默认的资源映射方式不变。基站发送下行信号仍采用默认的、下行解调参考信号的资源映射方式，移动台发送上行信号仍采用默认的、上行解调参考信号的资源映射方式，也即图 21、图 22 所示方式。当然，也可重新分配上、下行解调参考信号的资源映射位置，并令其相错开。

在采用不同的解调参考信号映射方式时，为令上、下行解调参考信号少受干扰，需要执行如下操作：

通知移动台执行下行静默/低功率处理，即在发送上行信号之前，移动台还需要根据基站的通知执行下行静默/低功率处理。

同理，通知基站执行上行静默/低功率处理，在发送下行信号之前，基站还需要执行上行静默/低功率处理。

这样一来，信号接收方所接收到的通信信号中，上行信号是经过下行静默/低功率处理的，下行信号是经过上行静默/低功率处理的。

上述所说的上行或下行静默/低功率处理可包括：在传输下行解调参考信号的资源上保持静默或低功率发射。

图 23 给出了基站侧的下行解调参考信号的映射位置，可见，在上行解调参考信号对应的资源位置上，不发送下行数据信号，保持静默。

用户侧上行解调参考信号的映射方式类似，即在下行参考信号发送的资源块上不发送或降低上行数据信号的发射功率。

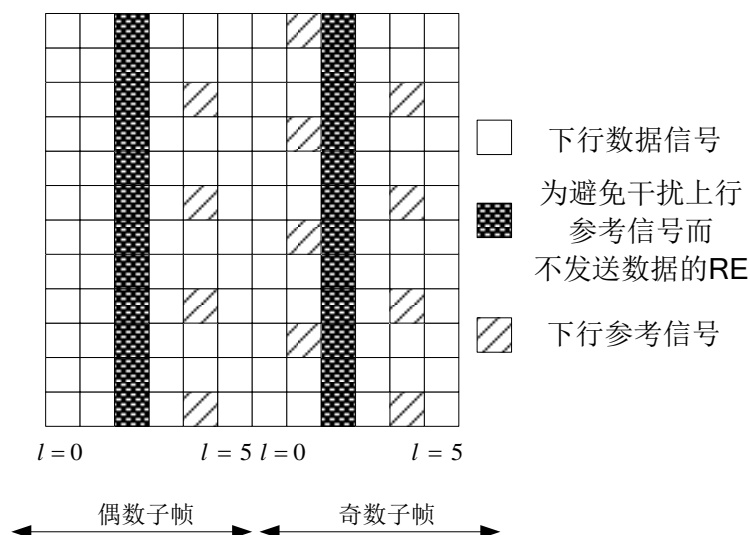


图 23 灵活双工下行信号映射

5.2 灵活双工接收端信号处理流程

在接收端通过引入干扰删除(Interference Cancellation, IC)技术可以有效降低有用信号的解调误码率,而传统的干扰删除处理是以接收到的两路信号采用相同的调制方式为前提,未考虑接收端同时接收上、下行信号的情况。在引入灵活双工后,同一时频资源上,上、下行信号将共存,而上、下行信号的调制方式、多址方式并不相同,这就需要对干扰删除进行改进。使 IC 接收机能够按照事先选择的映射方式、解调参考信号信息、有用信号和干扰信号的调制方式等信息分别对两路信号进行信道估计、干扰删除。在移动台侧删除其他移动台发送的采用 SC-FDMA 调制方式的上行干扰信号得到基站的下行有用信号;在基站侧删除其他基站发送的采用 OFDM 调制方式的下行干扰信号得到移动台发送的上行有用信号。

删除采用 SC-FDMA 的上行信号得到干扰消除后的基站的下行有用信号的具体处理过程如图 24 所示。

(1) 接收端同时收到 2 路信号,其中,数据 2 为 OFDM 调制方式、数据 1 为 SC-FDMA 调制方式,两者互为干扰信号。在解调数据 2 时数据 1 那一路信号即为干扰。接收设备经过 DFT 变换后,得到频域的混合接收信号。接收端根据预先已经获取两路信号的 DM RS 信息,分离出数据信号 Data 和两路 DM RS 信号

DM RS1 和 DM RS2。

(2) 因为 DM RS1、DM RS2 信号正交，可以准确地估计出信号 1 经历的信道估计 1($H_{a\sim}$)及信号 2 经历的信道估计 2($H_{b\sim}$)。

(3) 根据信道估计 1($H_{a\sim}$)、数据信号 Data，信道均衡后可解调出数据 1 的估计值($M_{a\sim}$)。因为数据 1 为 SC-FDMA，因而在解调中，需要根据其调制方式增加 IDFT 变换。把估计出的信道 1($H_{a\sim}$)与解调出的调制信号估计值($M_{a\sim}$)相乘就获得数据 1 的接收信号估计值，即数据 2 的干扰信号估计值。

(4) 将获得干扰信号从接收到的数据信号 Data 中删除，就可以获得干扰被降低的数据 2 的信号。再对该信号进行解调操作，获取精度较高的数据比特 2。因为数据 2 采用的是 OFDM 调制方式，因此在解调过程中不需加入 IDFT 模块。

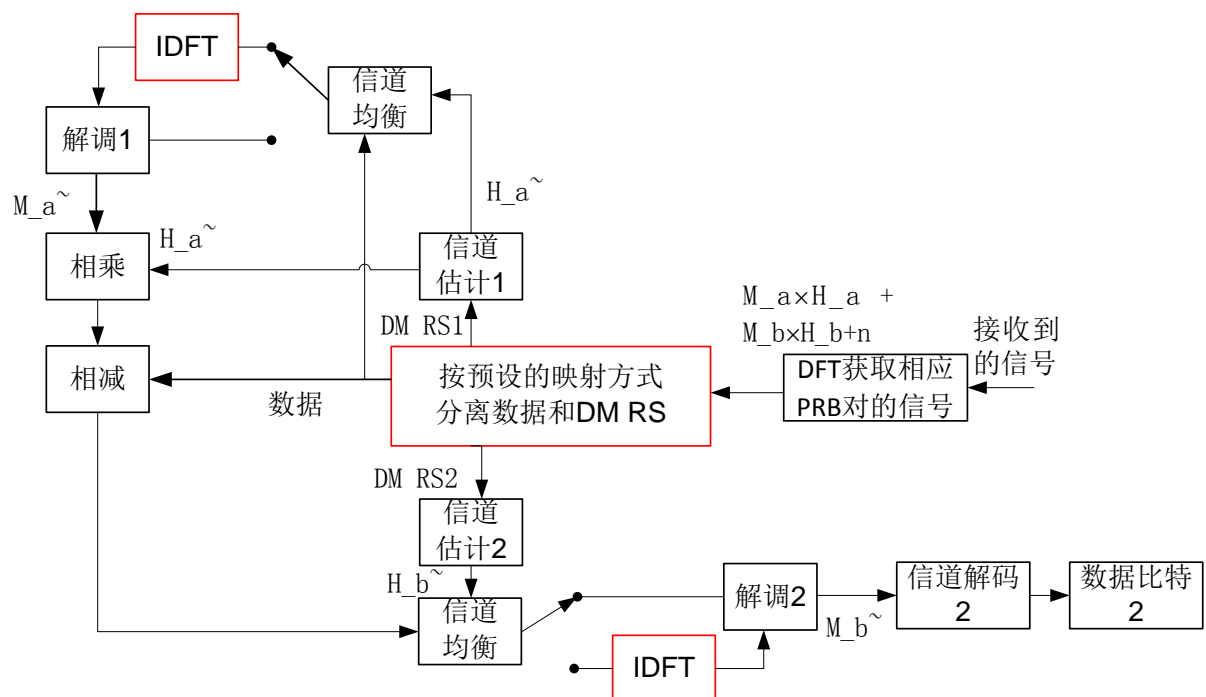


图 24 接收侧处理 OFDM 路信号流程

数据 1 的 IC 的具体处理过程如图 25 所示。

与数据 2 的不同之处在于，此时干扰数据的调制方式为 OFDM，而接收有用数据的调制方式为 SC-FDMA。因此，在干扰信号信道估计、信道均衡步骤后不需进行 IDFT 操作，而直接进行干扰信号的解调；此外，在有用信号的信道均衡后需要进行 IDFT 操作，然后再进行解调。

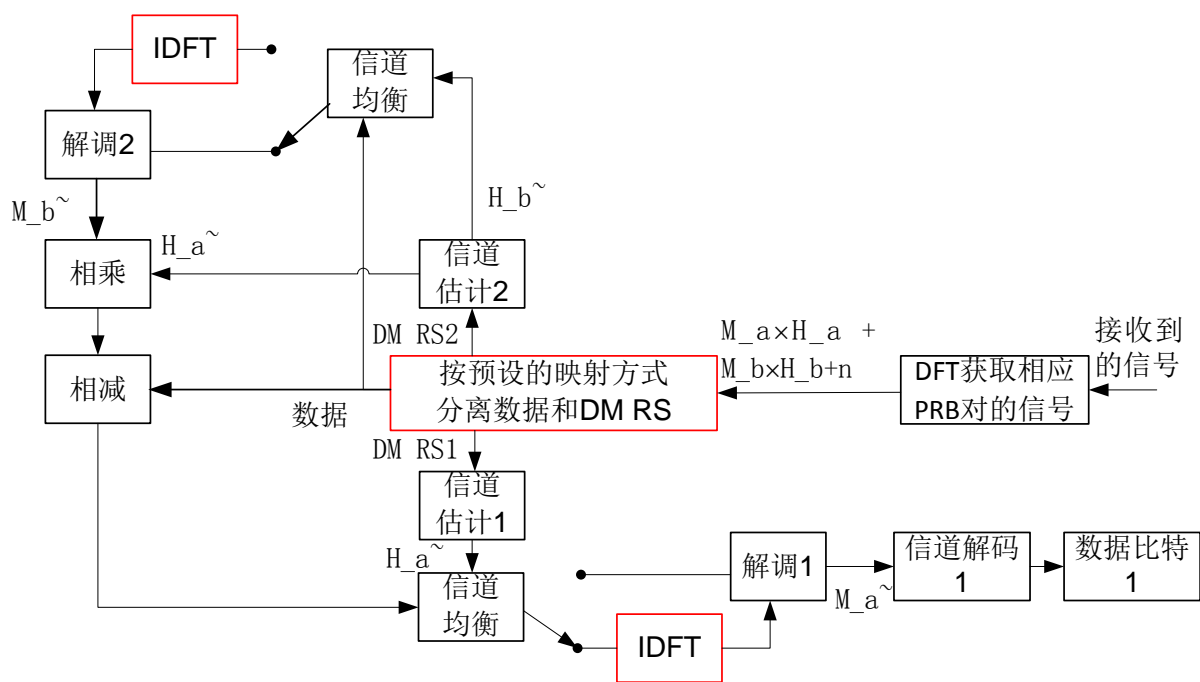


图 25 接收侧处理 SC-FDMA 路信号流程

5.3 小结

由于 LTE 系统中移动台和基站的能力不同、最大发射功率、功耗要求不同，上行和下行信号设计为采用不同的子载波映射方式、参考信号谱图、多址方式等，这就要求在相同的时频资源上需要全网用户使用相同的信号传输方向，导致网络资源不能根据业务量灵活分配。本章讨论了如何在 LTE 系统基础上进行改进，使各小区资源在达到业务适配的同时，也不会给其他小区带来干扰。提出调整上行或下行信号其中一种，通过载波搬移、调整解调参考信号谱图或静默的方式，使各小区的上下行信号能够通过信道估计、干扰删除等手段得以分离，从而有效解调出有用信息。

第六章 灵活双工在 5G 中的设计

灵活双工不仅适用于在 4G 技术的演进中发挥作用，也适用于革命性的 5G 技术中。在未来的 5G 技术中，上下行信号设计不再受现有通信系统或协议的制约，可以根据上下行信号对称的原则重新设计通信协议和系统。从而有效利用多天线空分、干扰删除等技术手段更好的分离上下行信号。而且，未来的 5G 中很可能被分配在较高的频段、采用大规模天线等，这都呼唤上下行信号进行全新的设计。上下行对称设计包括在上行信号与下行信号在多方面保持一致性，包括子载波映射、参考信号正交性等方面的问题。

6.1 载波映射

可以根据上下行信号对称的原则来设计 5G 的通信协议和系统，从而将上下行信号统一，那么上下行信号间干扰自然被转换为同向信号间干扰，再应用现有的干扰删除或干扰协调等手段处理干扰信号。

LTE 网络中采用的不同多址接入技术也带来了资源映射方式、资源分配调度的不同。

6.2 参考信号

在灵活双工中保证参考信号的正交性尤为重要，尤其是用于网络估计的解调参考信号。正交的参考信号有助于准确的获取信道状态信息，进而正确的解调出信息。在上下行参考信号资源映射谱图相同的情况下，可以通过码分多址的方式保证二者的正交性。

第七章 仿真结果

7.1 射频性能评估

前面章节已经分析过因为上下行信号在子载波映射、参考信号谱图等方面的设计不同，导致无法接收端无法正确进行信道估计。因而建议用上下行对称的设计。图 26 给出了能够通过解调参考信号进行信道估计时小区的吞吐量和无法通过解调参考信号信息进行信道估计时的小区吞吐量。从仿真结果可以看出，当接收端能够通过解调参考信号预估出信道状况，用于辅助解调时，小区吞吐量远比无参考信号辅助信道估计时的吞吐量高。而且，无辅助信道估计时，小区吞吐量也不能随着信干噪比的增加而提高。

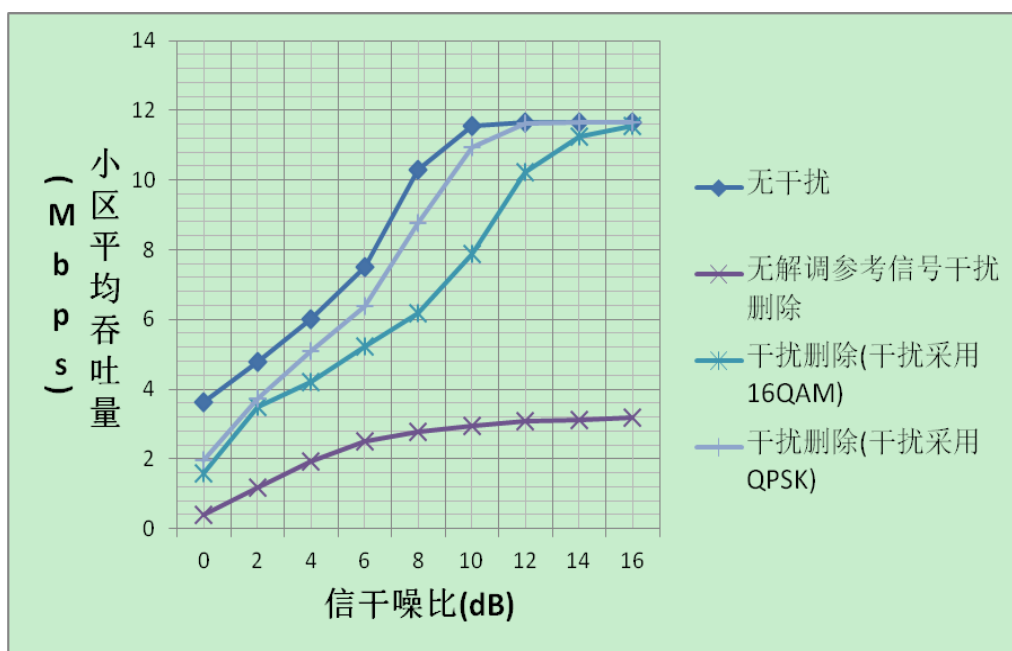


图 26 射频仿真结果对比

7.2 系统仿真性能评估

当前城市热点地区的无线通信业务量飞速增长，如大型商城、比赛场馆、机场等人群密集地区。通常为了满足这些热点地区的业务量需求，运营商架设了多

个小站,组成一个小区簇来提供服务。因为每个小站下接入的无线用户需求各异,因而每个小站所需要采用的上下行资源配置也不尽相同。而密集的架设更是加剧了小站间上下行信号的干扰。

图 27 所示,在一个小区簇中包括 4 个小站。根据业务需求,在某一个时刻其中 2 个小站提供上行服务、另 2 个提供下行服务。

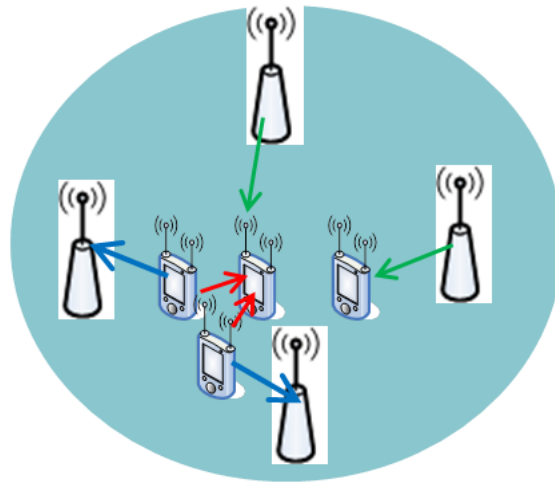


图 27 密集小站场景

图 28、图 29 分别给出了图 27 场景下发送上行信号和下行信号的小区平均吞吐量。可以看出通过干扰删除辅助可有效消除异向信号带来的干扰,尤其是对上行仿真结果有很好的性能提升。在网络中所有小区发送同向信号的场景中,小区的上行平均吞吐量为 7Mbps、下行平均吞吐量为 12Mbps;而图中仿真结果给出在删除 2 个异向干扰后,小区上行平均吞吐量约为 15Mbps、下行平均吞吐量为 19Mbps。由此可以看出,采用业务适配及对称设计后,小区无论是上行还是下行吞吐量都有了很大的提高,尤其是上行吞吐量提升更为明显。

因为本仿真中每个簇内有 2 个小区与本小区信号发射方向相反,因而删除 2 个异向干扰即可以得到较好的结果。而因为各小区簇间存在一定距离,其他小区簇对本簇内小区的干扰较小。因为实际网络中小区簇主要应用于有较大业务量的热点覆盖地区,如大型商场、机场、运动场等人员密集区域,簇间相互干扰确实有限。因而,可仅考虑处理本簇内其他小区的信号,而忽略其他小区簇的干扰,这将有助于降低接收机的复杂度及计算量。

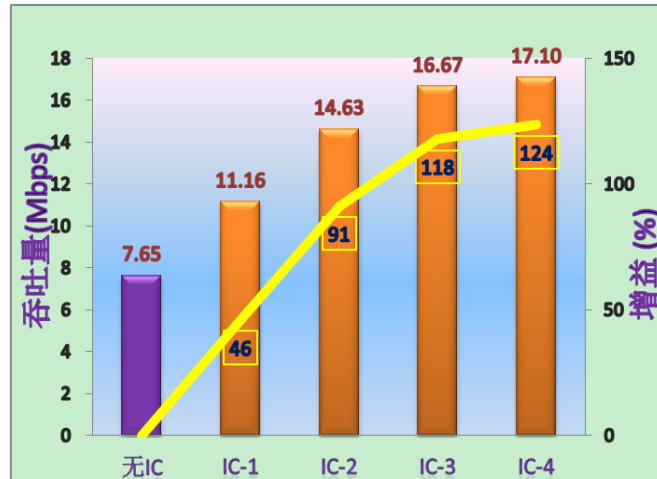


图 28 上行小区吞吐量

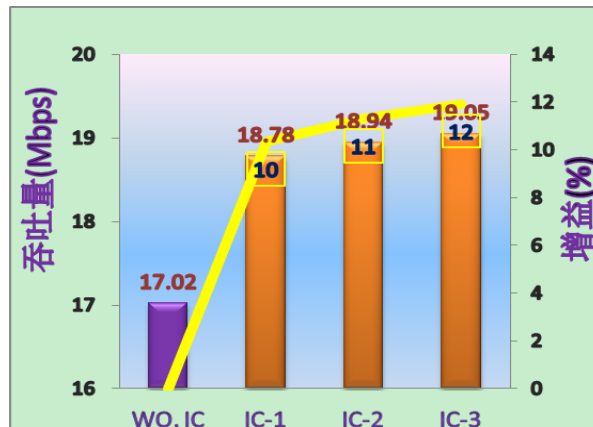


图 29 下行小区吞吐量

7.3 小结

当前的法规中明确规定了各频段应采取的双工方式，如 TDD 频段、FDD 上行频段、FDD 下行。而灵活双工需要根据业务量灵活的分配网络资源，因而导致灵活双工可能收到了法规的限制。本章首先验证了通过降低反射功率的方式，可以有效抑制采用灵活双工的基站对其他通信设备的干扰。而后通过射频和系统仿真验证了灵活双工中对网络性能具有明显的提升作用。基于灵活双工的系统增益，可以看出灵活双工是一个适合进一步研究及推广的技术，其在不增加网络资源的情况下，通过提升资源利用率及效率的方式，有效提升了系统中用户的服务质量。本章已经证明了通过技术手段可以控制灵活双工对其他系统的干扰，并且

灵活双工技术能够带来很大的增益，因而申请法规的改变也未尝不可。

第八章 结论及建议

TDD 和 FDD 是当前主流的两种双工方式。两种方式相比较，FDD 技术更成熟。但随着无线网络业务的增长，FDD 的对称频谱分配显得越来越不能适应业务的变化需求，而 TDD 逐渐吸引了更多的关注。现在，越来越多的标准研究及电信系统采用了 TDD 和 FDD 联合的双工模式。可以预见，未来的双工方式将是二者融合后的统一模式。

本文提出的灵活双工顺应了当前 TDD&FDD 融合的趋势，具有很好的业务适配性，有效提高系统频率资源利用率。灵活双工技术能够根据上下行业务的变化灵活分配现有的网络资源。

现有 LTE 系统上下行采用不同的设计，在 LTE 系统中应用灵活双工可以调整上行或下行信号，通过载波搬移、调整解调参考信号谱图或静默的方式，使各小区的上下行信号转换为同向信号，从而便于进行信道估计及干扰删除。该方法通过对 LTE 系统进行改进，使现网中各小区资源在能够实现业务适配的同时，抑制了相互之间的干扰。

灵活双工不仅适用于演进中的 LTE 技术，同样也适用于革命性的 5G 技术中。其中，上下行对称设计是支持灵活双工的关键技术，包括子载波映射、解调参考信号谱图、及多址接入方式等在内的对称设计。以使得灵活双工能够更好的应用于干扰删除、多天线接收等先进接收机提高网络吞吐量。

仿真结果验证了灵活双工中的上下行对称设计对网络性能具有明显的提升作用。基于灵活双工的系统增益，可以看出灵活双工是一个适合进一步研究及推广的技术，其在不增加网络资源的情况下，通过提升资源利用率及效率的方式，有效提升了系统中用户的服务质量。

并且，灵活双工的设计可以为全双工技术应用，具有很好的前向兼容性。可以被 5G 及下一代无线通信系统所采纳。

虽然目前灵活双工可能受到法规的限制，但如果能够通过技术手段控制灵活双工对其他系统的干扰，并且灵活双工技术所带来的增益被认可，未来申请法规的改变也未尝不可。因而，面对当前无线移动宽带业务对网络性能要求提升的挑

战，进一步研究灵活双工技术的难点及应用场景，推进灵活双工技术成熟发展，促进产业升级是十分必要的。

参考文献

【1】 赛西亚, 陶菲克, 贝科. LTE-UMTS 长期演进理论与实践编辑. 北京, 人民邮电出版社. 2009

【2】 张新程, 田韬, 周晓津, 文志成. LTE 空中接口技术与性能. 北京, 人民邮电出版社. 2009

英文文献

【3】 Huawei, HiSilicon. 3GPP RP-140062: Motivation of New SI proposal: Evolving LTE with Flexible Duplex for Traffic Adaptation. 3GPP TSG RAN Meeting #63. Japan, 3 - 6 March 2014

【4】 Cisco. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018. 2014

【5】 RP-130862, New WI on TDD-FDD joint operation, 3GPP TSG RAN#60, June 11-14, 2013.

【6】 Huawei White Paper, “The second phase of LTE-Advanced LTE-B : 30-fold capacity boosting to LTE”.

【7】 RP-121772, Further Enhancements to LTE TDD for DL-UL Interference Management and Traffic Adaptation, 3GPP TSG RAN#28, Dec. 4-7, 2012.

【8】 3GPP. TR36.828, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further enhancements to LTE Time Division Duplex (TDD) for Downlink-Uplink (DL-UL) interference management and traffic adaptation

【9】 Lei W, Hai W, Yinghui Y, et al. Heterogeneous network in LTE-advanced system[C]//Communication Systems (ICCS), 2010 IEEE International Conference on. IEEE, 2010: 156-160.

【10】 Melissa Duarte. Full-duplex Wireless: Design, Implementation and Characterization. Thesis for the PhD Degree from Rice University , 2012: 60-61.

【11】 3GPP. TR36.882, Study on regulatory aspects for flexible duplex for E-UTRAN.