



一种窄带 M2M 系统与 LTE 系统共享频谱的机制

陈国平^{1,2}, 杜庆波¹

(1.南京信息职业技术学院 南京 210023; 2.中兴通讯学院移动通信实验室 深圳 518057)

摘要:长期演进(LTE)网络是 3GPP 定义的移动宽带(MBB),满足人类通信的宽带需求,但随着机器类通信(M2M)的快速发展,如何快速高效、低成本地部署 M2M 网络是业界的重要方向。提出了复用 GSM 的基本模块,可以快速部署低成本的 M2M 网络,并且与现有 MBB 系统 LTE 网络共享频谱,进一步降低部署成本。仿真结果表明,对于 LTE 系统来说,完全有能力容纳 M2M 系统的频谱共享和共存的需求,证明该方案是具有现实可行性的。

关键词:长期演进;移动宽带;机器与机器通信;频谱共享

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015290

A Spectrum Sharing Mechanism Between Narrowband M2M System and LTE System

Chen Guoping^{1,2}, Du Qingbo¹

(1.Nanjing College of Information Technology, Nanjing 210023, China;

2. Mobile Communication Laboratory of ZTE University, Shenzhen 518057, China)

Abstract: Long term evolution (LTE) networks is an advanced mobile broadband network defined in 3GPP (3rd Generation Partnership Project), to satisfy the human to human communication requirement. With the quick developing of machine to machine communication requirement, how to deploy the M2M networks with a high speed, low cost and efficient manner is the definite requirement in the industry. A low cost M2M network which deploy co-sited with MBB networks and shared spectrum with MBB network was proposed. System simulations show the spectrum sharing mechanism can solve the inter-RAT interference influence and ensure the acceptable performance loss. And the mechanism is low cost and technical reasonable.

Key words: LTE, mobile broadband, machine to machine communication, spectrum sharing

1 引言

LTE 的设计是基于满足人与人通信对宽带和高速数据通信的需求,即传统无线宽带(mobile broadband, MBB)系

统的演进。而 5G 也已经在全球范围内如火如荼地讨论和设计之中,根据 ITU 对 5G 移动通信网络的需求定义,除了传统 MBB 业务的演进之外,最大的也是最重要的演进方向是面向对未来广泛使用的物联网的机器型通信

收稿日期:2015-09-21;修回日期:2015-10-29

基金项目:江苏高校品牌专业建设工程资助项目(No.PPZY2015A092)

Foundation Item: Jiangsu University Brand Professional Construction Projects(No.PPZY2015A092)

论文引用格式:陈国平,杜庆波.一种窄带 M2M 系统与 LTE 系统共享频谱的机制.电信科学,2015290

Chen G P, Du Q B. A spectrum sharing mechanism between narrowband M2M system and LTE system. Telecommunications Science, 2015290



(machine type communication, M2M)的支持。而 M2M 通信的特点有如下几个方面。

- 连接数量极其庞大。例如 5G 对 M2M 链接数量的需求将是 LTE 时代的 1 000 倍。
- 窄带,低数据量。例如抄表业务等,在几天甚至几十天内只有几十个 byte 的数据量。
- 低成本,广覆盖。维护一个 M2M 连接需要的网络成本远低于一个 MBB 连接,少量稀疏站点能够为大量 M2M 业务提供服务,对覆盖的要求一般比 MBB 业务高 20 dB 以上。

考虑到未来网络的需求与 LTE 网络差异巨大,5G 的设计将是一个新的无线接入技术 (radio access technology, RAT),其拥有新的物理层波形 (waveform)、新的调制编码方式、新的协议栈和新的网络架构。对于底层传输来说,新的波形与传统 LTE 的波形将无法共存和共享。考虑到 5G 的成熟部署将到 2025 年左右,在未来的 10 年内,M2M 通信的需求发展并不会等待,这就对现有 LTE 系统支持部分 M2M 业务提出来要求。因此,3GPP(第三代移动通信伙伴计划)提出了在 LTE 系统上支持 M2M 业务的设计思路,并正在标准化制定中,其中有两个发展的分支:在 LTE 波形基础上实现 M2M 业务的传输,支持 M2M 业务需要新的终端;在 GSM 的波形基础上实现 M2M 业务的传输,现有 M2M 终端都可以直接使用。

由于第二种演进方向具有显著的成本优势,存量市场绝大部分终端都具有 GSM 模块,天然支持 GSM 方式传输,并且 GSM 模块的成本是 LTE 模块成本的 1/20 以下,可以快速被市场接受而获得发展。但对运营商来讲,由于传统 MBB 业务和 M2M 业务波形不同,必须为两者分配独立的频谱,而又因为两者的业务分布不同,独立的频谱分配将造成宝贵的频谱资源浪费。本文提出了一种频谱共享机制,使得 M2M 业务和 MBB 业务在物理层可以共享频谱,有利于 M2M 业务的快速低成本部署。

2 MBB 业务与 M2M 业务特征

2.1 MBB 业务特征

传统的 MBB 业务是典型的人通信业务,其业务量在时间上的分布特征受人的行为方式影响,呈现出极其明确的规律性,如图 1 所示,主要特征如下。

- 语音业务(CS traffic)与数据业务(PS traffic)都存在时间上的波峰波谷特性,其中两种业务的波峰在时

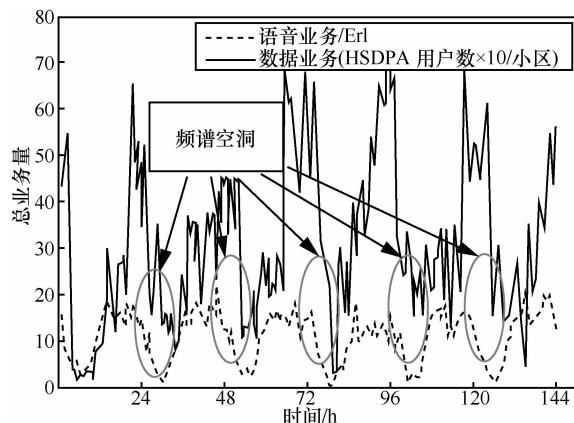


图 1 MBB 业务时间分布特征

间上并不完全重叠,而两种业务的波谷在时间上基本重叠。

- MBB 总业务量(CS 业务量和 PS 业务量之和)在时间上呈明显的波峰波谷特性,在夜间 1 点到 4 点之间的波谷,总业务量接近于 0。
- 不仅仅在波谷时间段,MBB 业务量接近 0,在 90% 以上的其他时间段,MBB 总业务量均不到波峰业务量的 50%。

为了保证 MBB 网络在任何时间都能提供电信级的业务质量保证,基于 License 的频谱分配方式必须为每个小区的峰值业务量预留足够的资源,而这些预留的宝贵频谱资源在网络负载下降时并不能被利用,这种现象在业界称为“spectrum hole(频谱空洞)”^[1],并且在大量的学术研究如频谱共享、感知无线电等领域,都旨在解决这个问题,提高频谱的利用率。而从 MBB 业务的分析可以看到,传统 MBB 网络总业务量达到峰值业务量 50% 以上的时间段不超过总时间的 10%,而总业务量在峰值业务量 10% 以下的时间段超过总时间的 40%,在整个时间轴上,MBB 业务总的频谱利用率一般不超过 30%^[2]。以上分析表明:现有 MBB 网络在时间和频谱资源上都存在大量的空余资源,可以为其他网络或业务所使用,提高宝贵频谱资源的利用率。

2.2 M2M 业务特征

M2M 业务一般是机器与机器,或者机器与服务器之间的通信需求,与人的活动习惯解耦,不存在时间上的特别规律,总业务量在某个区域内也相对稳定。如图 2 所示,M2M 在时间上的总连接数变化情况表明,不管是在传统 MBB 业务的波峰还是波谷阶段,M2M 业务量均未出现相对于其他时间段的显著波动。

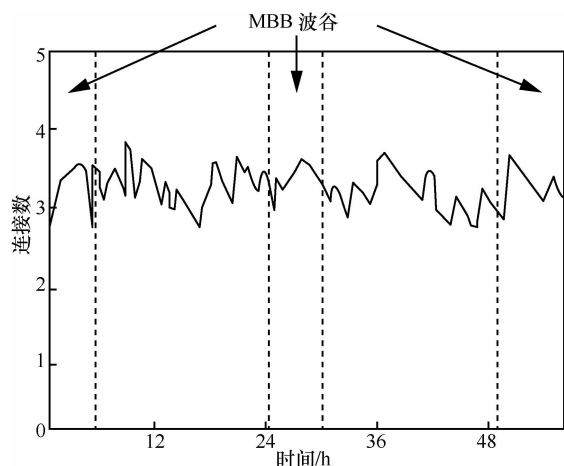


图2 M2M 业务时间分布特征

然而,由于 M2M 业务的特征,大部分 M2M 业务是时延不敏感的,拉长传输时延并不会影响 M2M 业务的业务质量。因此,如果将时延大量不敏感的业务推迟到 MBB 业务的波谷时间段进行传输,将可以大大降低其他时间段的 M2M 业务量。如图 3 所示,MBB 波谷时间段的 M2M 业务量大大提升,然而在共享频谱的过程中,此时 MBB 空闲出大量的频谱,可以供 M2M 业务使用,并且由于该时间段的 MBB 用户量极少,M2M 对频谱的使用不会显著影响 MBB 业务的服务质量。而在 MBB 非波谷时段,经过业务时间上的压缩,仅少量 M2M 业务量需要少量的频谱,此时对 MBB 业务的影响也较小。

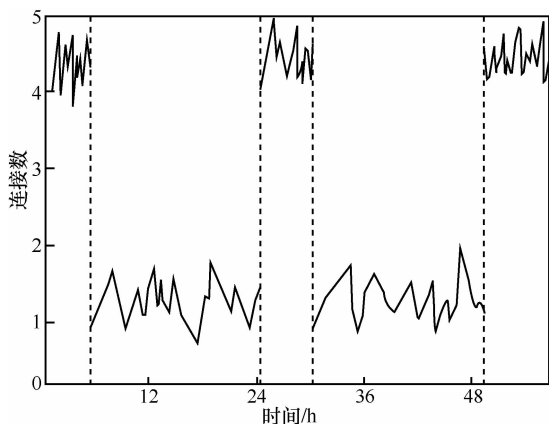


图3 改进后的 M2M 业务时间分布特征

为了使得 M2M 业务在时间轴上适配 MBB 业务的波峰波谷特性,需要改进 M2M 连接建立过程,在 M2M 终端发起业务连接的过程中,在初始随机接入(RACH 接入)或者初始无线链路建立(RRC 连接建立)的消息中,携带信元指示本次传输需求是否为时延敏感业务,或者在该信元中指示时延需求,如天、小时或者分钟等高中低级别,网络可

以据此决策是否接受该 RRC 建立请求,从而可以将 M2M 业务在时间上分开。

3 窄带 M2M 系统与 MBB 系统共享频谱方案

3.1 现有 MBB 网络 LTE 的载波组成

现有 3GPP 的 LTE 制式系统带宽有固定的 1.4 MHz、3 MHz、5 MHz、10 MHz、15 MHz 和 20 MHz,其取固定的值,主要是考虑终端的成本,终端仅需实现几种有限的滤波器格式就可以了。在每一个系统带宽下,为了避免 LTE 系统对邻频系统的带外干扰,LTE 系统的有效子载波必须集中在载波的中心,而两端空余出固定的 5% 系统带宽大小的保护间隔,如图 4 所示。

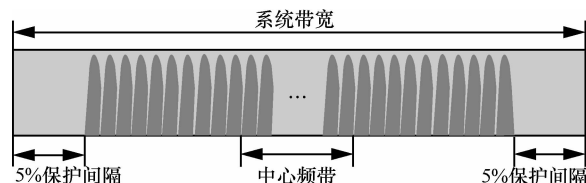


图4 LTE 系统带宽和子载波组成

10% 的保护间隔是比较大的系统开销,而 LTE 网络虽然频谱效率相比于传统制式有较大的提升,但最为诟病的也是系统开销过高。LTE 制式有十余种公共信道、导频信道等用于一种系统可以支持丰富多彩的业务类型和多种传输模式,如 MIMO 模式等。

3.2 现有 LTE 网络的 M2M 业务改造

决定 M2M 业务成功的最重要的几个约束条件如下所示。

- 终端的成本,终端成本需要极低,才有利于 M2M 业务的迅速普及,因此传统网络中手机这么复杂的设备是无法用于 M2M 终端的。
- 终端的节能,很多 M2M 终端部署在偏僻、环境恶劣等各种场合,非常不利于维护如更换电池,因此很多 M2M 终端需要支持 10 年以上的的电池续航,对 M2M 终端的节电提出了重要要求。
- 覆盖性能,由于 M2M 设备很多分布在偏远山区、矿场、远洋岛礁等场景,很难部署密集的基站,因此很多 M2M 业务要求覆盖性能比传统 M2M 业务覆盖扩展 20 dB 以上。

基于以上业务场景假设,LTE 制式在 3GPP 的第 13 版本(R13)提出对 eMTC(evolved machine type communication,演进的机器型通信)的支持,为了满足上述 3 个场景要求,LTE 制



式的 eMTC 改造主要采用以下措施来实现。

- 为了降低终端成本 (对比的基线为 GSM 模块的成本价格), LTE eMTC 终端仅支持窄带传输, 固定为 6 个 PRB (physical resource block, 物理资源块), 即 $6 \times 180 = 1.08$ MHz, 极大地降低了终端成本。
- 为了节能, LTE 的 eMTC 业务仅支持小组的传输, 一般约束为 1 000 byte 以下, 并且在空口设计的时候考虑了多种节能的措施。
- 为了提升覆盖性能, LTE 在讨论 eMTC 支持的时候, 最大的精力都是在考虑如何在不提高终端成本的情况下, 提升覆盖性能, 目前主要是通过大量的重复发送 (几十到几百次重复) 以及在重复的前提下, 考虑跳频、跨子帧信道估计以及导频密度加密等多种措施。

然而, 由于 LTE 系统天然的是宽带系统, 在一开始设计的时候主要用于支持高速率的 MBB 业务, 现在由于 M2M 业务截然不同的 QoS 要求, 导致 LTE 系统的 M2M 改造非常难以实现。并且按目前的实现方式, 仍然很难达到预设的指标, 如终端成本和节能效果仍然无法跟传统 GSM 相比。

3.3 本文创新的 M2M 系统及与 LTE 系统共存的机制

考虑到现有 LTE 系统各带宽场景下, 都有 10% 的保护间隔带宽, 并且在绝大部分时间, LTE 系统都有大量的 License 频谱未被使用, 如果将 M2M 系统的窄带部署到 LTE 系统带宽内, 无疑可以充分使用空闲的宝贵频谱资源, 并且能够充分利用 GSM 窄带特有的覆盖好、终端成本低等天然特性。

鉴于此, 本文提出 M2M 系统与 LTE 系统共存的机制, 将窄带 M2M 的窄带载波部署在 LTE 系统带宽内, M2M 载波采用固定的 200 kHz 的 GSM 载波, 或改造的 GSM 载波 (如波形特征采用更顽健的形式), 对于 M2M 的终端来讲, 固定的 200 kHz 的系统带宽, 极大降低了终端复杂度, 并且现有 GSM 的模块可以直接用于该系统, 有利于 M2M 业务的快速部署实现, 如图 5 所示。

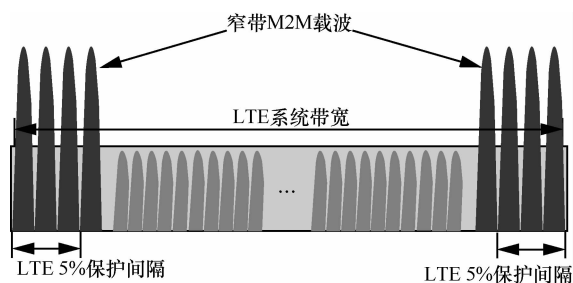


图5 M2M系统与LTE系统共享频谱的制式

对于这种部署方式, 最直接的需要解决的问题是 M2M 载波与 LTE 系统带宽内的 LTE 子载波之间的干扰问题。该干扰问题主要体现在如下:

- M2M 载波对 LTE 子载波的上行干扰;
- LTE 载波对 M2M 子载波的上行干扰;
- M2M 载波对 LTE 子载波的下行干扰;
- LTE 子载波对 M2M 载波的下行干扰。

而上述干扰问题, 直接体现到系统性能上, 就是对频谱效率的影响。考虑到该频谱共享的方式, 极大地提升了频谱的利用率, 只要共存下系统频谱效率的损失小于频谱利用率提升带来的增益, 则是具有现实可行性的方案。本文将重点仿真评估上述干扰的影响大小。特别是, 由于 M2M 系统是主动占用其他系统的频谱, 其自身的性能可以允许有一些下降, 而 LTE 系统在存在较强的外系统带内干扰时, 其性能是重点需要考虑的方面; 本文在这一阶段率先考虑 LTE 系统在共享频谱时的性能, 而 M2M 系统的性能, 则在后续阶段考虑。

4 仿真评估与结果分析

在本文的仿真假设中, M2M 系统采用 GSM 波形, 即每 200 kHz 带宽为一个载波, 每个载波的发射功率为 20 W (即 43 dBm), 在仿真评估 LTE 系统受影响后的系统性能之前, 首先通过理论计算, 当 LTE 的带宽内存在一个 GSM 载波时, 相邻的 LTE 子载波上存在的相应干扰强度的大小, 结果如图 6 所示, 在 #0 PRB 上放置 GSM 信号, 在 200 kHz 外的子载波上, 该信号下降 30 dB 左右, 以此类推的每个子载波上该信号的下降如图 6 所示。

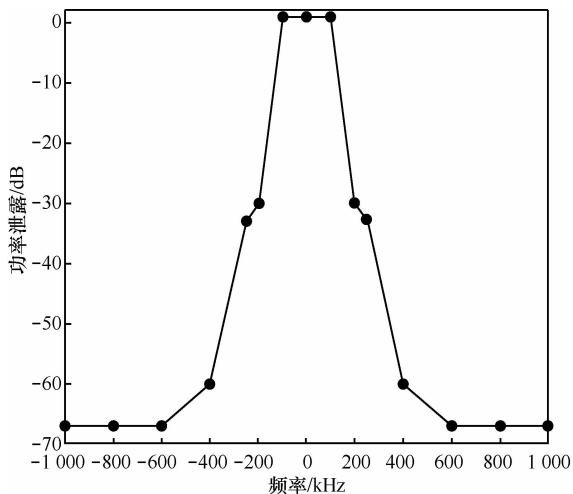


图6 GSM载波对带宽内LTE的干扰强度

4.1 仿真网络拓扑和仿真假设

在该仿真中,M2M 系统与 LTE 系统采用 1:1 共站方式共存,在 4×4 的 LTE 部署基站方式下,使用 Wrap-around 方式部署 16 个三扇区的基站,同比比例的 M2M 系统共站部署,如图 7 所示。即在每一个 LTE 小区的系统带宽内,都可能会存在以 GSM 波形传输的 M2M 信号,因此,评估两种信号相互影响对系统频谱效率等指标的影响,是本文重点需要达成的目标,以便于为系统设计时考虑部署的可能性以及部署的约束条件等,提供指导意义。

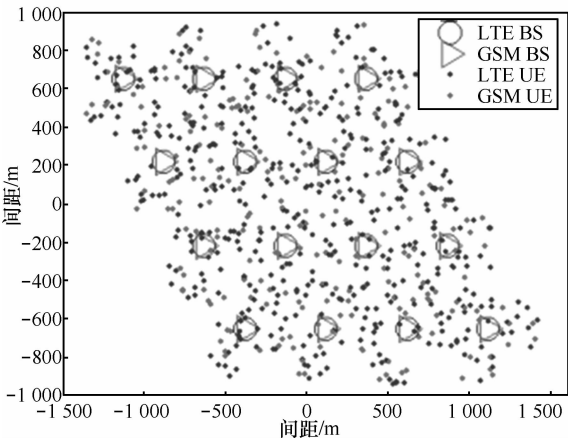


图 7 仿真网络拓扑

仿真研究中所使用的其他配置和仿真假设见表 1。

表 1 仿真假设

特征	实现
系统频点	1 800 MHz
系统带宽	LTE: 5 MHz FDD GSM: 5 MHz FDD
站间距	500 m
基站功率	LTE 小区: 43 dBm/5 MHz M2M 小区: 43 dBm/200 MHz
UE 发射功率	LTE UE: 24 dBm M2M UE: 33 dBm(采用 GSM 模块)
传播模型	基站到 UE (LTE 与 M2M 相同): $L=123.3+37.6 \lg R$, R 单位为 km 参考文献[7]中表格 A.2.1.1-3
天线模型	LTE 与 M2M 共享天线 3D 天线模型 参考文献[8]中表 A.2.1.1.2-2
信道模型	6 paths 的 TU (典型城区)信道
阴影模型	Log-normal 阴影模型(LTE 与 M2M 相同): 均值=0 dB,方差=8 dB
物理层模型	EESM 模型, HARQ 合并 LTE eNB: 2×2 IRC 接收机

注:本次仿真基于 FDD 平台,LTE TDD 系统的波形多值方式与 LTE FDD 系统是完全一样的,受 GSM 干扰泄露影响程度也就是一样的,在 TDD 系统下的也可采用类似的评估方法。

4.2 M2M 业务对 LTE 频谱效率的影响

假设在 LTE 系统带宽中部署 M2M 业务后,对 LTE 的现有设备不做任何改动,LTE 仍然按照原来的方式使用频谱,只是其中部分频谱上存在 M2M 业务的干扰,研究 LTE 受影响的大小。其中 M2M 使用频谱的方式按照如下约束。

- 按 GSM 3×4 复用的方式使用整个 5 MHz 的频谱,也即每个小区相邻两个 M2M 业务窄带信道之间间隔 11 个 200 kHz 的载波。
- M2M 按一定规则适用每一个载波上的资源,每个小区都按最靠近一端的载波上尽可能多的使用完频域资源,一个载波的时频资源完全使用后再使用相邻的第二个载波的资源,从而对 LTE 的干扰影响尽量集中。

为了更全面地观察 M2M 业务对 LTE 现有系统的影响,设置不同的 M2M 业务负载,分别设置 M2M 业务负载为:25%、50%、75%,观察 LTE 系统的频谱效率下降情况。事实上大于 25% 的负载已经是很激进的配置。

如图 8 所示,随着 M2M 业务负载的增加,LTE 用户的吞吐率分布显著下降,这是由于 M2M 业务对 LTE 系统带宽内的频谱造成了干扰,导致 LTE 用户的频谱效率下降。但从图 9 的 LTE 系统容量下降来看,在 M2M 业务负载在 75% 的时候,LTE 仍然有 30% 的系统容量剩余;而在 M2M 业务负载较小,如 25% 的时候,LTE 更是有接近 75% 的系统容量剩余。这是因为,M2M 是以频率复用的形式占用频谱,在 100% 负载的时候,每个小区仍然只是占用 1/12 的频谱资源,LTE 并非所有频谱都被干扰。

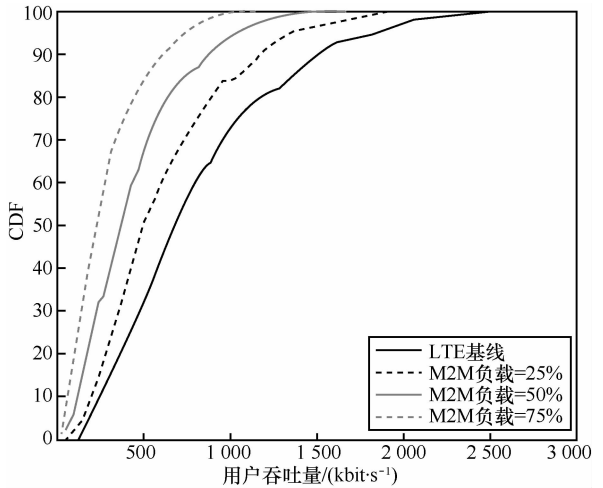


图 8 不同 M2M 负载下 LTE 的用户吞吐率

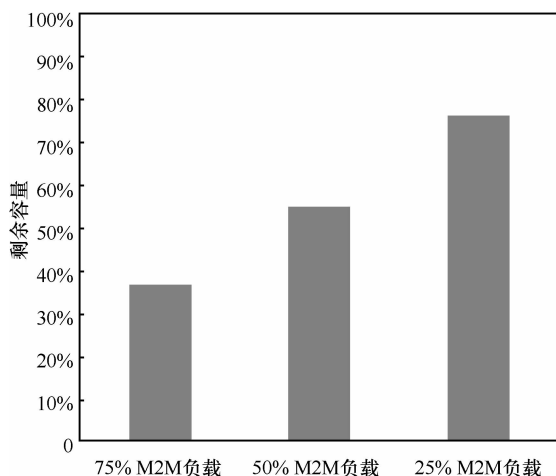


图9 不同M2M负载下LTE的剩余容量

尽管如此,仿真结果表明,M2M业务的存在对LTE系统是有干扰导致的容量下降的,并且负载越高,对LTE的干扰越大,LTE的容量下降越大。但同时也可以看出,在M2M系统处在较小负载下,LTE仍然能够提供足够的容量,受异系统干扰的影响较小。

4.3 增强的系统内干扰协调优化方法

在第4.2节中评估的场景是LTE完全不对存在的M2M业务做任何适配的动作,即全盘接受M2M对LTE的干扰。虽然证明LTE的系统容量下降在可接受的范围内,但是仍然存在进一步优化的空间。

M2M系统部署在LTE的系统带宽内,并且很可能是来自同一个运营商,并且两个系统部署在相同的站点,甚至相同的机柜,两个系统的资源使用信息是可以完全共享的。那么,当LTE系统完全实时知道M2M系统的资源使用情况,也即可能会产生的干扰情况下,通过异系统的干扰协调,应该可以降低M2M干扰对LTE的影响。本节进一步评估M2M和LTE通过干扰的协调,降低对LTE的干扰影响的结果。

在增强方案中,考虑两种增强方案。

- 在M2M侧,为每一个M2M窄带载波增强滤波效果,使得M2M干扰对外泄露量降低。
- LTE预先获知M2M业务所使用的时频资源,在调度时主动避开受损物理资源。

从图10的LTE用户吞吐量累积概率分布曲线可以看出,当采用M2M短约束干扰泄露的方法,并不能有效降低对LTE的干扰影响,原因在于LTE在带宽内进行FFT变换时始终会导入M2M的干扰,而不管该干扰在子带内的泄露如何;而采用异系统干扰协调的方法时,可以有效地

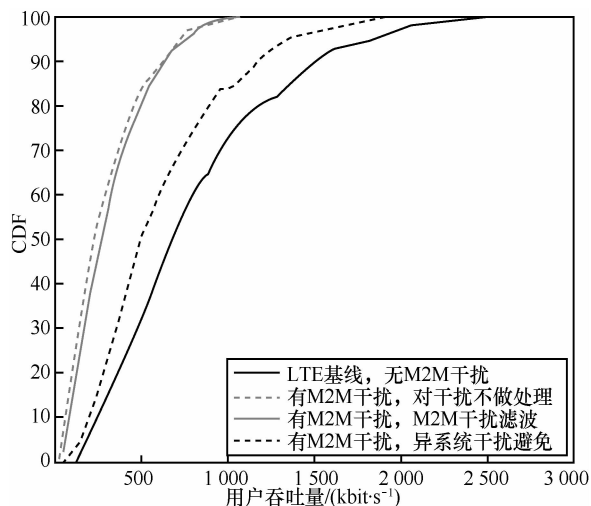


图10 增强的干扰协调对LTE频谱效率的增益

提升LTE用户的吞吐率,从而显著降低M2M业务对LTE系统的影响。

5 结束语

从本文的研究结果可以发现,当采用M2M系统和LTE系统带内共存、共享频谱时,虽然M2M业务的存在会显著影响LTE系统的频谱效率,但当M2M业务负载较低时,对LTE系统的影响在可接受的范围内;进一步的,当M2M系统和LTE系统共站部署,通过站内的系统间干扰协调方式,可以显著降低对LTE系统的频谱效率影响。考虑到LTE小区大部分都是在较低的负载工作,并且M2M业务和MBB业务的错峰现象明显,LTE完全可以容纳M2M业务频谱共享需求。

另外,虽然M2M业务窄带功率谱相比LTE功率谱高很多,M2M对LTE的影响是主要方面,但进一步评估LTE业务的存在对M2M的覆盖和容量的影响,同样是有重要意义的,这部分内容是本文后续的主要工作。

参考文献

- 徐少毅,秦新涛. 基于LTE的窄带M2M通信系统覆盖增强研究. 北京交通大学学报, 2015,39(2):86~92
Xu S Y Qin X T. Research on coverage enhancement of narrow-band M2M communications based on LTE. Journal of Beijing Jiaotong University, 2015,39(2):86~92
- 王艺. LTE演进背景下的M2M通信适配技术. 电信科学, 2014(11): 44~49
Wang Y. M2M communication technology development under the background of LTE evolution. Telecommunications Science,

2014,30(11) : 44~49

- 3 杨柳,范平志,郝莉. LTE 系统中事件驱动 M2M 业务的流量控制随机接入协议. 通信学报, 2014 (12) :53~61
Yang L, Fan P Z, Hao L. Flow control random access protocol for event-driven machine-to-machine traffics in LTE network. Journal on Communications, 2014 (12) :53~61
- 4 ITU. Working Document Towards a Handbook on Global Trends in IMT, 2014
- 5 Zhou G H, Deng T L, Yang L. A dynamic spectrum re-allocation scheme in GSM and LTE co-existed networks. Proceedings of 2014 International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), Sydney, Australia, 2014
- 6 3GPP TS 36.300. E-UTRA and E-UTRAN; Overall Description; Stage 2 (Release 9), 2010
- 7 3GPP TR 25.814. Physical Layer Aspects for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) (Release 9), 2006
- 8 3GPP TR 36.814. Further Advancements for E-UTRA Physical

Layer Aspects (Release 9), 2011

[作者简介]



陈国平,男,南京信息职业技术学院讲师、工程师,中兴通讯学院兼职高级培训师,主要研究方向为移动通信、通信与信息系统。



杜庆波,男,南京信息职业技术学院教授,主要研究方向为移动通信技术、网络通信。