

专题: 3G 及其演进

未来移动通信系统中的小区间干扰协调技术

陈 斌, 胡宏林, 张小东, 卜智勇

(上海无线通信研究中心 上海 200050)

摘要

在未来移动通信系统中, 小区间干扰成了主要干扰源, 因此小区间干扰减少技术已成为人们的研究重点。本文结合 3GPP 相关提案, 从静态和半静态两方面, 对小区间干扰减少技术中的主流技术——小区间干扰协调技术进行了综述, 并对该技术的未来研究方向进行了一些探讨。

1 前言

随着移动数据业务的不断增长, 用户对移动通信系统的速率要求越来越高, 而当前第三代移动通信(3G)系统实际所提供的最高速率也只有 384 kbit/s (虽然标称最高速率为 2 Mbit/s), 不能满足用户的实际需求, 因此在 3G 系统还没有大规模投入

商用的情况下, 许多国家、国际组织(3GPP、3GPP2、IPv6 论坛等)和移动通信设备厂商已经在进行下一代移动通信系统的研究和开发工作。其中较为典型的是 3GPP 启动的长期演进(LTE)项目和 3GPP2 的无线接口演进(AIE)项目。

要达到未来移动通信系统要求的高速率(下行达到 100 Mbit/s, 上行达到 50 Mbit/s)^[1], 系统内用户的信干噪比必须

本文详细介绍了 B3G 频谱需求分析流程, 从业务类型、业务环境、无线接入技术组的定义到市场采集数据的分析、业务量的分

配、系统容量的计算和频谱的调整与合并, 并对容量计算中电路数据业务资源占用度量方法进行了研究。

Analysis of Spectrum Requirements for B3G Systems

Wan Peng, He Feng, Wu Lifeng

(China Academy of Telecom Research, MII, Beijing 100037, China)

Abstract B3G networks will be more complex and will provide more diverse services than the current 3G systems. These also induce higher requirements to the analysis and estimation of spectrum requirements for B3G systems. ITU-R WP8F is developing a methodology for the analysis of spectrum requirements for B3G systems. This paper introduces the general procedures of B3G spectrum requirement analysis in details, especially the algorithms for system capacity requirement calculation. This paper also studies and compares three different methods to measure the resources used by each circuit switched service, which is to be determined in spectrum requirements analysis.

Key words spectrum requirement, B3G, service category, service environment, radio environment, system capacity

(收稿日期: 2006-05-25)

得到极大的提高,而提高信干噪比不外乎提高信号功率和降低干扰两种方法。虽然系统采用了自适应编码调制(AMC)、多入多出(MIMO)等许多新技术提高了信号功率,带来了信干噪比的提升,但离要求还有较大差距。因此,尽量减少干扰就成了未来移动通信系统的一个研究关键点。

在未来移动通信系统中,普遍采用 OFDMA、SC-FDMA 等多址接入技术和调度技术,这些技术都能确保小区内用户之间的正交性,从而有效地避免了小区内干扰^[2]。因此,小区间干扰就成了未来移动通信系统中的主要干扰源。

国内外研究人员投入了极大的精力,提出了很多种小区间干扰减小方法^[3-10]。到目前为止,这些技术主要可分三类:干扰随机化、干扰取消和干扰协调^[2]。干扰随机化是指通过随机化干扰信号来进行干扰压制的一类技术^[10]。干扰随机化只是白化了干扰,并没有真正减少系统的干扰信号,因此带来的信噪比改善程度有限,研究结果表明,单独应用干扰随机化技术不能满足未来移动通信系统的信噪比要求^[10]。干扰取消技术是通过在用户端利用处理增益来进行干扰压制的一类技术^[11]。干扰取消技术复杂度高、应用条件严格,而且只能消除一些强干扰源,而实际系统中干扰主要是由很多小的干扰叠加在一起产生的,因此这项技术在实际应用中效果有限。干扰协调技术则是通过在小区间合理分配资源,尽量使相邻小区间所用资源正交,从而使小区间的干扰减少。由于这种技术使用灵活,实现简单、效果理想(小区边缘用户吞吐量提高 2~3 倍),很快成为小区间干扰减少的主流技术^[3-10]。

根据资源分配方法的不同,小区间干扰协调技术可分为静态协调、半静态协调和全动态协调三种。各个小区所用的无线资源完全按事先分配的方案使用,则为静态协调;可根据不同情况有部分变动,则为半静态协调;根本没有预先分配方案,则为全动态协调。由于信令开销太大,全动态协调一般只限于学术研究^[12,13],实际系统中通常只考虑静态协调和半静态协调。静态协调主要优点是信令开销小,缺点是不够灵活。半静态协调则能根据负载的变化,在预分配方案上进行调整,使系统优化。研究表明与常规的静态协调方法(1/3 复用)相比,其能带来 10%~50%的小区边缘吞吐量增益^[10]。

小区间干扰协调技术可分配的无线资源包括时间和频率两种资源,由于小区间同步不能严格保证,所以未来移动通信系统的小区间干扰协调技术主要指频率的协调^[2]。

2 小区间干扰协调技术

由于国内外研究人员都充分意识到国际标准的重要性,所以相关的重要研究成果都在 3GPP 等组织的提案中得到体现。下面主要结合 3GPP 的有关提案对未来移动通信系统中的小区

间干扰协调技术进行简单综述。

2.1 静态协调

在众多的协调方案中,Ericsson 和华为公司在 3GPP 的相关提案中提出的方案比较经典。其他不论是静态协调方案还是半静态协调方案,大多都是在其之上进行一定的改进得来。

(1) Ericsson 和华为的方案

由于小区间干扰对小区边缘用户影响最大,所以小区边缘用户所用的频率必须精心规划。Ericsson 和华为公司提出一种软频率复用(soft frequency reuse)方案^[3,4],具体方案详见图 1 (Ericsson 和华为公司的方案主要思想是一致的,只在一些频率组的名称和小区边缘与内部用户的区分上有些不同,所以在此一并考虑)。每个小区边缘用户(图 1 中斜线部分)只能用整个可用频段的一部分,且邻近小区间相互正交,以消除主要干扰。由于路损较大,所以小区边缘用户以全功率发送。为了提高频谱利用率,小区内部用户可使用整个频段。为了减少对邻近小区的干扰,小区内部用户降功率使用。由于其路损小,所以降低功率并不影响其正常工作。需特别指出的是,正是由于在未来移动通信系统中调度技术的运用,使得小区内部可用整个频段,而不产生小区内干扰,这是与第一代和第二代通信系统在频率资源规划上的最大不同。

该方案简单明了,信令开销小,效果较好,所以通常作为其他方案的基础。但该方案有两个明显的缺点。一是小区边缘频率利用率不高,通常只有 1/3 可用。二是不能随负载情况的变化而变化,使得系统不是最优。

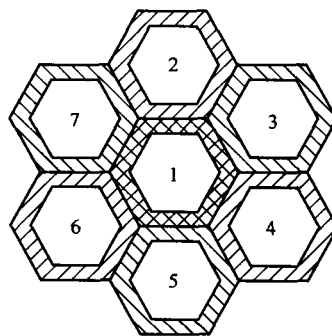


图 1 Ericsson 和华为公司的方案

(2) 阿尔卡特方案

为了进一步提高频谱利用率,特别是小区边缘的利用率,阿尔卡特公司提出了自己的方案^[5,17],详见图 2。将整个可用频段分为 7 组或者 9 组。每个小区内部可使用全部频率,但有一组频率为限制使用频率,原则上不用。如用户数多,必须要用,则必须降功率使用,如图 2 中的中心小区的 $\bar{1}$ 。邻近小区边缘则分配该组频率,全功率使用。

该方案的核心是对小区边缘进行了细分,这使得在确保小

区间干扰减少的前提下,小区边缘可用频率大为提高(从 $1/3$ 提高到 $6/7$),但由此也带来了用户对位置判定较为敏感的缺点,如图 2 中中心小区处在频率组 5 的边缘用户如错判为 4,则将带来较大的干扰。

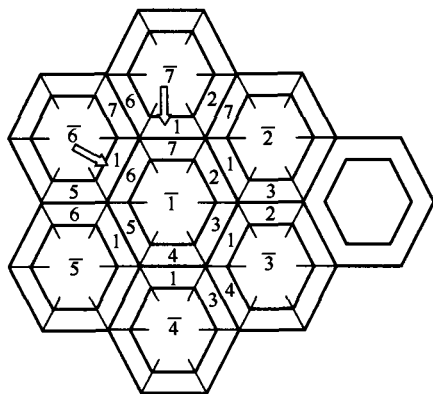


图 2 阿尔卡特方案

2.2 半静态协调

由于在实际系统中,小区内部和小区边缘用户分布和各个小区间负载分布是变化的,所以静态分配这种固定分配方式将给系统性能带来损失。因此,很多公司和研究组织将研究重点放在半静态分配(semi-static coordination)方案上。如现在 3GPP 的相关提案中,半静态分配方案占了绝大多数。因篇幅有限,本文主要介绍几个较为典型的方案。

(1) Siemens 方案

为了解决小区内部与边缘用户负载变化时,Ericsson 和华为方案不够优化的问题,Siemens 提出了一个半静态协调方案^[9],具体如图 3 所示。该方案将整个可用频段分为 N 个子带,其中 X 个子带用于小区边缘, $N-3X$ 用于小区内部。其中 X 个子带像 Ericsson 和华为方案那样,邻近小区间必须安排成正交,以消除干扰。这个 X 数目可根据小区边缘用户负载情况而变化。通过调整 X 大小,可实现不同的频率复用度。具体方案如图 3 所示,各小区内部使用相同的频率,而各小区边缘按 $1/3$ 复用使用

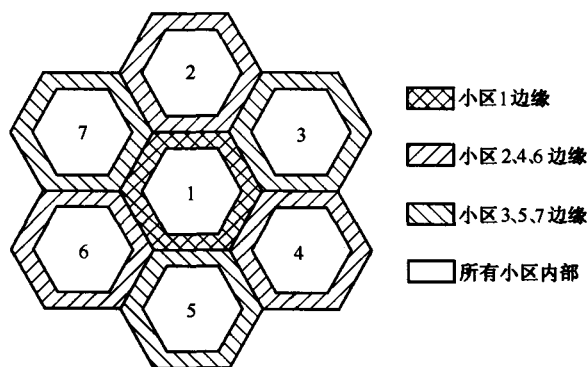


图 3 Siemens 方案

不同的频率。如各小区边缘需增加 1 组频率,相应的各小区内部可用子带数则减 3。

Siemens 方案的一大特点是所有用户等功率发送,基站的调度器根据用户反馈回来的 G 因子判别是小区内部还是边缘用户,这使得其实现起来较为容易。Ericsson 和华为方案的小区内部和边缘用户使用不同的功率,可用频率则不必正交,而该方案的小区内部和边缘用户则是使用相同的功率,但使用的频率则完全正交。与 Ericsson 和华为方案相比,该方案优点是比较灵活,对负载变化不敏感。缺点则是频谱利用率不高,特别是小区内部用户可用频率减少较多。

(2) Texas Instruments 方案

Siemens 方案考虑到了小区内部与边缘的负载变化问题,但对小区间的负载变化未予以考虑。Texas Instruments 公司在 Ericsson 和华为方案的基础上提出了一种小区间频率软复用的半静态协调方案^[9]。该方案小区内部还是可减功率使用全部频段,但小区边缘不再是固定的 $1/3$ 了,而是根据邻近小区间边缘负载的不同进行调整。当某个小区边缘用户较少时,其可用频率将少于 $1/3$,而同时其邻近的小区边缘负载较重时,则邻近小区的边缘可用频率将超过 $1/3$ 。如所有小区边缘用户负载都较重时,则各个小区边缘可用频率都为 $1/3$ 。

图 4 说明了这种小区间边缘所用频率软复用的过程,具体网络布局见图 1。假设在第一个时刻,小区 1 的边缘负载较重,而其邻近的 2、4、6 小区的边缘负载都较轻,3、5、7 小区的边缘负载一般,此时从图 4 可看出,3、5、7 小区边缘仍占用 $1/3$ 频段,2、4、6 小区则省下一部分频率给小区 1 的边缘用户使用,此时小区 1 的边缘用户占用频段超过 $1/3$ 。假设到了第 M 个时刻,小区 1 的边缘负载一般,而其邻近的 2、4、6 小区的边缘负载较重,3、5、7 小区的边缘负载都较轻,则根据该方案,第 1 个小区边缘分配原来的 $1/3$ 可用频段,而 3、5、7 小区则省下一部分频率给 2、4、6 小区边缘用户使用,此时 2、4、6 小区边缘用户可用频率超过原来的 $1/3$ 可用频率。需特别指出的是,当从其他小区借用边缘所用频率时,必须是邻近所有使用该频率的小区边缘都负载较轻才能借用。假设在图 4 中,第 M 个时刻,小区 3、5 的边缘负载都极轻,而小区 7 的边缘用户较多,此时就不能从 3、5、7 小

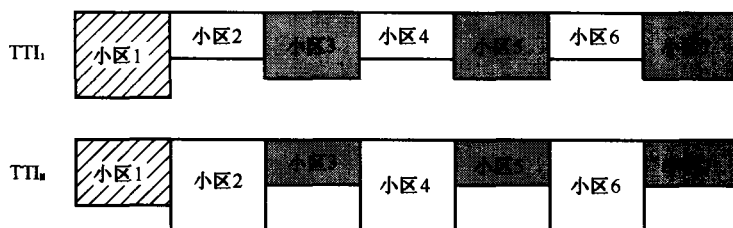


图 4 Texas Instruments 方案

区借用频率。

仿真结果表明^[10],与静态分配方案相比,该方案能提供10%~50%的边缘吞吐量增益。从仿真结果来看,该方案的性能在3GPP所有的相关提案中是最好的。存在问题主要是对小区间信令通信依赖较大,需产生额外的信令开销。另外,该方案还是在原先的网络架构上提出的,特点是存在RNC,多个小区由一个RNC统一管理。在此架构上实现该方案,信令开销增大程度有限,也容易管理。而根据最新的标准,未来移动通信系统中取消了RNC,小区间干扰协调在eNodeB进行,这样该方案的信令问题还需进一步研究。另外,该方案只是规定了小区间频率可以借,但借多少,借哪些并未考虑。

(3) 上海无线研究中心的方案

在Texas Instruments方案的基础上,上海无线研究中心引入了扇区化小区和借用优先级概念来进一步提高系统性能,具体方案如图5.6所示(原图采用不同颜色表示不同频谱,现图中直接用对应的颜色文字来表示)。在实际移动蜂窝系统中,扩展容量的最简单、最常用的方法是使用定向天线在小区中划分扇区。上海无线研究中心在每个扇区像Texas Instruments方案中小区那样,靠基站近的地方可用全部频段,扇区边缘频率需专门安排,使邻近小区间相互正交,以减少干扰。与Texas Instruments方案一样,随着小

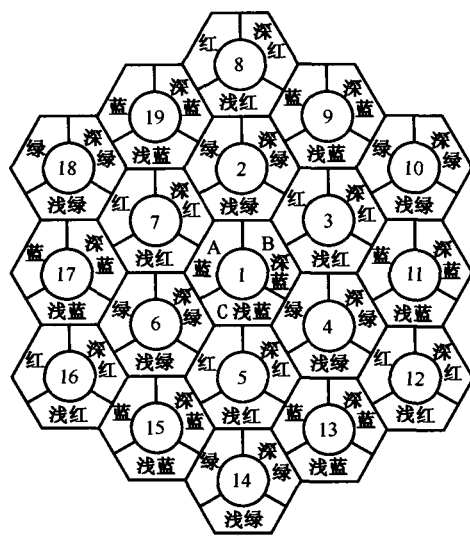


图5 上海无线中心方案

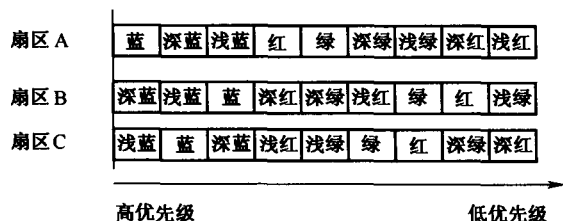


图6 小区1的频率使用优先级分配实例

区间负载的变化,小区边缘可从邻近的小区借取资源。为了解决Texas Instruments方案借哪些频率的问题,本方案规定了每个小区每个扇区使用各个频段的优先级。如图6所示,假设小区1的A扇区需从其他小区借用频率,则应优先使用深红的那段频率,如这段频率借不了,则按使用优先级借用其他频率。通过精心安排不同的优先级,使得尽量优先借用干扰小的频率,使小区间干扰尽量减少,最大程度上避免了借用时出现最坏干扰情况。

3 未来的研究方向

小区间干扰协调技术作为一个主流的小区间干扰减少技术,并不排斥与其他技术的合用。事实上,有不少知名研究组织和机构已经在积极研究小区间干扰协调技术与干扰随机化技术、干扰取消技术、功率控制技术和波束成形技术混合使用的问题,并取得了一些研究成果。如电信科学研究院(CATT)、华为公司和信息产业部电信传输研究所(RITT)联合提出的一个3GPP提案中提出了一种小区间干扰协调与小区间干扰取消相结合的方案^[11]。干扰取消只适合于消除一些强干扰源,所以单独使用效果并不理想。但如在干扰协调的基础上再引入干扰取消技术消除一些强干扰,必然能带来信噪比的较大提升。参考文献[19]方案将整个频段分为两大部分,一部分使用干扰协调,另一部分则使用干扰取消。干扰协调频率分配按前面介绍的华为方案^[4]进行,通常复用度小于1。而干扰取消频率则按复用度1进行分配。如果满足干扰取消条件,则优先使用干扰取消频段。干扰协调频段与干扰取消频段的分配比例可根据实际情况进行半静态调整。该方案只是简单地对两种方法进行合并,当干扰取消技术应用范围有限时,性价比较低。由于波束成形天线的使用,使得充分利用空间因素来压制干扰提升信噪比成为可能。CATT和RITT的研究结果^[20]表明波束成形技术很容易与干扰协调技术、干扰取消技术相结合,实现难度较小。参考文献[20]表明采用了波束成形技术不但减少了干扰,还提升了有用信号功率,这使得用户信噪比提升较大。该方案目前只是简单地将波束成形技术与其他技术叠加,这使得用户数增多时,混合使用效果与单独使用波束成形差不多。参考文献[21]仿真结果表明当一个小区用户数超过20个时,两者效果就相差较小了。这样还不如单独使用波束成形技术,混合使用增加了成本而带来的增益很小,使得系统性价比不高。总的来说,当前小区间干扰协调技术与干扰随机化技术、干扰取消技术、功率控制技术和波束成形技术混合使用研究还不够深入,都是一些简单组合,还需进一步研究各种方法的优缺点,争取找到最合适的混合使用方法。混合使用将带来更大的增益,但系统复杂度将提高,人们还需要在系统性能提高与系统复杂性之间取得一个合适的平衡。

另外,未来移动通信系统中用户QoS要求不同^[22],有的允许

一定的干扰存在,如何在充分考虑用户不同 QoS 要求情况下进行干扰协调将是一件值得考虑的事情。

最后,MIMO^[23]作为未来移动通信系统中一个关键技术,必将在未来系统中得到应用。而目前国内外对 MIMO 的研究大部分还停留在链路层,MIMO 条件下的多小区干扰减少技术研究还鲜有人问津,仍有较大的研究空间。

参考文献

- 1 3GPP TR 25.913 V7.1.0. Requirements for evolved UTRA and evolved UTRAN, June 2005
- 2 3GPP TR 25.814 V0.3.1 .Physical layer aspects for evolved UTRA, October 2005
- 3 3GPP R1-050764. Inter-cell interference handling for E-UTRA Ericsson, 3GPP TSG-RAN WG1 #42, London, UK, Aug/Sept 2005
- 4 3GPP R1-050507. Soft frequency reuse scheme for UTRAN LTE . Huawei, 3GPP RAN WG1 #41, Athens, Greece, May 2005
- 5 3GPP R1-050407. Interference coordination in new OFDM DL air interface. Alcatel, 3GPP RAN WG1 #41, Athens, Greece, May 2005
- 6 3GPP R1-050738. Interference mitigation - considerations and results on frequency reuse . Siemens, 3GPP RAN WG1 #42, London, UK, Aug/Sept 2005
- 7 3GPP R1-050833 .Interference mitigation in evolved UTRA/UTRAN . LG Electronics ,3GPP RAN WG1 #42, London, UK, Aug/Sept 2005
- 8 3GPP R1-051341 . Flexible fractional frequency reuse approach . Samsung, 3GPP RAN WG1 #43, Seoul, Korea, November 2005
- 9 3GPP R1-051059. Inter-cell interference mitigation for EUTRA . Texas Instruments ,3GPP RAN WG1 #42bis, San Diego, California, US, October 2005
- 10 3GPP R1-051312 . Performance of inter-cell interference mitigation with semi-static frequency planning for EUTRA downlink. Texas Instruments, 3GPP RAN WG1 #43, Seoul, Korea, November 2005
- 11 3GPP R1-051396. Comparison of bit repetition and symbol repetition for inter-cell interference mitigation . Panasonic, 3GPP RAN WG1 #43, Seoul, Korea, November 2005
- 12 Beckmann D, Killat U. A new strategy for the application of genetic algorithms to the channel assignment problem . IEEE Trans Veh Technol, 1999, 48(4)
- 13 Cheng M M L, Chuang J C I .Performance evaluation of distributed measurement-based dynamic channel assignment in local wireless systems . IEEE J Select Areas Commun, 1996(5)
- 14 3GPP R1-051137 . Further results on inter-cell interference mitigation based on IDMA. RITT, 3GPP RAN WG1 #42bis, San Diego, California, US, October 2005
- 15 3GPP R1-051085 . Resource allocation for interference mitigation with symbol repetition in E-UTRA downlink .ETRI, 3GPP RAN WG1 #42bis, San Diego, California, US, October 2005
- 16 3GPP R1-050808. Inter-cell interference management in practical. ETRI, 3GPP RAN WG1 #42, London, UK, Aug/Sept 2005
- 17 3GPP R1-050593 .Interference coordination for evolved UTRA uplink access .Alcatel, 3GPP RAN WG1 Ad Hoc on LTE, Sophia Antipolis, France, June 2005
- 18 3GPP R1-051051. Standard aspects of interference coordination for EUTRA. LG Electronics, 3GPP RAN WG1 #42bis, San Diego, California, US, October 2005
- 19 3GPP R1-060416. Combining inter-cell-interference co-ordination/avoidance with cancellation in downlink and TP . RITT, Huawei, CATT, 3GPP RAN WG1 #44, Denver, USA, Feb 2006
- 20 3GPP R1-060518. TP for combining beam-forming with other inter-cell interference mitigation approaches. CATT, RITT, 3GPP RAN WG1 #44, Denver, USA, Feb 2006
- 21 3GPP R1-060517. Further analysis of the performance of inter-cell interference mitigation with beam-forming. CATT, 3GPP RAN WG1 #44, Denver, USA, Feb 2006
- 22 3GPP TS 23.107. QoS concept and architecture, Dec 2003
- 23 3GPP R1-060822. Precoding and multiuser MIMO. Huawei, 3GPP RAN WG1 #44bis, Athens, Greece, March 2006

Inter-Cell Interference Coordination Techniques for Future Cellular Systems

Chen Bin, Hu Honglin, Zhang Xiaodong, Pu Zhiyong

(Shanghai Research Center for Wireless Communications, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract The main interference source is inter-cell interference in the future cellular systems with OFDM. The interference coordination approaches are mainstream in the proposals for inter-cell interference mitigation in 3GPP. In this paper, we first summarize the main interference coordination proposals from static and semi-static schemes. Then we discuss some future research topics of the inter-cell interference coordination.

Key words future cellular system, inter-cell interference, interference coordination

(收稿日期:2006-05-17)