

广义蜂窝网络结构及切换模式-群小区及群切换

陶小峰,戴佐俊,唐超,倪莉,张平

(北京邮电大学 92# 无线新技术研究室,北京 100876)

摘要: 当前研制开发新一代移动通信系统已经被提上议事日程,如超三代(Beyond 3G)或被称之为第四代移动通信系统(4G)概念的提出及相关技术的研究现已成为国际性的研究热点.多输入多输出(MIMO)系统由于在增加频谱效率、提高通信质量上的巨大潜力及其组织结构的灵活性,并且能为各种新技术的采用提供广阔的发展空间,而成为未来移动通信系统设计中广被看好的架构.基于该架构,针对蜂窝组网结构在小区面积减小时会导致的频繁切换问题,本文提出一种全新的组网策略——群小区(group cell),以及基于该组网结构的新型切换策略——群切换(group handover).本文详细地介绍了群小区和群切换基本原理,并用较大的篇幅指出了它所面临的问题和研究方向.

关键词: 超三代;多输入多输出;蜂窝;切换;群小区;群切换

中图分类号: TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2004)12A-114-04

Generalized Cellular Network Infrastructure and Handover Mode- Group Cell and Group Handover

TAO Xiao-feng, DAI Zuo-jun, TANG Chao, NI Li, ZHANG Ping

(Wireless Technologies Innovation Lab, P. O. BOX 92, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Recently, a new generation mobile communication system, which is named B3G (Beyond 3G) or 4G, has been put into the schedule and become one of the hotspots of international research. On the other hand, Multi-Input-Multi-Output (MIMO) system is a very promising frame for B3G, not only for its high potential of increasing frequency efficiency, improving communication quality and possessing flexibility structure, but also for its capability of providing plenty of room for all kinds of new technologies. Based on this frame, a novel network constructing policy - Group Cell and its special handover method - Group Handover are put forward to combat the frequent handover problem in smaller cells. In this paper, the basic idea of the two concepts is explained in detail, and problems together with research directions in this area are investigated.

Key words: beyond 3G; multi-input multi-output (MIMO); cellular; handover; group cell; group handover

1 引言

自 1880 年马可尼建立第一个移动通信系统以来,移动通信系统一直在不断地变化与发展,其中最为引人瞩目的几个具有里程碑意义的事件是 1946 年 Bell 电话实验室在美国圣路易斯开通了第一个商用移动通信系统,1971 年 Bell 系统实验室^[1]提出蜂窝制小区的设计方案并验证了其可行性,1983 年 3 月全球第一个蜂窝制移动通信商用系统在美国芝加哥地区投入使用.蜂窝组网理论^[2~4]的提出突破了点对点传输和广播覆盖模式,将一个移动通信服务区划分为许多蜂窝小区,实现了蜂窝小区覆盖、切换^[5~7]、小功率发射和频率复用,有效地解决了当时(20 世纪 80 年代)移动通信系统出现的频谱匮乏、容量不足、服务质量差及频谱利用率低等问题.但是,随着移动通信的迅猛发展,这些问题又重新显现出来,并且日益尖锐.未来无线通信将开发利用新的更高频段(如 5GHz 左右),在该频段下由于信号损耗的增加,蜂窝小区的面积会减小.小区面积的减小使得一定区域内将出现更多的小区,这不仅增加接入点的建设负担,更导致频繁切换的问题.频繁切换

会严重降低系统效率,造成资源的浪费,而且也会造成切换失败及通信质量的不稳定.

目前,在现有蜂窝网络结构的基础上,已经有人提出了一些改进措施.例如分布式天线系统^[8],微小区方法^[9],站点选择发送分集(SSDT)方法^[10],捆绑(bunched)系统^[11].

最初提出分布式天线是为了解决在建筑物内进行通信的问题,由于分布式天线系统通常用若干个工作在同一频段的天线覆盖整个建筑物^[12],因此,系统可认为是一个单小区系统,用户在仅一个小区内移动,很少涉及小区间切换的问题.对于在室外环境,尤其是在高速移动和会发生小区间切换的条件下使用分布式天线系统的研究较少.而作为 ITU 提案的 Bunched 系统也在这方面几乎没有突破,而微蜂窝^[9]的概念也只是通过功率分散化降低干扰,类似的容量提高可以通过简单的扇区化实现^[13].

文献[10]中提出的 SSDT 机制是一种适用于 CDMA 系统的容量提高方法,而且无须增加新的硬件设备,但由于网络结构的限制,在移动终端由一个站点进入另一个站点时仍然要

收稿日期:2002-08-02;修回日期:2004-11-18

基金项目:国家 863 重大项目(No. 2003AA12331004);国家自然科学基金(No. 60496312);北京市自然科学基金(No. 4042021);高校博士学科点基金(No. 20020013008)

进行切换.此外,如果站点选择信令发生接收错误,会造成干扰加重,导致无法正常进行切换,甚至造成掉话.

基于多天线系统构架,针对蜂窝组网结构在小区面积减小时会导致的频繁切换问题,本文作者提出一种全新的组网策略——群小区(group cell),以及基于该组网结构的新型切换策略——群切换(group handover).

文献[14]中,作者在研究MIMO、联合发送、分布式天线等多天线发送技术之后,提出了群小区、群切换的基本思想,并在文献[15]中做了初步整理.在同年的未来移动通信国际论坛暨中欧超三代会议上,广义蜂窝网络结构及切换模式——群小区及群切换引起了与会者的关注^[16,17].文献[18]分析了广义蜂窝结构下的群切换在高速公路环境下的性能,即路径损耗最大可获得3db的增益.文献[19]分析了广义蜂窝结构下的群切换在市区环境下的性能,即路径损耗最大可获得4.25db的增益.文献[20]为WWRF 9th(世界无线研究论坛第9次会议)提案.文献[21]分析了多接入点情况下的性能,研究表明多接入点的架构也能提高系统容量10%~30%.

本文第2节详述了广义蜂窝网络结构——群小区的原理,并给出了群小区定义及构造方式,分析了加权分布式天线群小区系统下信道容量.本文在第3节概述了多天线环境下广义小区切换方法-群切换,并且通过仿真结果表明,群切换方式能够降低下行等效路径损耗以及上行噪声恶化量(noise rise),提高系统容量.第4节结合当前863 Beyond 3G和自然基金重大项目的研究,提出了本领域研究的关键问题.第5节是本文的结论部分.

2 广义蜂窝网络结构 - 群小区

多输入多输出(MIMO)系统由于在增加频谱效率、提高通信质量上的巨大潜力及其组织结构的灵活性,并且能为各种新技术的采用提供广阔的发展空间,而成为未来移动通信系统设计中广泛被看好的架构.在设计MIMO系统时,接入点天线(如图1,或天线阵如图2)间隔较大(如:1000m)给未来无线网络提出了新的要求,另一方面,未来新型的无线通信网络也给MIMO技术提供了前所未有的发挥天地.

在多天线发送技术的基础上,群小区被定义为:在地理位

置相邻的多个小区(图1、2中天线或天线阵的覆盖面积)中,针对一个移动终端采用同一套通信资源(例如频率、时隙或码道)进行通信,而针对其它移动终端分别采用不同套的通信资源进行通信,从而采取这种通信方式的多个小区就构成了一个群小区.该群小区构造方法可以基于无线通信系统物理层的MIMO、联合发送技术、单频OFDMA或者分布式天线技术等多天线技术来实现.

群小区概念是能够应用在多发送天线系统中的一种全新的组网结构,与传统独立蜂窝小区的结构不同,实现了小区域覆盖向大区域覆盖的飞跃.在基于群小区结构提出的群切换策略下,移动终端在一个群小区内部的各个小区之间是不用切换的,从而避免了频繁切换,提高切换的性能和系统的稳定性,并且在整体上降低了接入点设计费用,具有较好的经济性.

在群小区系统中,每个接入点(类似于第二代移动通信系统的基站收发信机(BTS)和第三代移动通信系统的节点B(Node B),以下将接入点简称为AP)内部有一根或多根分离的天线(或天线阵),典型的天线(或天线阵)间距为十几米到几十公里.天线(或天线阵)和接入点之间可通过光纤、同轴电缆、微波链路等方式连接.信号处理功能由接入点完成.一个接入点可以看成具有多根天线(或天线阵)的基站.

参见图1,图中描述了一个典型的基于群小区架构的无线通信系统.一个接入点下设置 M_T 根天线(本例中为9根天线),即原来 M_T 个(图中用阴影标示)传统蜂窝小区覆盖的范围现在由一个接入点(图中标注为API)来覆盖.原来每个传统蜂窝小区中的基站现在用天线(图中用数字1~9标注)代替.在API中,天线1、2、3构成群小区1,天线4、5、6构成群小区2,群小区3由天线7、8、9构成.

群小区的构成可以有多种方式:可以是固定的,也可以是滑动的.固定群小区系统中,各个群小区所包含的天线是固定的;在滑动群小区系统中,群小区是对应于移动终端的,其具体包含的天线(或天线阵)是可变的,随着移动终端的特性(如位置、信道等)变化而改变.同时,每个群小区中的天线数目可以根据不同的需要(如信道数、服务质量等)来选择.

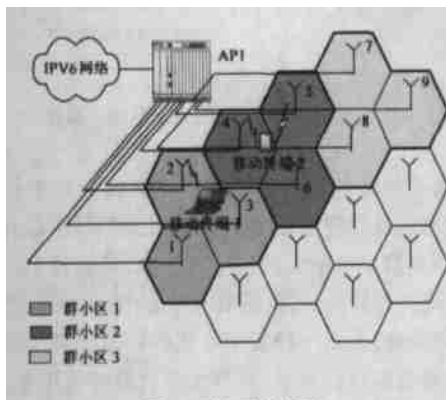


图1 群小区结构图

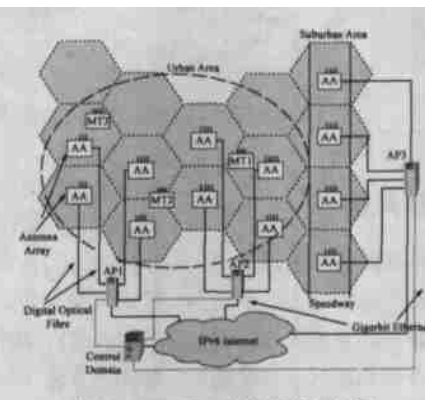


图2 863Future计划组网结构图

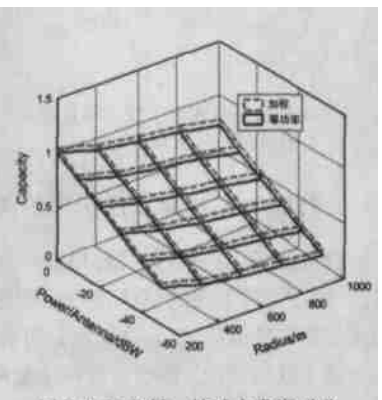


图3 加权发射、等功率发送时分布式天线系统群小区的平均信道容量

多天线环境下的广义蜂窝网络结构 - 群小区概念不仅可以应用到蜂窝系统,而且也可以应用到其他无线接入系统.群小区

的提出为诸如多输入多输出、联合发送、单频 OFDMA 和分布式天线等物理层技术的应用提供了一个新的平台。图 3、图 4 仿真了加权发送和等功率发送时分布式天线群小区系统平均信道容量式 (1) 及两种功率发送方式下分布式天线群小区系统平均系统容量的增益式 (2)。

$$C_{AVG} = \iint_S (x, y) B \log_2 \left(1 + \sum_{i=1}^{M_T} P_{t,i} G_i(x, y) / N_0 B \right) dx dy \quad (1)$$

其中 S 为群小区的覆盖部分, $p(x, y)$ 为移动终端出现在 (x, y) 处的概率, $P_{t,i}$ 为第 i 根天线的发射功率, $G_i(x, y)$ 为第 i 根天线到 (x, y) 处的路径增益, N_0 为功率谱密度, B 为信号带宽。

加权发射相对等功率发送的信道容量增益为

$$\text{Gain} = (C_{DTW} - C_{NDTW}) / C_{NDTW} \quad (2)$$

基于单频 OFDMA 的群小区系统可以被用于 863 B3G 的研究之中, 在 OFDMA 系统中, 由于各个小区可在相同的频段上划分出相同个数的子载波, 同时 OFDMA 具有极为灵活的子载波分配特性, 这非常便于构建群小区。当各个子载波和各根天线均匀分配功率时, 群小区 OFDM 系统的平均信道容量式 (3) 可以表示为, 参 [22]:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \log_2 \det \left[I_{M_R} + \frac{P_t}{N_0 B N} H(e^{j2\pi n/N}) H^H(e^{j2\pi n/N}) \right] \quad (3)$$

其中 P_t 为每天线发射功率, N 为子载波数, $H(e^{j2\pi n/N})$ 为路径增益矩阵和信道矩阵的函数, M_R 为移动终端天线数。

3 多天线环境下的广义小区越区切换方法 群切换

作为无线资源管理的重要关键技术之一, 切换一方面保

证了业务的连续性, 提高了 QoS, 也使得整个系统中的业务请求均匀化。但同时, 切换也给系统带来了更大的开销, 如何减小这些开销以及如何保证切换时以及切换后的服务质量成为切换研究中的重要课题。

仍借助图 1 再对群小区切换程序进行描述。群切换发生在移动终端 1 从群小区 1 向邻近的群小区 2 的转移过程中。假设移动终端 1 原来位于群小区 1 内, 和群小区 1 中的天线 1、2、3 进行通信。在群小区 1 的覆盖范围内移动时, 无须切换。当移动终端 1 跨过群小区 1 和群小区 2 的边界, 进入群小区 2 的覆盖范围时, 就需要进行群切换, 从与群小区 1 (由天线 1、2、3 构成) 的连接整个切换到和群小区 2 (由天线 4、5、6 构成) 的连接。和原来蜂窝移动通信系统中的切换方式类似, 在两个群小区之间可以进行硬切换或软切换。

如果将构造群小区的过程看作一个窗口滑动的过程, 那么这个窗口中的多个小区构成一个群小区。如时刻 1 可由天线 1、2、3 构成一个群小区, 随着移动终端的移动, 在时刻 2 天线 2、3、4 可构成另外一个群小区。移动终端从天线 1、2、3 构成的群小区滑动到天线 2、3、4 构成的群小区的过程被称为滑动切换。该窗口滑动的速度以及其大小、形状是可动态变化的。比如说, 可以根据移动终端速度的大小和方向变化。当移动终端速度比较快时, 滑动窗可以大一些以跟随移动终端的移动, 减少其切换。当然, 当移动终端运动方向产生变化时, 滑动窗的方向也要跟随其变化。不同的终端可能会对应不同的群小区结构。而且小区不再是固定的, 而是可动态滑动的。根据初步研究成果, 滑动切换可以降低下行等效路径损耗, 降低上行噪声恶化量 (noise rise), 提高系统容量至少 10% ~ 30%。

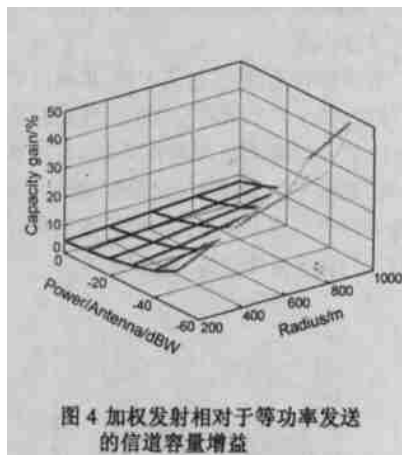


图 4 加权发射相对于等功率发送的信道容量增益

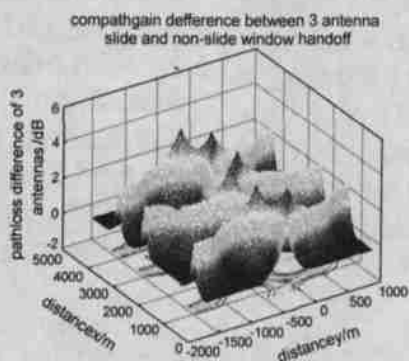


图 5 滑动切换时下行等效路径损耗的增益

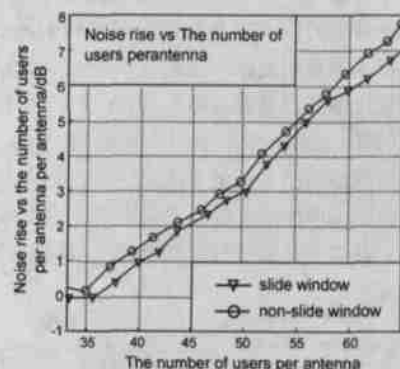


图 6 滑动切换带来上行噪声恶化量的降低

4 当前群小区及群切换研究的关键问题

(1) 提出适用于多天线环境的广义蜂窝网络构造理论与方法, 通过无所不在的“空间分集”实现系统传输性能数十倍乃至上百倍的提高, 充分降低发射功率, 解决高速率无线传输的电磁干扰问题; (2) 提出新型网络架构下的切换策略以及动态无线资源分配与管理策略, 解决由于小区尺寸变小以及用户数目增加带来的频繁切换网络负荷问题, 改善系统性能; (3) 在广义蜂窝网络架构下, 引入适合的无线资源管理策略, 分析各种无线资源管理方案对系统容量的影响, 从理论上分

析广义蜂窝网络的系统性能容限; (4) 在广义蜂窝网络架构下, 提出行之有效的信息处理与管理方法, 改进或创新现有的 MIMO 技术, 从而提高群小区系统的抗干扰能力, 降低各小区接入点的复杂度, 减少切换次数, 提高系统容量; (5) 联合考虑各种无线资源管理策略, 提出一种实用有效的资源预测与规划优化方法, 满足系统的设计要求, 提高无线资源的使用率, 为广义蜂窝网络的实用化打下坚实的理论基础。

5 小结

群小区的构造方法以及群小区切换方法不仅可以应用到

蜂窝系统,而且也可以应用到其他无线接入系统。群小区是一种移动通信组网策略,突破了传统蜂窝组网结构,实现了小区域覆盖向大区域覆盖的飞跃;基于群小区的群切换策略可以减少切换次数,提高切换性能和资源利用率;在多天线群小区结构下,一些主要应用于单个小区的关键技术,如空时码、联合发送等,实现了在多个小区上的联合应用,为这些未来无线通信可能的关键技术开辟了新的应用领域,为无线资源的联合优化和系统性能的提高提供了新的解决方案。

参考文献:

- [1] Bell Lab. High-Capacity Mobile Telephone System Technical Report [M]. USA:FCC,1971.
- [2] A. 麦罗拉. 蜂窝移动通信-模拟和数字系统[M]. 北京:人民邮电出版社,1997:1 - 21.
- [3] Harold Ware. The Competitive Potential of Cellular Mobile Telecommunications[J]. IEEE Communications Magazine ,1983 ,21 (8) :16 - 17.
- [4] G. 卡尔霍恩. 数字蜂窝移动通信[M]. 北京:人民邮电出版社,1997.
- [5] Daniel Wong ,Teng Joon Lim. Soft handoffs in CDMA mobile systems [J]. IEEE Personal Communications ,1997 ,4(6) :6 - 17.
- [6] Gregory P. Pollini. Trends in handover design[J]. IEEE Communication Magazine ,1996 ,34(4) :82 - 90.
- [7] 张传福,吴伟陵. 移动通信系统中的切换和切换算法[J]. 中国数据通信,2002 ,4(7) :23 - 28.
- [8] Adel A M Saleh ,A J Rustakl ,J R R S Roman. Distributed antennas for indoor radio communications [J]. IEEE Transactions on Communications ,1987 ,35(12) :1245 - 1251.
- [9] W C Y Lee. Smaller cells for greater performance[J]. IEEE Communications Magazine ,1991 ,29(11) :19 - 23.
- [10] Hiroshi Furukawa ,Kojiro Hamabe ,Akihisa Ushirokawa. SSDT-site selection diversity transmission powerControl for CDMA forward link[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications ,2000 ,18(8) :1546 - 1554.
- [11] Miguel Berg. A concept for hybrid random/dynamic radio resource management[J]. The Ninth IEEE International Symposium on Personal. Indoor and Mobile Radio Communications ,1998 ,1(1) :424 - 428.
- [12] Xia H H ,Herrera A B ,Kim S ,Rico F S. A CDMA-distributed antenna system for in-building personal communications services [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications ,May 1996 ,14(4) :644 - 650.
- [13] Klein S ,Gilhousen et al. On the capacity of cellular CDMA system[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology ,1991 ,40(2) :764 - 768.
- [14] 陶小峰. 先进移动通信关键技术研究[D]. 北京邮电大学博士研究生学位论文,2002.
- [15] Zhang Ping ,Tao Xiaofeng ,Shang Dan ,Ni Li. Group cell and group handover[R]. Beijing :Proceedings of the 9th Mainland-Taiwan Workshop on Wireless Communication ,2002.
- [16] Tao Xiaofeng. Wireless Communications Beyond 3G[R]. Beijing :The International Forum on Future Mobile Telecommunications & China-EU Post Conference on Beyond 3G,2002.
- [17] Zhang Ping. Probing studies on B3G Regarding network & cellular architecture [R]. Beijing :The International Forum on Future Mobile Telecommunications & China-EU Post Conference on Beyond 3G,2002.
- [18] Tao Xiaofeng ,Shang Dan ,Ni Li ,Zhang Ping. Group Cells and Slide Handover Mode [R]. China ,2003 ,ICCT 2003 ,Beijing ,9 - 11.
- [19] Tao Xiaofeng ,Ni Li ,Dai Zuojun ,Liu Baoling ,Zhang Ping. Intelligent Group Handover Mode in Multicell Infrastructure [R]. Beijing ,China ,PIMRC2003 ,2003. 7 - 10.
- [20] Tao Xiaofeng. Novel Cell Infrastructure and Handover Mode [R]. Zurich ,Switzerland ,The 9th WWRF Conference Contribution ,2003. 1 - 2.
- [21] Tao Xiaofeng ,Ni Li ,Dai Zuojun ,Liu Bao ling ,Zhang Ping. Intelligent Group Handover Mode in Multi-access Point Infrastructure [R]. Yokosuka ,Kanagawa Japan ,WPMC '03 ,2003. 19 - 22.
- [22] H Boleskei ,D Gesbert ,A J Paulraj. On the capacity of OFDM-based spatial multiplexing systems[J]. IEEE Transaction on Communications ,2002 ,50(2) :225 - 234.

作者简介:



陶小峰 男,1970年5月生于湖北黄冈,1993年毕业于西安交通大学电气工程系,获工学学士学位,分别于1999年、2002年在北京邮电大学电信工程学院获工学硕士学位、工学博士学位,主要从事多用户检测、空时码、广义蜂窝网络结构及切换模式的研究,发表论文30多篇,现为北京邮电大学副教授、中国科技部863未来移动通信 Future 计划 TDD 特别工作组组长。



戴佐俊 男,1981年1月生于江苏句容,2002年毕业于北京邮电大学电信工程学院,获工学学士学位,现为北京邮电大学通信与信息系统专业工学硕士研究生,主要从事群小区的研究。



唐超 女,1980年7月生于河北唐山,2003年毕业于北京邮电大学电信工程学院,获工学学士学位,现为北京邮电大学通信与信息系统专业工学硕士研究生,主要从事群小区的研究。