

混合激励功率传送型智能小区

陈霞, 谈振辉

(北方交通大学现代通信研究所, 北京 100044)

摘要: 提高蜂窝系统容量的关键和难点在于减小由频率复用产生的同频干扰. 本文提出了一种基于微小区域思想的混合激励功率传送型智能小区结构. 这种小区结构采用中心和边缘的七套天线把小区分为七个区域, 每个区域共享小区全部信道, 定位并尽力服务其范围内的移动台. 计算结果表明, 同频干扰大大减小, 容量增加了.

关键词: 同频干扰; 微小区域; 功率传送型智能小区

中图分类号: TN929.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 01-0005-04

Hybrid-Excited Power-Delivery Intelligent Cell

CHEN Xia, TAN Zhen-hui

(Modern Communication Institute, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The key and crux to improve capacity of a cellular system is to abate the Co-Channel Interference (CCI) derived from frequency reuse. In this paper, a hybrid-excited power delivery intelligent cell structure based on the idea of micro-cell zone is presented. With seven antennas, one at the center and six on the edge, a cell is divided into seven areas, each of which can locate and serve mobiles within its reach with signal as good as possible. All the seven areas share all the channels allocated to the cell. CCI is lessened conspicuously, and capacity increases.

Key words: co-channel interference (CCI); micro-cell; power-delivery intelligent cell

1 引言

个人通信是人类通信的最高目标,其主要特征是大规模覆盖和极大容量.蜂窝移动接入是个人通信的重要接入方式,它以多个低功率小区覆盖目标服务区,使有限的频率提供很高的容量.提高蜂窝系统容量的关键在于减少同频干扰(CCI).蜂窝通信的体制目前主要是TDMA、CDMA,在通信体制一定时提高容量的途径主要有两种,减小小区半径(小区分裂)或者改变小区结构^[1].前者的容量提高在理论上是惊人的,但由于实际环境中电波传播的随机性,小区愈小,无线覆盖设计困难愈大.后者保持小区大小不变,频率复用率不变,在内部重新分割小区,减小CCI,提高通信质量和系统容量.扇区化和近年提出的微小区域(micro-cell zone)方式^[2]都是改变小区结构提高容量的例子.

以有效地增加系统容量和改善业务传输性能为目的的智能小区是目前个人通信研究的热点之一.定义的智能小区有两种,功率传送型和处理增益型^[3].前者智能地检测终端位置,以限定功率传输信息,基本思路是以有效的传输减少干扰;后者是使信号与干扰共存而不被破坏,基本思路是在大量干扰存在的情况下正确接收有用信号.

无线覆盖设计是蜂窝系统设计的关键之一,是利用其它技术提高系统性能的基础,具有重要的意义.本文基于微小区域

采用多天线构成一种发射功率低、CCI小的小区结构,改善传输质量,提高系统容量.文章第二部分阐述这种混合激励功率传送型智能小区结构及其移动性管理的基本设想.第三部分用近似方法计算频分双工(FDD)条件下CCI改善情况并分析结果.最后给出解决该结构中时隙混叠的一种方法.

2 混合激励功率传送型智能小区

微小区域方案是用多个区域站(zone site)代替原先的基站,小区内所有区域站共享一套基带设备.当移动台在小区内运动时,由信号最强的区域站服务;移动台在小区内通信过程中跨越区域时信道不变.系统设计中往往用六边形表示小区,基站发射机天线可位于小区中心或小区的顶点上,称中心激励方式或边缘激励方式.后者需在至少3个地方安装天线,成本提高了,但小区边界更稳定.

2.1 小区结构和移交区域的定义

设想有图1所示的小区结构.这是FDD蜂窝系统的一个小区, A是位于小区中心的全向天线,称中心天线, B~G是位于各个顶点的120°扇区天线,称边缘天线.为简化计算,假定所有天线发射功率相同,即以A~G为圆心的圆和各扇形半径相等(半径以移动台接收灵敏度确定).设小区半径为R,各天线覆盖半径为r,为了完整地覆盖小区,各天线覆盖部分重叠,并且

$$r \geq \sqrt{3} R / 3 \quad (1)$$

图 1 的覆盖情况可分为三种:单层只为最近的天线覆盖;两层为两个相邻天线重叠覆盖;三层为中心天线和相邻两个边缘天线重叠覆盖。

以移动台接收电平大小为判决准则,将小区分为 6 个边缘区和 1 个中心区(如图 2),即连接图 1 中三层覆盖区域的中心和小区边的中点,所得的半径为 $\sqrt{3}R/3$ 的小六边形和六个全等五边形。因为各天线辐射功率相等,图中小区内各线段上的点接收到其两侧最近两/三个天线的功率相等。

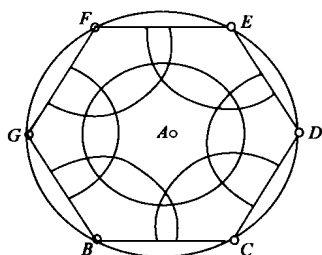


图 1 小区结构

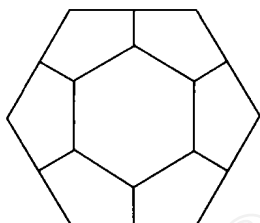


图 2 定义移交区

2.2 移动性管理

每个区域站发射功率恒定的导频信号,移动台在接入前先搜索导频信道,选信号质量最好者接入。通过程中跨越区域时,无须移动交换中心干预进行切换,而由基站把一个信道的收发任务从原天线移交给当前信号质量最好的天线。所以图 2 中的各区域可称为移交区。所谓“质量最好”,是指移动台在导频信道测得某个天线发射信号质量最好(并将其信息传给基站),或某个区域站直接测得的移动台信号最好。同微小区域一样,分配给该小区的全部信道在所有移交区之间动态共享共享,所以信道集群效率并未降低^[4]。

这种结构的基本思想是:基站根据(开环/闭环)功率检测确定移动台处于某个天线覆盖范围之内,由该天线以最短传播路径(或最佳通信质量)服务该移动台;由于发射功率降低和采用扇区天线,应有 CCI 减小,使得系统容量增加。由智能小区定义可见,该方案是功率传送型智能小区的一种实现。根据其天线布设位置的特点,称为混合激励的功率传送型智能小区结构。在下面计算中假设:FDD,导频信道无功率控制。因为是 FDD,移动台所受 CCI 只来自同频小区基站,与其它移动台无关;导频信道功率恒定,则移交区边界相对稳定。

3 计算同频干扰性能

3.1 同频干扰信号路径近似原则和计算公式

设同频小区中心之间距离为 H ,小区半径为 R ,移动台到其所在小区中心距离为 h 。考察各种区群结构并参照文献[5],采用如下近似原则。以通过被干扰小区中心,且垂直于该小区中心和移动台之间连线的直线为界(如图 3),移动台所受同频干扰信号传播路径可近似为:

- (1) 与被干扰点同侧同频小区边缘天线到被干扰点距离为 $H+R-h$,其中心天线到被干扰点距离为 $H-h$;
- (2) 与被干扰点异侧同频小区边缘天线到被干扰点距离为 $H+R+h$,其中心天线到被干扰点距离为 $H+h$;
- (3) 直线通过的小区中,与被干扰点异侧的边缘天线到被

干扰点距离为 $H+R+h$,而同侧的边缘天线到被干扰点距离为 $H+R-h$,其中心天线到被干扰点距离为 $\sqrt{H^2+h^2}$;

(4) 直线通过的边缘天线到被干扰点距离为 $\sqrt{(H+R)^2+h^2}$ 。

该原则的缺点是未考虑 h 相同的圆上不同位置的影响。但当同频小区距离较大时,模型对 CCI 角度的变化不敏感。根据传播基本公式:

$$P_r = P_t (d/d_0)^{-n} \quad (2)$$

其中 n 为衰减因子,通常取 2~4。设 P_t 为原始小区(全向天线中心激励)的发射功率, P_r 为接收功率。计算信号/同频干扰比(简称 SCCIR)的基本公式为

$$SCCIR = S / I_i \quad (3)$$

其中 S 为有用信号, I_i 为各个同频干扰之和。因为各天线发射功率相同,根据以上近似原则干扰路径简化为 6 种,把式(2)代入式(3)得移动台 SCCIR 近似公式:

$$SCCIR = L^{-n} / [a(H+R+h)^{-n} + b(\sqrt{(H+R)^2+h^2})^{-n} + c(H+R-h)^{-n} + d(H+h)^{-n} + e(\sqrt{H^2+h^2})^{-n} + f(H-h)^{-n}] \quad (4)$$

其中 L 是移动台与为其服务的天线之间的距离,因子 $a \sim f$ 是存在干扰的各种路径的数目。移动台位置不同时,同频干扰源的数目和路径都可能不同。

3.2 找出信噪比最坏点

首先找出小区中 SCCIR 最坏点,以保证这种结构性能的下限。

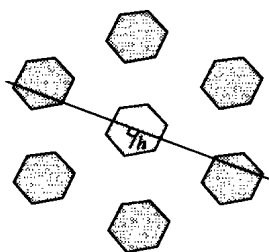


图 3 确定近似分界

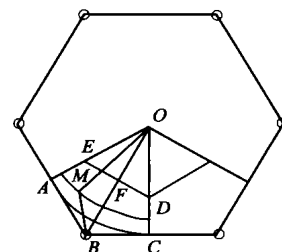


图 4 找出 SCCIR 最坏点

设第一圈 6 个同频小区都存在,这时 SCCIR 最小。因为同频小区对称分布,可用图 4 代表整个小区。A、C 是边的中点;DE 是中心区与一个边缘区的分界,DE 上每点到 O 点和 B 点的距离相等;F 是 OB 的中点。移动台在 ODE 中时,接收信号来自 O;在五边形 ABCDE 中时,接收信号来自边缘天线 B。移动台在 M 点,它到 O、B 的距离分别分别为 OM 和 BM。定义移动台处于 OAB 中、处于 OB 上、处于 OBC 中、处于 OC 上时分别为环境 1~4。当区群大小 N 不同时,在环境 1~4 中不同路径同频干扰数目列于表 1。

ODF 和 OEF 中移动台由中心天线服务 $L=h$ 。随 h 增大信号强度减小,干扰增加,SCCIR 减小,这时的最坏点是 h 最大点,即 D 点(由于对称, E 点和 D 点等价)。五边形 ABCDE 中情况较复杂,干扰是 h 的函数,但有用信号传播距离 $L=BM$,与 h 无直接关系。

四边形 ABFE 中,以 O 为圆心的弧上 h 相同,干扰大小相同,但沿顺时针方向 L 增大,信号强度下降,SCCIR 变坏。因此

由起于 FB 的同心圆弧的终点构成的 FE 、 EA 、 AB 上 $SCCIR$ 都低于各自所属圆弧上、处于小区内部各处 (B 点除外, $L=0$, $SCCIR$ 无穷大). EF 和 EA 以 B 、 E 连线对称, 对应各点 L 相同, 信号强度相同, 但 EA 上各点 h 比 EF 上点的 h 大, 干扰较大, $SCCIR$ 较小. 同理, 四边形 $BCDF$ 中, FD 、 DC 、 CB 各边的点 $SCCIR$ 都低于各自所属圆弧上处于小区内部各点 (B 点除外, $L=0$, $SCCIR$ 无穷大), 而 DC 较 FD 的 $SCCIR$ 更小.

表 1 不同区群结构中移动台处于不同位置的干扰路径数

路径	N	$H+R+h$	$\sqrt{(H+R)^2+h^2}$	$H+R-h$	$H+h$	$\sqrt{H^2+h^2}$	$H-h$
		a	b	c	d	e	f
1	1	9		9	3		3
	2	10		10	2	2	2
	3	9		9	3		3
	4	8	2	8	3		3
3 (12)	1	9		9	3		3
	2	9		9	3		3
	3	9		9	3		3
	4	8	2	8	2	2	2
4 (9)	1	6		6	3		3
	2	6		6	2	2	2
	3	6		6	3		3
	4	6		6	3		3
7	1	8		7	3(2)*	(2)*	3(2)*
	2	8		8	3		3
	3	7		8	3		3
	4	7	1	7	3		3

*表注: 括号中为某些特殊位置时出现的另一组干扰路径数

EA 和 DC 对称, 各点的信号和同频干扰对应相同. 因此最坏点必在边缘区域的 AB 、 CB 、 DC (EA) 或中心区域的 D (E) 点的某处.

遍取 N 、 n 值, 根据近似原则和式 (4), 利用表 1 数据计算, 得各条路径的 $SCCIR$ 最小值列于表 2. 并用式 (5)、(6) 计

表 2 找出 $SCCIR$ 最坏点

(单位: dB; ←同左)

N	H/R	n	D (中心区)	$A \rightarrow B$	$C \rightarrow B$	$D \rightarrow C$	最小值	Pre.	Diff.	Pre. Min.	Min. Diff.
1	1.732	3	1.8904	1.2288	←	1.0439	1.0439	-0.6251	1.6690	-7.4680	8.5119
		4	5.9355	4.5179	←	4.1574	4.1574	1.7604	2.3970	-8.5879	12.7453
3	3	3	9.6154	10.6903	←	9.6159	9.6154	6.5321	3.0833	4.4938	5.1216
		4	17.0566	18.1679	←	17.0572	17.0566	11.3033	5.7533	8.0271	9.0295
4	3.464	3	12.1136	13.5728	←	12.1167	12.1136	8.4062	3.7074	6.8975	5.2161
		4	19.9983	21.7353	←	19.9989	19.9983	13.8021	6.1962	11.3557	8.6426
7	4.583	3	15.1179	16.9378 17.0892	16.7949	15.1184	15.1179	12.0518	3.0661	11.2062	3.9117
		4	24.3707	26.6659 26.9093	26.4936	24.3710	24.3707	18.6629	5.7074	17.2753	7.0954
9	5.196	3	17.1929	19.0332	←	17.1934	17.1929	13.6889	3.5040	13.0332	4.1597
		4	26.9503	30.8641	←	26.9510	26.9503	20.8458	6.1045	19.7664	7.1839
12	6	3	17.9629	19.8402	←	17.9653	17.9629	15.5630	2.3999	15.0738	2.8891
		4	28.4545	30.8641	←	28.4552	28.4545	23.3445	5.1100	22.5366	5.9179

$$C(\%) = 100 \times (\frac{1}{N} - \frac{1}{N}) / \frac{1}{N} = 100 \times (\frac{N}{N} - 1) \quad (8)$$

需要说明的是 N 的含义. N 值均为小数, 不是可直接用

算原始小区的平均 $SCCIR$ (Pre. 列) 和最坏点 $SCCIR$ (Pre. Min. 列) ⁽⁴⁾.

$$SCCIR = (\sqrt{3N})^n / 6 \quad (5)$$

$$SCCIR = R^{-n} / [2(H-R)^{-n} + 2(H+R)^{-n} + 2H^{-n}] \quad (6)$$

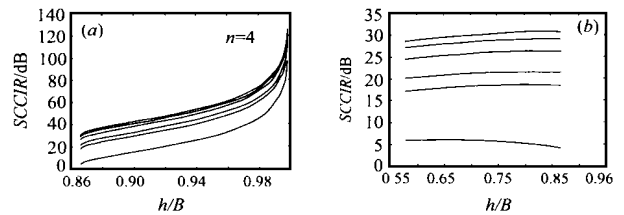


图 5 $SCCIR$ 沿不同路径的变化. (a) $A \rightarrow B$ / $C \rightarrow B$; (b) $D \rightarrow C$

虽然最坏点 $SCCIR$ 都有提高 (Min. 列), 但 $N=1$ 与 $N>1$ 的结果不完全一致 (见图 5, 其中各条曲线从下至上分别有 $N=1, 3, 4, 7, 9, 12$). $N>1$ 时, $A \rightarrow B$ 、 $C \rightarrow B$ 、 $D \rightarrow C$ 方向 $SCCIR$ 递增, 中心区的最远点为最坏点 (D 列). $N=1$ 时, 信噪比在 $A \rightarrow B$ 、 $C \rightarrow B$ 递增, 在 $D \rightarrow C$ 先增后减, 最小值在 C 处, 即六边形小区边的中点 ($D \rightarrow C$ 列). 因为 $N=1$ 时同频小区距离小, 路径近似和计算结果误差大, 在分析前将其排除. 因为要用可满足通信质量的、尽量小的 N 值, CDMA 接入时, 一般只用 $N=1$, 而采用 TDMA 时, 才取 N 为 4, 7, 甚至更大, 以保证足够的性能, 所以后面的分析全部围绕 TDMA/FDD 系统.

3.3 结果分析

可以看到 Diff. 列中, 与未做区域划分的小区相比, 被干扰点 $SCCIR$ 有 3dB 左右 ($n=3$) 甚至 5dB 以上 ($n=4$) 的提高. 最坏点的值提高更显然 (Min. Diff. 列). 在接收机灵敏度一定的情况下, 以较小的 N 值即可满足通信质量要求, 这意味着系统容量提高了. 由式 (5) 反推得

$$N = (\sqrt[n]{10^{SCCIR(\text{dB})/10} \times 6})^2 / 3 \quad (7)$$

由此可计算这种结构“相当于”多大的原始小区 N 值, 若以频率复用因子 $1/N$ 衡量容量, 由下式和表 2 数据可计算容量增加率, 结果如表 3.

于蜂窝频率复用的参数, 而是作为小区性能的一种度量, 以此说明这种小区结构提供给系统设计一定的裕量. 并且对于蜂窝包交换数据通信来说, 信噪比的提高确实意味着系统容量

的提高^[6]。另外,中心天线扇区化可以进一步减小同频干扰。如果采用适当的均衡和干扰抵消技术还能够降低接收机灵敏度,使发射功率及相应的干扰减小。

表 3 容量提高的估算值

N	1		3		4		7		9		12	
n	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
N	1.29	1.32	4.82	5.82	7.07	8.16	11.21	13.50	15.41	18.17	17.34	21.61
C	29 %	32 %	61 %	94 %	77 %	104 %	60 %	93 %	71 %	102 %	45 %	80 %

4 时隙同步问题

移动台跨区域信道不变会产生下行链路邻道(时隙)干扰问题。如果采用固定同步,当同一频率各时隙在不同区域使用时,由于传播时延不同(天线间距离不同, R 、 $\sqrt{3}R$ 或 $2R$)会破坏该频率 TDMA 帧的定时关系,造成时隙重叠(如图 6(a))。因为各信道调制方法一样,如不加以控制,邻道信号会一起被解调而干扰有用信号。我们用定时提前方法^[7]来解决,原理如图 6(b)。

按图 7 给区域/天线编号,把小区的频率分为对应的 7 组。区域称为频率组的原区,相应的频率/时隙称原区信道。每个区域可以使用任意一个频率/时隙,但须服从以下规定:

(1)移动台接入时定位在某个区域,这时尽量分配原区信道给它;(2)如原区时隙用完,优先分配邻近区域的原区信道;(3)使用原区信道时,无时隙定时提前;(4)使用非原区信道时,时隙定时提前,提前量大小分为三种(见表 4)。

表 4 定时提前量分配

区域	频率组						
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
1	0	1	1	1	1	1	1
2	1	0	1	2	3	2	1
3	1	1	0	1	2	3	2
4	1	2	1	0	1	2	3
5	1	3	2	1	0	1	2
6	1	2	3	2	1	0	1
7	1	1	2	3	2	1	0

1、2 和 3 的值与小区半径、帧结构及移动台的位置有关。如果利用上行链路开环/闭环信令定位移动台,可以更准确地得到每个时隙的实时定时提前量,当然系统计算负荷也增加了。实际系统中,一来是实现精确的定时测量值还有相当的困难,而且传输时延值会随小区小型化减小,时隙间干扰及干扰可能性也会相对减小。所以本方法仅作为抗时隙间干扰的一种参考方案。

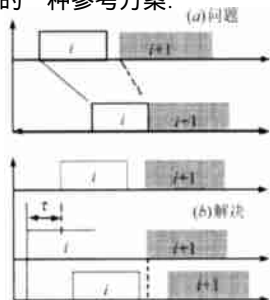


图 6 时延差异造成 TDMA 邻道干扰

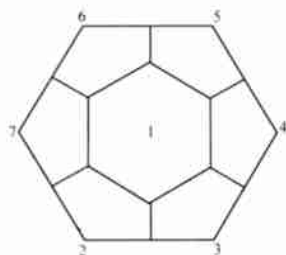


图 7 区域编号

5 小结

本文提出的小区结构在不改变原来蜂窝结构的情况下,发射功率和 CCI 减小,系统容量增加。其多径问题不会更严重,也不要采用更多新技术,在实现上难度不会太大。同时,蜂窝小型化使小区内地形复杂度减小,有助于维持更稳定的小区和区域边界。随着移动通信使用频段变高和设备制造技术进步,射频部分体积日益小型化,天线的设备和安装费用不断降低。

代价是小区内部结构复杂了。在实际通信环境,尤其是城市环境中,要完美地实现图 1 的结构是不可能的,需要针对具体情况增加抗干扰、抗衰落措施。其次,需要 7 套天线和机架,成本增加了,并且区域间信道移交由基站控制,基站设备需有较强的功能。

对小区内部结构进行深入研究的意义在于,当各种有效的传输技术不断涌现时,作为蜂窝通信决定因素的小区结构的改善,使容量和业务质量的系统优化有良好的基础,在此基础上更能发挥先进的信道技术和基带处理手段的作用。

参考文献:

- [1] 李建东、杨家玮编著. 个人通信 [M]. 北京:人民邮电出版社, 1998, 5.
- [2] Lee, W. C. Y. . Small cells for greater performance [J]. IEEE Communications Magazine, November 1991.
- [3] Lee, W. C. Y. . Applying the intelligent cell concept to PCS [J]. IEEE Trans. On VT, August 1994.
- [4] Theodore S. Rappaport. Wireless communications principles and practice [M]. Prentice Hall Inc. ,1996.
- [5] Jacobsmeier J. . Improving throughput and availability of cellular digital packet data (CDPD) [A]. Virginia Tech 4th Symposium on Wireless Personal Communications [C] June 1994.
- [6] Sanjiv N. , Krishna B. ,and Sarath K. . Adaptation techniques in wireless packet data services [J]. IEEE Com. Mag. , January 2000.
- [7] 赵荣黎编著. 数字蜂窝移动通信系统 [M]. 北京:电子工业出版社, 1997, 6.

作者简介:



陈 霞 1975 年生,1997 年毕业于北方交通大学通信与控制工程系。现于该校现代通信研究所攻读博士学位,研究方向为无线数据通信和移动通信。



谈振辉 1944 年生,北方交通大学校长、工学博士、博士生导师、中国通信学会会员,研究兴趣涉及无线 ATM、移动通信。