

分布式虚拟小区网络及其反向链路容量分析

鲁艳玲, 吴伟陵

(北京邮电大学信息工程学院, 北京 100876)

摘 要: 本文提出了一种新的无线系统结构: 基于分布式天线的分布式虚拟小区网络. 在新型无线系统结构里, 虚拟小区可自主移动与改变面积, 这有益于容量提高, 给无线资源管理带来诸多方便; 其次, 在不考虑阴影效应和多径衰落的情况下, 对虚拟小区的反向容量进行了理论计算分析, 并与分布式天线系统进行了对比. 理论分析证明, 虚拟小区可以降低用户发射功率, 从而减少多用户干扰, 提高系统容量.

关键词: 虚拟小区; 分布式天线; 系统容量; 无线接入网

中图分类号: TN911 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 04-0540-04

Distributed Virtual Cell Network and Its Reverse Link Capacity Analysis

LU Yan-ling, WU Wei-ling

(Department of Information Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: In this paper, we proposed a novel wireless communications architecture: distributed virtual cellular network (DVCN). In DVCN, virtual cell (VC) can remove and change area freely, which brings some benefits of capacity, wireless resource control and so on. Then without considering the shadowing and multipath fading, we evaluated the reverse link capacity of VC and compared it with distributed antenna (DA) system. The results show DVCN can reduce users' transmit power, decrease multi-user interference and improve the reverse link capacity.

Key words: virtual cell; distributed antenna; system capacity; wireless access network

1 引言

随着社会的发展与进步, 用户对无线速率的要求越来越高. 如何高效的利用有限的时间、频率、码字和空间资源, 以提高频谱效率和传输速率, 仍然是无线通信发展的瓶颈问题.

众所周知, 传统的无线通信系统结构是小区结构, 无线覆盖区域被划分为相对独立的小区, 用于减少同信道干扰, 提高系统容量. 一般情况下, 天线或天线阵位于小区的中心位置, 用来保持与本小区内的用户进行通信. 分布式天线 (DA: Distributed Antenna) 系统在保持小区结构不变的情况下, 若干天线分布于整个小区内, 通过光纤或同轴电缆与位于中心位置处基站相连^[1]. 相对于传统小区结构, DA 系统可以减少移动台发射功率, 降低对相邻小区干扰, 可以明显提高系统容量^[1~4]. DA 系统结构仍是传统小区结构, 无论无线传播环境或系统无线资源占用情况如何, 用户占用的都是整个小区的资源. Kim 在文献^[5]中提出采用虚拟小区网络 (VCN: virtual cellular network). 在 VCN 中, 虚拟小区 (VC: Virtual Cell) 由能够捕获到某个用户足够信号功率的端口组成, 它以用户为中心, 面积是由发射功率、传播损耗、信道干扰等决定. 端口接收信号后只进行简单处理 (如功放), 直接将信号传递给端口服务器 (PS: Port Server), 由 PS 进行下一步复杂处理 (解调等). 端口

与 PS 之间为固定拓扑, PS 只为自己下层端口服务, 这种结构本质上是在传统小区结构之上的改造. 仔细研究, VCN 中虚拟小区并不能完全实现自主移动, 尤其是虚拟小区处于不同端口服务器服务范围交界处时. 如图 1 所示, 虚拟小区端口 *a*、*b* 由服务器 A 进行服务, 而端口 *c*、*d* 由服务器 B 服务, 单个用户的虚拟小区被不同 PS 处理, 即使再进行合并, 所得增益已很小. 由此可见正是这种固定拓扑的限制, 使得虚拟小区不能充分发挥其长处, 因此我们提出了新型网络结构: 分布式虚拟小区网 (DVCN: Distributed Virtual Cell Network), 以实现容量进一步提高等目标.

文中: 第 2 部分将对 DVCN 系统进行详细描述, 第 3 部分为容量分析系统模型, 第 4 部分为 DVCN 系统与 DA 系统的反向容量分析与比较, 第 5 部分为结论.

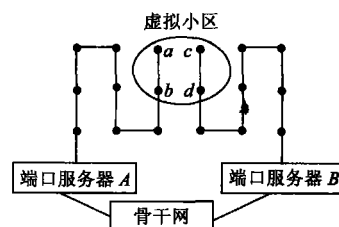


图 1 虚拟小区网示意图

收稿日期: 2002-07-17; 修回日期: 2003-05-08
基金项目: 国家自然科学基金 (No. 90204001)

2 分布式虚拟小区网

DVCN 系统(见图 2)有四个特点:(1)端口为全向天线,只对用户信号进行简单处理(如功放、变频等);(2)虚拟小区由接收到用户信号足够功率的端口组成,以用户为中心,随用户移动而移动;(3)端口与 PS 之间的拓扑结构不再是一一对应的(这是与 VCN 的主要区别之一),端口可以同时与若干个 PS 进行通信,尤其是处于 PS 服务范围边界处的端口,如图 1 中的 a、b、c、d 端口;(4)接入网中存在一个控制单元,其逻辑地位处于 PS 之上,用于控制端口与 PS 之间的通信及完成其它需要统筹处理的功能.系统的运行情况如下:上行链路,可能有多 PS 接收到同一个虚拟小区信号,此时,由处理单元为每个用户的虚拟小区选择上行“服务 PS”,以作为处理此用户虚拟小区信号的唯一 PS.下行链路中,由于每个端口需要发送多用户信号,需要由处理单元为每个端口选择下行“服务 PS”,将此端口要发送的多用户信号按照一定方式复用到一起,下行传至端口以进一步发送.注意到,上下链路的服务 PS 是不同的,并且分别以虚拟小区和端口为服务对象.处理单元是极其重要的功能体,完成许多重要功能,比如可以对 VC 进行无线资源优化:当用户运动速度比较快时,它可以利用系统信息初步判断用户速度方向,在用户运动方向上为用户多分配几个端口,以降低用户掉话的可能性.处理单元可以是集中式处理,也可分布式实现.

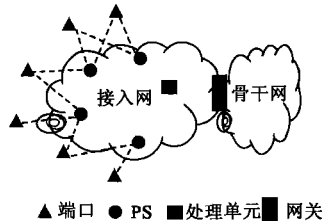


图 2 分布式虚拟小区网示意图

显然,DVCN 接入网中控制流程比较复杂,造成接入网中的数据流量要远远大于传统结构,实际上,这种结构正是用有线网络的高容量来补偿无线信道容量的匮乏.光纤传输与处理芯片技术的快速发展使这种结构的实现成为可能. DVCN 网络是一种新型网络,许多问题有待进一步详细研究,如无线资源的优化等.本文主要对虚拟小区的反向容量进行分析,相关问题有待进一步研究.

3 系统模型

为了便于比较,假设 DA 系统与 DVCN 系统中的天线分布相同,呈网格状均匀分布,如图 3 所示(图中斜十字叉代表天线,下文不作特殊指明,斜十字叉均代表天线).图中的实线为 DA4 系统中的小区分界线(DA4 指的是小区由 4 根天线组成的 DA 系统,其余名称以此类推),小区边界长度为 R .每个小区中有 4 根天线,在小区内均匀分布.设定 VC 的大小与形状固定,同样由 4 根天线组成,图中虚线为 VC4 边界,它的边长为 $R/2$.在计算外部干扰时,DA 系统计算中心小区外两层小区的干扰,共计 24 个小区,DVCN 系统计算中心 VC 外五层 VC

的干扰,共计 120 个 VC,显然,DVCN 干扰面积大于前者的干扰面积.同时,假定用户均匀分布,两种系统中用户密度相同.

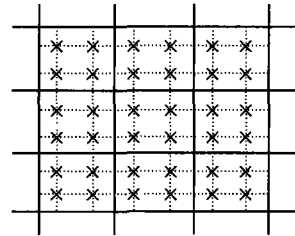


图 3 系统模型图

假设两种系统的空中接口都采用 DS-CDMA,基站均采用基于信号功率的功率控制,在基站处接收到的某一用户有用功率和为 S .为了简化分析起见,在计算中不考虑阴影效应和多径衰落,只考虑路径损耗.

4 容量分析

4.1 相邻小区干扰

首先计算 DA 系统的外部干扰.中心小区编号为第 0 号小区,按照由里到外、顺时针的原则为相邻小区标号,称位于第 k 个小区内天线分别为 $A_{k,l}(0 < k < M, M$ 为干扰小区总数, $l = 1, 2, 3, 4$).如图 4 所示,干扰用户所在的 U 点位于第 n 个小区内,设用户与第 n 个小区内四个天线的距离分别为: $r_{n,l}(l = 1, 2, 3, 4)$,与第 0 号小区内四个天线的距离分别为: $r_{0,L}(L = 1, 2, 3, 4)$,则第 n 个小区内的用户引起的外部干扰为:

$$I_{\text{out,DA},n} = \sum_{L=1}^4 \iint_{\text{subcell}} \frac{N}{R^2} v \frac{S r_{0,L}^{-\alpha}}{\sum_{l=1}^4 r_{n,l}^{-\alpha}} dx dy \quad (1)$$

其中, N 为 DA 系统中单个小区中的用户数(下文中 N 表示与 DA4 系统中单个小区面积相同的区域内的用户数), N/R^2 为用户密度, v 为语言激活因子, α 为路径损耗指数.

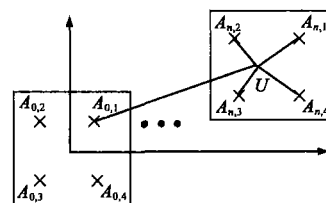


图 4 DA4 系统外部干扰示意图

虚拟小区的外部干扰由三种 VC 引起,如图 5 所示.第一种干扰 VC 中有一根公共天线同时服务于干扰 VC 与中心 VC,称之为 VC1;第二种干扰 VC 有两根公共天线,称为 VC2;第三种干扰 VC 与当前 VC 互相独立,称之为 VC3. VC1、VC2 的干扰又分为两部分:一部分是对公共天线造成的干扰,另一部分是对独立天线造成的干扰.由于用户均匀分布,VC1 与 VC2 对公共天线的干扰分别为:

$$I_{\text{out,vc1}}^1 = \frac{S}{4} v \frac{N}{4} = \frac{SvN}{16} \quad (2)$$

$$I_{\text{out,vc2}}^1 = \frac{S}{2} v \frac{N}{4} = \frac{SvN}{8} \quad (3)$$

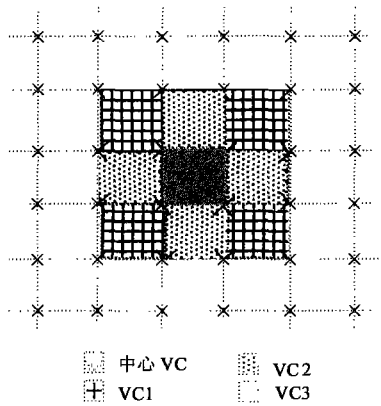


图 5 DVCN4 系统的 VC 分布示意图

VC1 与 VC2 对独立天线造成的干扰与 VC3 类似, 区别在于被干扰天线数量 (L) 为 3 或 2 根, 而非 4 根. VC3 对中心小区干扰为:

$$I_{out, VC3, n} = \sum_{L=1}^4 \iint_{nH/VC1} \frac{N}{R^2} v \frac{Sr_{0, L}}{\sum_{i=1}^4 r_{n, i}} dx dy \quad (4)$$

4.2 同小区干扰

DA 系统的同小区干扰为小区内其它用户的总接收功率:

$$I_{in, DA} = (N - 1) S v \quad (5)$$

VC 的同小区干扰与之相类似:

$$I_{in, VC} = (N/4 - 1) S v \quad (6)$$

4.3 SINR 的计算

我们假定每个天线接收的噪声功率为 $N_0 W$, N_0 为噪声频谱密度, W 为系统带宽. 分别计算 DA 系统与 DVCN 系统的 SINR 为:

$$SINR_{DA} = \frac{S}{\sum_{n=1}^M I_{out, DA, n} + I_{in, DA} + 4N_0 W} \quad (7)$$

$$SINR_{VC} = \frac{S}{I_{out, VC} + I_{in, VC} + 4N_0 W} \quad (8)$$

$$I_{out, VC} = M'_1 \cdot (I_{out, VC1}^1 + I_{out, VC1}^2) + M'_2 \cdot (I_{out, VC2}^1 + I_{out, VC2}^2) + \sum_{n=1}^{M'_3} I_{out, VC3, n}$$

其中 $M'_i (i = 1, 2, 3)$ 分别为 DVCN 系统中第 i 种干扰 VC 的总个数.

4.4 结果与分析

计算两种系统的反向链路容量, 设定 $SINR = -14$ dB, $N_0 W = -138.1$ dB, $v = 50\%$. 首先计算不同边长和不同损耗指数对系统性能影响. 结果发现, 不同的 R 对于某种系统来讲, 每个小区 (或虚拟小区) 所能容纳的用户数不变, 当然, 随着边长的变化其用户密度是变化的. 这是因为边长增大, 天线间距加大, 用户发射功率增加, 对其它用户干扰增加, 所能容纳的用户密度降低. 不同 t 对系统影响比较明显, 当 $S = -120$ dB 时不同 t 的系统容量见表 1. 可以看出损耗指数越高, 系统容量越大, 这是因为损耗指数的增加虽然使用户发射功率增加, 但是外部干扰降低的影响更大, 增加了系统容量.

其次计算了不同系统设置的容量, 改变小区 (或 VC) 中天

线数量, 分别计算了天线数为 2 和 1 的情况. 当天线数量为 2 的时候, DVCN 中 VC 的分布见图 6. 注意到, 此时 DA1 系统与 DVCN1 系统已完全相同. 图 7 是不同接收功率 S 对不同系统影响, 随着 S 的增加系统容量增加, 当 $S > -125$ dB 时, 系统性能基本稳定. 这是因为此时噪声功率的影响可以忽略, 式 (7)、(8) 中 S 在分子分母中可以被约分, 它对 N 不再有影响, 此时 N 成为常数.

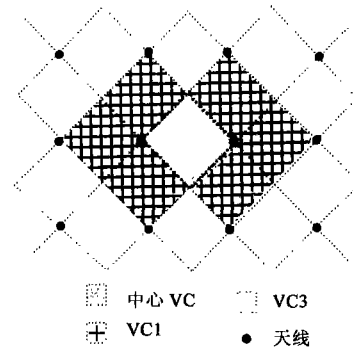


图 6 DVCN2 系统的 VC 分布示意图

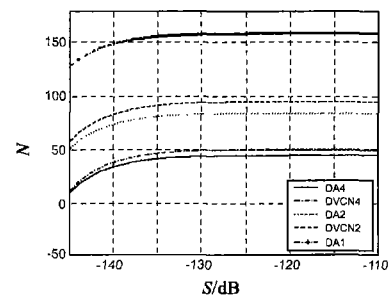


图 7 不同系统设置的反向链路容量 ($t = 5.5$)

表 1 不同损耗指数对容量影响 ($S = -120$ dB, $R = 500$ m)

t	DA4	DVCN4	DA2	DVCN2	DA1
3.5	39	46	70	79	126
4.5	42	49	79	90	147
5.5	44	50	84	95	158
6.5	45	50	87	97	165

从表 1 和图 7 中都可以看出, DVCN 系统比 DA 系统有更高的系统容量. 更高的系统容量来自与虚拟小区的灵活移动: 当 DA 系统中用户位于小区边缘时, 用户需要发射较高功率在天线处才能达到一定接收功率和; 而 DVCN 系统利用虚拟小区的灵活移动, 可以就近采用天线组成新的虚拟小区, 此时的发射功率就降低了. 发射功率的降低就是对其它用户干扰的降低, 从而就提高了容量. 其次, 随着小区或 VC 中天线的减少, 用户数明显增加, 这证实了文献 [3] 中的结论, 接收天线数目的增加虽然可以减少用户发射功率, 但接收的干扰与噪声功率同样增加, 造成 SINR 的降低. 单纯从容量来看, DA1 系统是最佳的, 低速用户可以采用这种结构; 当用户为高速用户时, 如前文所述, 我们可以采用较多天线的 VC 结构, 以更好的保证用户通信.

5 结论

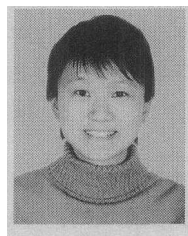
本文首先提出了一种新型的无线系统结构:分布式虚拟小区网络,简单叙述了新型网络的结构组成与工作过程.然后从理论上分析了 DA 系统与 DVCN 系统的反向链路容量.分析结果证明,正是由于新型网络保证了虚拟小区的灵活移动,从而降低了用户的发射功率,减少了对其它用户的干扰,由于 DS-CDMA 为干扰受限系统,干扰的减少提高了 DVCN 系统的反向链路容量.同时 DVCN 系统的结构新颖性必然造成了系统控制的复杂性,诸多技术都有待进一步研究与探讨.

参考文献:

- [1] Kerpez K J, Ariyavisitakul S. A radio access system with distributed antennas[A]. IEEE GLOBECOM'94[C]. San Francisco California, USA, 1994: 1696 - 1700.
- [2] Elvino S. Sousa and Halim Yanikomeroglu. Power control and number of antenna elements in CDMA distributed antenna systems[C]. Proc. IEEE Int. Conf. on Com. 1998[C]. Atlanta, Georgia, USA, 1998. 1040 - 1045.
- [3] Jae Hyuck Lee, Jae Ho roh and Chang Eon Kang. Reverse link capacity analysis of DS-CDMA system with distributed antennas using selection diversity[J]. Electronics Letters, 2000, 23(36): 1962 - 1963.

- [4] J Yang. Analysis and simulation of a CDMA PCS indoor system with distributed antenna[A]. Proc. IEEE 6th Int. Symp. on Personal, Indoor, and Mobile Comm. (PIMRC'95)[C]. Toronto, Canada, 1995. 1123 - 1127.
- [5] Hwa Jong Kim, J P Linnartz. Virtual Cellular Network: A New Wireless Communications Architecture with Multiple Access Ports[A]. IEEE 44th V. T. C[C]. Stockholm, Sweden, 1994. 1055 - 1059.

作者简介:



鲁艳玲 女, 1975 年生于山东青岛市, 北京邮电大学博士研究生, 主要从事移动通信系统中的功率控制、信道分配、网络建模与 4G 通信体系等方面的研究. Email: luyanling@vip.sina.com.

吴伟陵 男, 1938 年生于安徽安庆市, 北京邮电大学教授, 博士生导师, 主要从事移动通信系统中的关键技术与 4G 通信体系等方面的研究.