

摘 要

随着无线通信系统的发展，蜂窝移动通信已得到了充分的发展，但为了从根本上获得更高的系统容量和更快的传输速率，必须突破传统的蜂窝结构限制。分布式无线通信系统（DWCS）采用分布式结构和分布式处理方法，结合了分布式天线和 MIMO 系统的特点，更能适应未来移动通信系统的发展。本论文对 DWCS 概念和结构进行了分析，同时对其系统容量与传统蜂窝移动通信进行了对比。

为了充分发挥 DWCS 的优势，必须要有合适的信道分配，因为它直接影响着通信系统的性能和容量。本论文针对 DWCS 信道分配涉及到的问题进行了讨论，并对问题之一的虚拟小区天线的选择和天线数的确定进行了分析和仿真。同时在 DWCS 特有的系统特点分析的基础上，提出了信道分配算法。

本论文中的信道分配算法是针对基于 TDD 模式，多用户接入技术为 DS-CDMA 的 DWCS，利用慢速 DCA 解决时隙的选择问题以来提高系统容量和频率利用率。文章研究了双虚拟小区和多虚拟小区两种模型下的信道分配策略，重点对双虚拟小区信道分配算法进行了详尽探讨。研究了双虚拟小区使用相同时隙分配和双虚拟小区具有交叉时隙两种情况下信道分配问题，同时对两种算法在不同的参数下进行了比较。在多虚拟小区模型的分析中，主要利用数学模型进行求解。各种算法都给出了计算和仿真结果。

DWCS 通信系统的研究本身就是很广泛和复杂的，而信道分配又是实时的。本论文对于 DWCS 通信系统的性能和信道分配问题的研究在对其未来的研究中具有一定的参考意义。

关键词：DWCS，虚拟小区，信道分配，慢速 DCA

Abstract

With the development of wireless communication system, the cellular system has been widely developed. In order to get higher system capability and faster transmission rate, the traditional cellular structure must be broken. Distributed Wireless Communication System(DWCS) which adopts distributed constructer and distributed processing method and also has the advantages of distributed antenna and MIMO system, can adapt the development of future wireless communication much better. This paper analyses the concept and constructer of DWCS, and also compares the system capability of DWCS with the cellular system. And this paper also discusses the channel allocation problems of DWCS, and gives the arithmetic of channel allocation, as the channel allocation affects the performance and capability of communication system.

In this paper, DWCS has TDD mode and multi-user access technology is DS-CDMA, and uses slow DCA to solve time slots allocation problem. The paper investigates channel allocation strategy of double virtual cells model and multi-virtual cells model. Moreover, channel allocation arithmetic of double virtual cells is discussed at large. For double virtual cells model, the same time slot assignment and the cross time slot assignment are discussed. For multi-virtual cells model, it adopts math model to solve the problems. And the results of computation and simulation for all the arithmetic are given.

The investigation of DWCS is abroad and complicated, and channel allocation is a real time problem. The conclusion in this paper will be valuable for the performance analysis and channel allocation investigation of DWCS.

Keywords: DWCS, virtual cell, channel allocation, slow DC

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得重庆邮电大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名: 李海沟 签字日期: 07 年 5 月 25 日

学 位 论 文 版 权 使 用 授 权 书

本学位论文作者完全了解重庆邮电大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权重庆邮电大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名: 李海沟 导师签名: 邱经坤

签字日期: 07 年 5 月 25 日 签字日期: 2007 年 5 月

第一章 绪论

1.1 分布式无线通信系统分析

无线通信是当前发展最快的通信技术之一，每一次概念和技术的突破都实现了工程上的飞跃。蜂窝概念的提出产生了第一代移动通信系统；数字技术的成功应用大大促进了以TDMA为标志的第二代移动通信的发展；而CDMA和多媒体技术的提出则直接导致第三代移动通信系统的大力发^[1]展；然而由于传统蜂窝结构的局限性，阻碍了新一代移动通信（B3G、4G）的发展。

传统蜂窝通信系统^[2]主要由交换网路子系统(NSS)、无线基站子系统(BSS)和移动台(MS)三大部分组成。在系统结构上，提高频谱效率的常规方法是进行小区分裂和采用扇化小区，随着对系统容量要求的进一步提高和可使用频段的不断上移，无线通信网的小区结构正逐步向微微小区、混合小区和多层次小区结构演变，这在一定程度上缓解了频谱资源紧张的问题和提高了系统的容量，但并不能从根本上解决问题，小区分裂也不可能无限制地进行下去，而且它还会带来诸如切换频繁、系统干扰增加、频率规划复杂、成本提高等问题，因此无法满足未来无线通信发展的要求。

目前3G系统仍然采用蜂窝结构，能达到2 Mb/s的传输速率和较大系统容量。但如果无线接入网继续沿用传统蜂窝结构，从理论和工程上来看，即使将容量提高五倍也是十分困难，因此在未来的高速无线通信系统中必须引入新的系统体系结构。所以对于最高设计速率（用户低速移动时，比如步行者）高达100 Mb/s以上，预计用户数量也比3G系统高一个数量级的4G系统来说，其无线接入网必须对蜂窝结构进行改进或采用新的结构，否则很难以合理的比特成本同时满足高速/大容量与高覆盖率的要求。

1.1.1 DWCS 的概念

①DWCS概念的提出

由于传统蜂窝系统是干扰受限系统，而且由于无线链路速率相对有限，加上其接入网是树型结构，因而易导致网络拥塞。为了从根本上获得

更高的系统容量和更快的传输速率，必须突破传统的蜂窝结构限制，以便有效地利用整个系统的时间、码字、频率和空间资源，清华大学提出了分布式无线通信系统DWCS^[3,4](Distributed Wireless Communication System)的概念。DWCS 将蜂窝系统中的基站简化为收发天线和信号转换装置，天线之间用光纤连接，天线的设置和用户密度相对应：在用户密度低的地区，可以减少天线数目，形成的通信系统类似于现有的蜂窝系统；在用户密度较高地区，则采用较大的天线密度，降低各天线的发射功率，形成分布式接入系统。分布式天线系统中各天线的收发信号处理是在处理单元（分布式或半分布式）而不是在天线处进行的，这有利于各种先进信号处理技术和分布计算技术的应用（信息论早已指出多入多出系统的容量大于单入单出系统的容量，最新的理论研究也指出多天线系统的容量远大于单天线系统，而分布式天线系统可以说是多入多出系统理论和多天线理论在系统网络结构层面的一种有效应用。与蜂窝系统相比，分布式无线通信网络可以提供高得多的传输速率和系统容量。

基于分布式天线的无线通信系统区别于传统的以蜂窝为特征的系统，它主要是采用分布式结构和分布式处理方法实现无线通信系统。在系统的结构上，传统的移动通信系统采用蜂窝结构，一个地区被划分成多个小区，每个小区设立一个中心基站和天线，负责覆盖整个小区，每个用户与它所在的基站进行通信。

而在DWCS中，多根天线分布在一个地区的不同位置，不存在小区的概念，系统为用户确定与之进行通信的天线集合，针对每个用户的天线集合中的多根天线同时收集和发送无线信号，所有信号由分布式处理单元统一处理，因此完全打破了传统的蜂窝结构，可以解决在高传输速率、高业务质量和高通信容量情况下，蜂窝小区结构容易崩溃的危险。分布式概念的另一层含义是处理单元的分布性，类似于分布式处理网络或分布式核心网络。各处理器分别负责一部分天线信号的处理，包括信号的调制/解调、编码/解码等。分布式处理的突出优点是容易引入并行计算，解决高速通信中集中处理计算复杂度高的问题，同时增大系统的可靠性。

在DWCS中的几个重要概念^[5]：

在 DWCS 中，不同的层都是分布式的结构，没有中心控制应用在 DWCS 中，多个天线的无线电信号通过分布式光纤网络传送到分布式处理中心，一个或更多的节点负责信号处理。最重要的是无线信号的分布式处理，传统蜂窝系统中，每个小区都有一个基站对信号进行处理，在 DWCS 中，处理器和天线是分开的。

虽然处理层可以从逻辑上看作是中心处理单元，但是信号是通过许多分布的处理器完成处理的。在这种结构中，从多个天线输出或输入的信号可以共同被最近的处理器进行处理，因此，通过类似 MIMO 的机制，信道容量可以充分利用。

同时，处理器之间的高速连接促使它们能够联合工作，处理工作可以机动的重新分配和传输，充分的利用了处理能源。分布式处理器也提高了系统的可靠性，只有一个处理器处理失败，那么处理工作可以移交给其他的处理器。这种处理结构也是一种软件无线电或网络无线电，这种结构基于可配置的处理器用高速网络连接。由于可配置性，系统能支持多个标准并且可以自由的更新和扩展。

2) 虚拟小区

在DWCS中传统的以基站为中心的蜂窝小区概念不再存在，替代它的是以用户为中心的虚拟小区，即对每一个移动用户，系统根据其所在位置确定为其服务的分布式天线集合，这个天线集合就构成该用户的虚拟小区。每个用户有它自己的虚拟小区，且随着用户在分布式无线网络中的移动，虚拟小区也会发生相应的变化。不同的移动台一般有不同的虚拟小区，虚拟小区是动态的、临时形成的，服务完后要释放掉。

3) 虚拟基站

DWCS的基本思想是将传统的以基站为中心的覆盖方式转变为以移动台为中心的分布式接收、发送，各计算单元分别负责一部分天线信号的处理，包括信号的调制/解调、编码/译码等。因此，DWCS不再有传统的中心处理基站，取而代之的是虚拟基站，这是以用户为中心、动态地进行接收、处理的部分。

4) 虚拟隧道

在DWCS中，分布式节点相互协调完成无线信号和数据的处理，显然这需要在节点之间建立高速率和高质量的通信机制。虚拟隧道的基本思想是在高速的有线网络上建立虚拟连接，使得节点之间能够有效地进行点对点通信。一个虚拟隧道由一个或多个数字链路组成，在连接过程中，数字链路可能发生变化，每个虚拟隧道有一个唯一的标识号——VTI（虚拟隧道标识号），并在连接过程中保持不变。

②DWCS结构

1) 从逻辑上来看，DWCS 主要分为三个层次，如图 1.1 所示。

第一层是分布式天线系统。天线分布在地面的不同位置，发送和接收来自移动台的无线射频信号。由于在未来的高速无线通信中，往往采用比

较高的频率发送，使得无线信号的传播距离很短，因此要实现对某个区域的无缝覆盖需要很多的天线。另外为了提高系统的容量，也经常采用多天线结构，例如智能天线和直放站。如果在天线端增加复杂的信号处理，不仅损失了信息量，而且增加了系统的成本。因此在DWCS中，分布式天线对无线信号只完成功率放大和光电转换等最简单的功能。

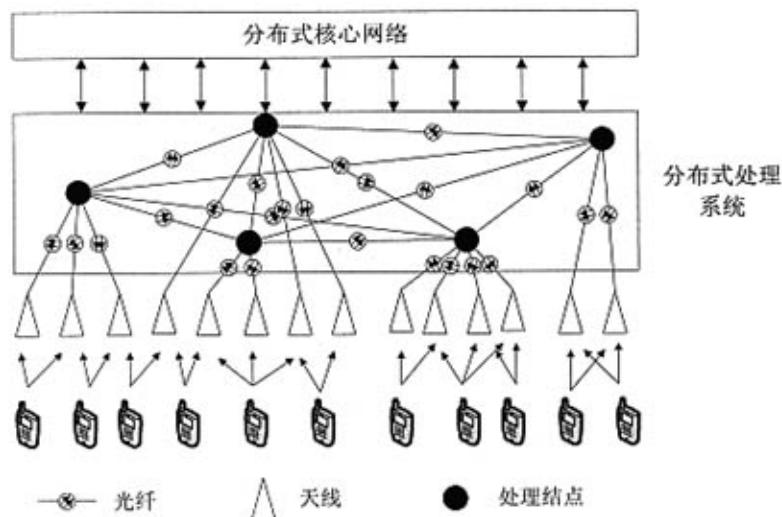


图1.1 DWCS逻辑结构

第二层是分布式处理系统。这是结构中的核心部分，所有信号处理都是在这一层，包括调制解调，信道编码和解码，信道测量，介质访问控制（MAC），链路层控制（LLC），无线电链路控制（RLC），无线电网络控制（RNC）等等。一个或更多的功能可以集中在一个处理节点。这层包括两个子层，分布式处理中心和专用光纤网络。

分布式处理中心的每个处理节点分布在不同的位置，完成对无线信号的一项或多项处理功能，如调制解调、匹配接收机或信道编译码等。处理节点之间相互通信，协调工作任务，共同完成物理层和链路层的功能。光纤网络分布在地下，完成分布式天线和分布式处理系统之间的信号传输，不对收发的无线信号进行任何信息处理。从功能上来看，分布式光纤传输系统相当于是空中传输的延续，但是它基本上不会降低信号质量，因为光纤传输的误码率很低。当然在DWCS系统中，我们假设未来光纤的成本很低，这是符合当前光纤技术的发展趋势的。另外为了区分来自不同天线的信号，在这一层里需要给无线信号打包，以表明来自和发送给哪根天线，将要传送给哪个处理节点。一般情况下天线采用内部地址标识，而处理节点则可以采用内部地址或者全球识别的地址，如IP地址，在不同的发展

阶段可以有不同规定。光纤网络有两个任务：接收和传送数字中频信号到分布式天线，连接处理中心，使在不同处理中心的处理信号可以高速实时的交换。光纤网络可以有多种拓扑结构，如星型、总线型等。

理论上，这层可以认为是 extremely powerful processor(EPP)，它连接所有的分布式天线的 RF 模块。EPP 是软件无线电装置，通过高速网络交换数据时可以被许多类似的工作站识别。这种结构使 EPP 知道所有从天线接收到的信号，能够控制所有天线的传输。因此，整个系统就像一点到很多分布式天线的多点系统，实际上就是一个大型的 MIMO 系统。

第三层是为虚拟或分布式核心网络。网络节点分布在不同的地理位置上，甚至可以是 Internet 网络的节点。网络节点主要完成数据交换、路由、安全认证以及相关数据访问等功能，可以认为分布式网络相当于传统无线通信系统中的核心网络。当引入移动 IP 后，分布式网络还需要承担代理服务器的功能。由于在这一层里主要进行数据的网络层及信令的高层处理，因此可以采用 TCP/IP 协议进行数据传输，取代传统的建立在七号信令网上的 MAP 协议和 IS-41 协议，以便能够和 Internet 更好的结合，最终完成与 Internet 的融合，成为 Internet 的一部分。

2) 从实现上讲，其实现结构有三个部分：

a. 分布式天线与光纤传输系统

分布式天线的一个主要特点是天线可以根据需要分布在地面的不同位置，完成对空间的无缝覆盖。考虑到天线接收到的无线信号频率往往很高，未来无线通信的射频信号可能超过 10GHz。而最适合光纤传送的是数字信号，如果对模拟射频信号采样量化变成数字信号，那么信号速率可以达到几十甚至上百 Gpbs，在现有的光器件上是很难实现的。一种解决方法是在天线端对射频信号进行变频处理，将高频信号变成中频信号，然后采样量化变成光纤传输可以接受的数字信号，从而大大降低对光纤的要求。但是这样又会增加天线端的设备复杂度。

另一种方法是采用副载波光波技术，直接用模拟的 RF 信号调制光信号。对于基带信号而言，一个是光载波，一个是 RF 载波，我们把相对于光波的 RF 载波称为副载波。一般情况下，基带信号只占用射频信号的很小一部分带宽，如 IS-95 系统的 RF 信号为 118GHz，扩频信号带宽为 1125MHz，传送 10 路不同频点的信号所占用的带宽也不超过 RF 信号的 0.1%。如果 RF 信号不是很高，一般都可以采用副载波光波技术实现。

b. 分布式处理系统

由于光纤延续了无线通信的空中接口，使得天线与处理节点相互分

离，两者可以根据实际需要分布在不同的地理位置，增加了工程设计上的灵活性。分布式处理系统主要完成物理层和链路层的功能，从功能上看相当于传统移动通信系统的基站子系统。由于分布式处理系统需要处理来自多根天线的信号，数据量远大于传统的小区基站所处理的数据，因此采用分布式结构不仅能降低对每个处理模块的要求，而且提高了系统的稳健性。在无线通信系统中，不同的系统往往具有不同的空中接口，即使是IMT22000系统中也有好几种标准。解决这种互不兼容的有效方法是软件无线电技术，即在一个通用的硬件平台上，用软件实现不同的通信标准。因此本文提出采用软件无线电技术实现分布式处理系统。软件无线电的层次化模型如图1.2所示。

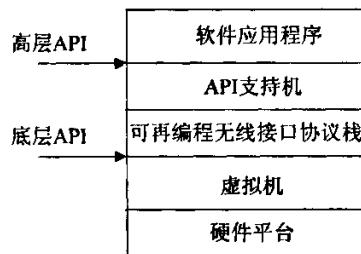


图1.2 软件无线电的层次化模型

在该层次化模型中，软件应用程序完成软件无线电应用系统的功能、体制的描述，并规定相应的指标、参数。应用编程接口(API) 层主要支持应用程序的再利用，相同的API 层接口标准的应用程序可以应用在不同的软件无线电系统中。可再编程的无线接口协议栈实际上就是与提供API 相关的一些软件模块，如信源编码，调制解调算法，多址，数字上/下变频(DUC/ DDC) 算法等。这些模块与API 层之间有着标准的接口。只要接口不变，模块的改变不会影响用API 编写的应用程序的运行。同时这些软件模块又都是可编程的，可以采用不断发展的新的通信体制，以及采用适于软件无线电的新的算法。为了使协议栈与硬件平台无关，引入了虚拟机层，也可以称为硬件抽象层。它的目的就是掩盖无线通信系统的硬件实现。它与无线接口协议栈有一个统一的接口，称为低层API。采用低层标准API 可以使同样的软件加载到不同厂商的硬件上，或者说运行不同的低层软件。这种低层的API 掩盖了特定的硬件实现，如不同厂商的产品或者同一厂商的不同系列的产品。装载到硬件平台上的软件只需按照标准的接口编写即可。该层次化模型中的最后一层就是硬件。一定的硬件与一定的虚拟机相对应，我们称之为硬件平台。

- 分布性：DWCS 分成三层，每层的元素都是分布式的，不需要中心控制站。
- 开放性：一些现存的和将来的无线接入系统，比如蜂窝移动系统可以应用在 DWCS 中。在 DWCS 的基本结构上可以实现现有的和可以预见未来的协议和技术，无线系统资源能够充分利用。
- 无缝覆盖：因为第一层是分布式天线，使 DWCS 容易完全覆盖区域，实现空间的无缝覆盖。
- 灵活性：使用软件无线电实现分布式处理网络，无线通信标准用软件可以实现。因此新型的结构不影响普遍的硬件平台。
- 可扩展性：DWCS 是开放的系统，标准和服务可以升级而不用关闭整个系统。
- 可测性：DWCS 的规模（包括天线和处理器的数量）可以应需要而设计。
- 没有快速切换问题：虚拟蜂窝随用户的移动动态的改变，切换不需要。
- 大容量：分布式天线和分布式处理，克服了传统蜂窝通信中增加的干扰问题。
- 低的能量消耗：传输能量（power）大大的减少。
- 可伸缩性：DWCS 可以根据需要在规模和大小方面自行配置，减小设备成本。
- 对人身健康危害小：很低的电磁辐射。

1.1.2 DWCS 虚拟小区容量分析

分布式无线通信系统是以用户为中心的虚拟小区的概念，用户根据一定的准则选择一个或多个天线进行通信，这个天线集合就是该用户的虚拟小区。在对其反向链路容量^[7]分析时，使其空中接口采用DS-CDMA，在上行链路上采用基于信号功率的功率控制^[8]，假设系统采用理想的功率控制，即虚拟小区各个天线的接收信号在合并后的功率相同^[9]。同时，无线传播模型只考虑路径损耗，没有考虑阴影衰落和瑞利衰落。路径衰落因子为 r^{-t} ，其中 r 为用户和天线之间的距离； t 为衰减因子。另外，用户选择天线的数目固定。虚拟小区的结构为接收分集提供了良好的环境。分集接收合并采用最大比合并（MRC）。

对于一个用户和其虚拟小区的 M 个天线，假设在各天线的接收信号幅

值为 A_i , $i=1, \dots, M$, 接收功率为 $P_i = A_i^2/2$, $i=1, \dots, M$ 。每个天线接收的白噪声功率为 η 。假设用户足够均匀分布, 那么根据对称性, 每个天线收到的其他用户的干扰功率 I_i , $i=1, \dots, M$ 是相同的, 记为 I , 即 $I_1 = I_2 = \dots = I$ 。

假设最大合并比 (MRC) 接收机对各个信号加权系数为 G_i , 则 MRC 接收机输出的功率为 $P_0 = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^M A_i G_i \right)^2$ 。MRC 接收机输出的噪声功率 N_0 包括白噪声功率 N_0 和其他用户干扰噪声功率 I_0 两部分, 其中白噪声功率为 $N_0 = \eta \sum_{i=1}^M G_i^2$; 其他用户的干扰功率为 $I_0 = \sum_{i=1}^M I_i G_i^2 = I \sum_{i=1}^M G_i^2$, MRC 接收机输出的信干比为 $r = P_0 / (N_0 + I_0)$ 。当 $G_i = A_i / \eta$ 时, 信干比达到最大值, 可表示为:

$$r = \frac{1}{2} \frac{\left(\sum_{i=1}^M A_i G_i \right)^2}{I \sum_{i=1}^M G_i^2 + \eta \sum_{i=1}^M G_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^M P_i}{\eta + I} \quad \text{式 (2.1)}$$

采用最大比合并接收分集后的信干比等于 M 个天线接收功率的总和与单个天线上的白噪声功率和其他用户干扰噪声功率之和的比。在理想功率控制的条件下, 对于不同的用户, M 个天线接收功率的总和 $\sum_{i=1}^M P_i$ 是相同的, 均等于 S 。白噪声功率是定值。

其他用户的干扰功率分为两部分:

①由使用相同天线组合的用户引起的, 由于这些用户由同一个天线集合进行功率控制, 所以这些用户在合并后的输出功率都为 S , 假设使用相同天线集合的用户数为 N , 且均匀分别, 语音激活因子为 ∂ , 根据对称性, 可知单个天线上接收的其他用户干扰功率为 $I_{own} = (N-1)S\partial/M$, 它是传统单天线蜂窝系统中本小区干扰 $I_{own} = (N-1)S\partial$ 的 $1/M$ 倍。

②由使用不同天线集合的用户引起的。如图 1.4 所示, 干扰小区分为 3 类: I 类小区与中心小区共用相邻的 2 个天线; II 类小区与中心小区共用相邻的 1 个天线; III 类小区与中心小区没有共用天线。由于这些干扰小区中的用户进行功率控制的天线集合不同, 所以这些用户对中心小区单个天线的干扰在用户足够多且均匀分别的条件下可以表示为干扰用户所在小区上的积分:

$$I_{other} = \iint_{cell} \partial \frac{N}{A} \frac{S}{\sum_{i=1}^M d_i^{-t}} dxdy \quad \text{式 (2.2)}$$

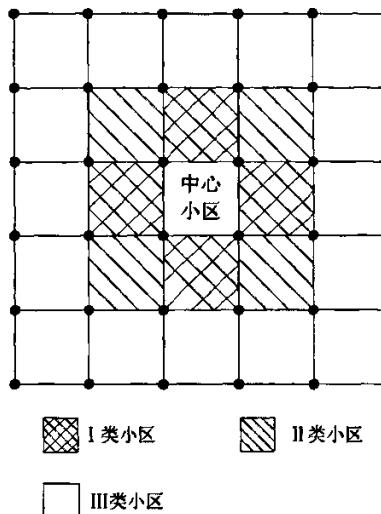


图 1.4 虚拟小区的外小区干扰

其中, A 为所在小区的面积; d_0 为干扰用户和中心小区的被干扰天线之间的距离; d_i 为干扰用户和它所属小区的4个天线之间的距离。

$$\text{记 } f_d = \frac{1}{A} \iint_{cell} \left(\frac{d_0^{-t}}{\sum_{i=1}^4 d_i^{-t}} \right) dx dy \text{ 为DWCS中的外小区干扰因子, 则 } I_{other} = \partial N S f_d.$$

因此, 分布式无线通信系统中的反向接收信号比可表示为

$$r_d = \frac{S}{\eta + I_{own} + I_{other}} = \frac{S}{\eta + (N-1)S\partial/M + \partial N S f_d} \quad \text{式 (2.3)}$$

所以

$$N = (1/r_d - \eta/S + \partial/M) / \partial(1/M + f_d) \quad \text{式 (2.4)}$$

而传统小区的用户数为

$$N_t = (1/r_t - \eta/S + \partial) / \partial(1 + f_t) \quad \text{式 (2.5)}$$

$$\text{其中 } f_t = \frac{1}{A} \iint_{cell} \left(\frac{d_0^{-t}}{d_i^{-t}} \right) dx dy.$$

为了分析和比较, 对于分布式无线通信系统和传统单天线小区都采用正方形网格状分布, 且天线密度相同。对于虚拟小区, 用户选择天线的准则为选择信号最强的4根天线, 即相邻的4根天线组成一个虚拟小区, 如图 1.5 (a) 所示; 传统的单天线小区是以每1个天线为中心的一个矩形, 如图 1.5 (b) 所示。

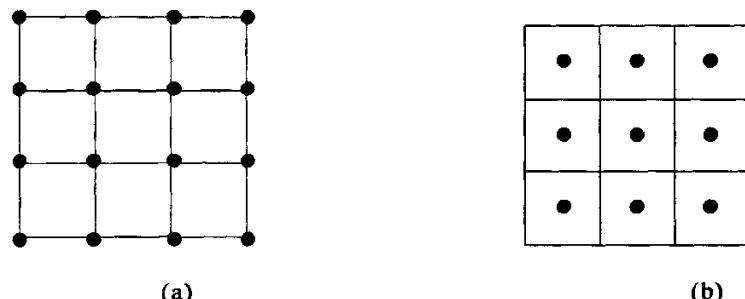


图1.5 虚拟小区、传统单天线小区结构

设定语音激活因子 δ 为0.5，衰减因子 t 为4.55，白噪声功率 η 为-138.1dB，信干比门限 r_d 为-14dB。对于不同的接收功率 S ，就可以得到2种小区的每个小区用户数 N ，如图1.6所示。可以看出，采用分布式无线通信的每个小区的用户数要大于传统单天线小区的用户数。

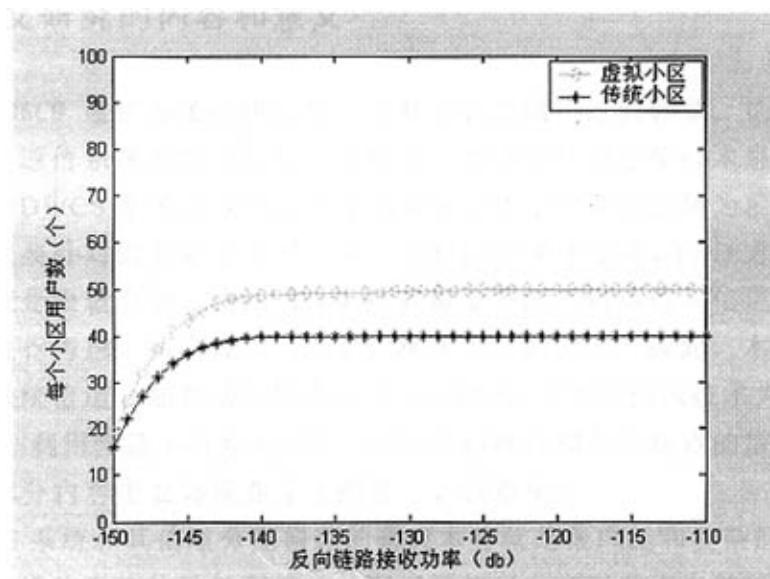


图1.6 不同系统小区用户数比较

从以上的采用最大比合并接收分集分布式无线通信系统虚拟小区的反向链路容量的分析可以看出，分布式无线通信系统虚拟小区的容量相对于传统小区有很大的提高。

1.2 研究现状及前景

DWCS 概念提出到现在已有六年时间，但至今没有太多的研究成果，更多的只是对系统自身的性能，例如 DWCS 的概念、性能、负载均衡等问题。

题的研究和分析。在对其无线资源管理的研究中除对切换的研究外也是寥寥无几，有的也只是一些初步的技术探讨，没有系统的研究和分析。在无线资源管理中的信道分配问题中，目前也基本没有成型的策略或算法。

DWCS 是一个崭新的通信系统，也是一个崭新的研究课题，但它本身具有能够获得更多容量和更高传输速率的结构特点对于未来的移动通信的发展有着举足轻重的作用。在任何系统中，良好的无线资源管理对于系统的性能有着重要的作用，在对 DWCS 系统研究的同时，对其无线资源管理的研究可以说是重中之重，信道分配是无线资源管理中最常用也是最有效的方法。所以，对 DWCS 通信系统的研究会成为未来无线通信系统研究中的热点，而对其信道分配问题的研究更会成为未来 DWCS 研究中的重点和热点。

1.3 本文研究的内容和意义

对 DWCS 通信系统的研究是一个复杂且范围广泛的领域。论文主要是对 DWCS 通信系统无线资源管理策略之一的动态信道分配技术进行了分析和研究，DWCS 系统是以很多密集的天线、较小的覆盖范围为前提的，而且系统主要针对的就是上下行业务不对称的多媒体业务，TDD 方式对于这样的系统是很适合的，使用 TDD 模式将业务的不对称性和信道分配的问题一同进行考虑，将会使得 DWCS 网络达到最优化。因此，本文的对于 DWCS 系统信道分配算法是针对基于 TDD 模式，多用户接入技术为 DS-CDMA 的 DWCS，利用慢速 DCA 解决针对 DWCS 结构特点和业务特点的信道分配问题。这部分内容主要体现在论文的第三、四章中。

DWCS 系统和其信道分配问题的研究本身就是很广泛和复杂的，本文对于 DWCS 通信系统的性能和信道分配问题的研究在对其未来的研究中具有一定的参考意义。

1.4 小结

本章对分布式无线通信系统（DWCS）进行了分析，重点讨论了 DWCS 的概念、结构及其特点。在对概念的讨论中，重点阐述了分布式天线、虚拟小区、虚拟基站和虚拟隧道；其结构从逻辑结构和实现结构两个部分进行阐述；最后得出了 DWCS 具有的开放型、无缝覆盖、灵活性、可扩展性和可伸缩性等特点。第二节对 DWCS 虚拟小区的容量进行了分析，在对其理论分

析、数值计算和仿真结果的分析和讨论中，得出虚拟小区的容量要大于传统单天线小区的容量，从而又论证了DWCS相对于传统蜂窝移动通信系统的优点。同时对所研究内容的现状和前景，及本论文研究的内容和意义进行了分析。

第二章 移动通信中的信道分配

2.1 信道分配概述

在移动通信中，随着多媒体数据业务传输和用户数量的日趋增多，无线通信系统有限的无线信道就显得越发珍贵，迫切需要提高系统的容量，合理地分配和利用无线信道资源。所谓信道资源，在FDMA中，指频率或无线载波；在TDMA中，指时隙；在CDMA中，指正交码或PN码（code）。

所谓“信道分配^[10]”，在现有的文献中有着多种定义形式，但其核心内容都是一致的：即在采用信道复用技术的小区制移动通信系统中，为实现多信道的共用，以最有效的频率利用方式为每个小区的通信设备提供尽可能多的可使用信道。换句话说，采用“信道分配技术”是提高现有频率资源利用率、提高系统容量的行之有效的一种方法。

①信道分配中的电磁兼容因素

研究一个实际的系统，必须考虑它所处的环境。移动通信与固定通信的不同即在于通信时电台所处的环境是移动的，这对于移动通信系统的工程设计来说是至关重要的因素。而对于信道分配问题来说，由于它是从各种系统中抽象出来的，所以不必考虑这些电波传播条件的影响。但必需首先考虑系统的电磁兼容因素。

信道分配问题主要是针对蜂窝小区制系统提出的，在小区制系统中，采用了频率复用技术，因此将存在一些电磁兼容限制，它们是：

- 1) 同信道限制(Co-channel constraint)，亦称为同频干扰；
- 2) 邻道限制(Adjacent Channel Constraint)，亦称为邻道干扰；
- 3) 同场地限制(Co-site constraint)，亦称为互调干扰。

其中，对系统性能影响最大的就是同频干扰，它是小区制组网的主要约束因素，故系统的一个重要参量是两个小区之间的最小信道复用距离d。d的获得与复用技术、调制方案、移动系统的环境和可接受的话音质量等有关。

②信道分组原则及性能指标主要参数

从广义上来说，信道分配包含两层基本含义：一是信道分组，根据移动网的需要将信道资源分称若干组；二是信道分配，以固定的或动态的分

配方法指配给移动网络的用户使用。

1) 频率分组的原则是：

- a. 根据国家规定选择双工方式、载频中心频率值、信道间隔、收发间隔等协调频率计划。
- b. 确定无互调干扰或尽量减少互调干扰的分组方法。
- c. 考虑有效利用频率、减小基站天线高度和发射功率，在满足业务质量的射频防卫度的前提下，尽量减小同频复用距离，从而确定信道分组数。

2) 频率分配时需注意的问题有：

- a. 在同一信道组中不能有相邻序号的信道，避免多波道系统的邻道干扰。
- b. 相邻序号的信道不能指配于相邻小区或相邻扇区。
- c. 根据移动通信设备抗邻道干扰能力来设定相邻信道的最小频率和空间间隔。
- d. 由规定的射频防护度建立频率复用的信道分配方案。
- e. 频率计划、远期规划、新归网和重叠频率分配的协调一致。

另外，在评估信道分配方案的优劣时，其性能指标的参数是非常重要的。不同的信道分配方案各有优劣，但一般说来，根据不同的系统特征和网络运营环境，其性能评价指标主要有以下五种：

- a. 呼叫阻塞率；
- b. 通信中断概率，包括通信过程中业务质量下降引起的通信终止概率和越区切换失败概率；
- c. 通信分配延时，即分配方案的执行时间；
- d. 方案实施中的信令业务负荷；
- e. 信道利用率。

在选择信道分配方案时，总体目标是：获得较高的信道利用率；较令人满意的系统服务质量；尽可能短的时间以及采用尽可能简单的算法。所以在确定一个系统采用何种信道分配方案时，必须综合考虑以上几个对性能有影响的因素，但对不同的系统，其具体要求不尽相同，这时必须有所侧重。因为在系统的通信服务指令与信道分配算法执行的复杂性之间存在着矛盾，而且它与系统搜寻时间和频率利用率也有关系。

2.2 信道分配方案分类

信道分配方案概括起来目前大致有四种方式^[11]，即固定信道分配（FAC: Fixed Channel Allocation）、动态信道分配（DCA: Dynamic Channel Allocation）、随机信道分配（RCA: Random Channel Allocation）和混合信道分配（HCA: Hybrid Channel Allocation）。

① 固定信道分配^[12] (FCA: Fixed Channel Allocation)

最传统的一种信道分配方式，普遍应用于蜂窝移动通信第一和第二代中。根据网络设计的要求，考虑在最差的情况下所需要的频率复用距离来制定频率规划。即若系统有 N 个信道，M 个小区，把这 N 个信道固定分成 M 组，每组信道只为这个小区的所有用户服务。复用距离的缩短，可提高频谱利用率，而最差情况下的考虑，又限制了复用距离的缩短。因此 FCA 不能满足高频谱利用率的要求。

② 动态信道分配(DCA: Dynamic Channel Allocation)

在 DCA 中，系统根据实时测试或估测到的信道质量（通常为信噪比）或话务情况安排信道。DCA 的优点是频带利用率高，无须信道预规划，非常适应网络中负载的变化，特别适合多媒体通信中非对称业务和多种不同业务共存的情况。RNC 根据相邻小区时隙分配的情况，来计算或测量各时隙的干扰情况，动态地在小区间和上下行之间进行信道的分配。但有效的 DCA 算法或者能达到理想状态的 DCA 算法通常是非常复杂的，带来的缺点就是在通信系统运行过程中，信道分配需要较多的信息，增加了控制信道的信息量，系统在信道分配上的开销很大。但它可以使用高效的算法得到别的方式所达不到的网络容量。

动态信道分配又可以分为集中控制式信道分配（CDCA: Centralized DCA）和自主分布式信道分配（DDCA: Distributed DCA）两种方式。CDCA 是由统辖各基站的控制站统一管理和分配信道。即信道分配算法的操作是在移动控制中心 MSC 中进行的，每次用户发起呼叫或某小区内越区切换请求时，该用户所在的小区都将此信息告知 MSC，由 MSC 为其搜索并分配空闲信道。这种方法过去一直用在蜂窝小区制系统中。在集中控制式的信道控制方式中，各基站检测到的干扰等信息由控制中心站掌握后对信道进行控制，所以信息的传递和控制处理速度就成为问题。再有，即使由控制中心站对信息进行集中管理，要想根据呼叫的产生消除和传输路径状态的变化等情况进行最佳分配是不容易的。对此 DDCA 采用自动分布式的控

制方法，即每个小区之间观测到的干扰量等信息只用于自己小区的信道分配，它的很大优势在控制处理量和基站的增长性方面，这一点被很多人认可。最近在分布式 DCA 算法上的研究显示，在减轻交换复杂度的同时可提高频谱利用率，然而大多数分布式算法要求分布式处理期间要时刻保持通信联系以便能更新“信道分配表”，这意味着网络的结构必须能对无线资源的变化作出快速反应。

③随机信道分配(RCA: Random Channel Allocation)

在用户通话过程中随机地更换信道。若有一个信道质量不好那么就有一个用户得不到好信道，随机信道分配的结果是同一小区的每一个用户得到同样的信道质量，即占有好坏信道机会均等。这样在无法获得信道质量信息时，RCA 不失为一种好方法。但不足之处时小区外界同频干扰，有时较严重，实际上没有一个用户可以得到真正的好信道。

④混合信道分配 (HCA: Hybrid Channel Allocation)

即将所有的信道分成两个部分，一部分信道是固定地分配给某小区；另一部分信道则保存在一个中心存储区中，为系统中地所以用户所共享。实际上，HCA 是将 FCA 和 DCA 二者结合起来地产物，故称作混合信道分配。

2.3 动态信道分配^[13]

话务量是随时间、随位置变化的信道分配方式称为动态信道分配。若采用固定信道分配，当某一个特定小区的话务量增加时，即使周围小区信道有空闲，也不能使用周围小区的信道，这将在特定小区产生一定的呼损率。而动态信道分配，则不将信道固定分配给某个小区，移动台在小区内可使用任一信道。但是移动通信交换中心(MSC)分配空闲信道时，必须满足同信道复用规则，以免发生干扰。若找不到这样的空闲信道，则该小区就无法对新发起的呼叫提供服务；反之，如果有多个信道同时可供使用，就需要从中选择一个。

2.3.1 中心控制 DCA

经典的 DCA 算法是由控制中心执行的，即信道分配算法的操作是在移动通信交换中心 MSC 进行的。每次用户发起呼叫或某小区内在越区切换请求时，该用户所在的小区都将此信息告知 MSC，由 MSC 为其搜索并

分配空闲的信道。这种方法过去一直用在蜂窝小区制系统中，近年来，随着微小区的应用，一个区域内的小区数量明显增加，导致用户的需求和越区切换的次数也大大增加。这样控制几个小区的 MSC 常常出现分配任务过载的情况，于是出现了以下方案。

2.3.2 分散和分布式 DCA^[14]

分布式的控制，即信道的确定是由移动终端和/或基站来进行，而不是由移动交换中心 MSC 操作的方案。这种方案可消除基站和移动交换中心之间大量的数据交换负担，并能允许更多的越区切换更快地进行。大多数分布式算法要求分布式处理器要时刻保持通信联系以便能更新“信道分配表”，这意味着网络的结构必须能对无线资源的变化作出快速地反应。不论系统采用什么方式来执行方案的执行和算法的操作，具体的信道分配方案都是一样的，只是执行的场所不同而已。

2.3.3 动态信道分配方案

①呼叫连续式信道分配方案^[15]

从另一个角度考虑，带信道借用和再分配的改进型固定信道分配方案，属于动态信道分配方案。这里称为呼叫续接式动态信道分配方案 (Call-by-Call DCA)，其含义：信道是在系统中呼叫建立时开始使用的，即该方案是在基于系统现有状态的基础上为一个新来的呼叫分配一个信道的，故称为呼叫续接式信道分配。下面将介绍它们，并提出一些新方案：

1) 信道借用分配方案 BCA

此方案是所有信道都预先分配给每个小区的基站。如果该小区发生一个呼叫，而该小区的所有信道都处于忙时，则该小区的基站会根据需求从邻近小区的基站中借用一个信道为此呼叫服务。

2) 有序信道借用方案 OCS

此方案的思想是：根据变化的话务条件而调整本地固定信道和可借用信道之比；每个信道有一个可调整的被借用的概率值，所有的规定信道依据此概念值而排成等级。因此，借用概率值最高(等级最低)的信道最先被借用，反之则最先本地小区所占用。

在 BCA 方式中，一个信道被借用后，它就被锁定在借用信道小区的信道复用距离范围内的同信道小区上。信道锁定就意味着既不能为本小区

呼叫服务，也不能被借用。每当一个新的呼叫要求时，MSC 或 BS 根据算法从所有空闲信道中选择一个最合适的话务。如果此功能归属于 BS，那么 MSC 必须被通知到最后的分配结果。MSC 确定并更新每个被借用信道的概率(使用自适应算法)。如果允许小区间的越区切换，信道分配方案将更加复杂，即立刻将释放的等级较高的信道重新分配(Reassignment)给正使用的某等级较低的信道的某小区。这样做的目的是最小化借用信道的索引值，以便可降低借用信道需锁定的影响。

3) 定向锁定的信道借用 BDCL

以上两者中借用的信道都要在需借用信道小区的信道复用距离内的所有同信道小区都被锁定，这样只有当信道在附近三个同信道小区内同时空闲时才适合于借用。根据上述，有学者设计了一种新的信道分配方式，称之为“具有定向信道锁定能力的信道借用方式 BDCL”。在这种新的方式中，当一个信道被借用后，在同信道小区上，这个信道的锁定只限于那些受这一借用影响的小区。这样可供借用的信道数就比 BCA 方式多。为决定在何种情况下，一个锁定的信道才能被借用，规定了每一个被锁定信道的锁定方向。为尽量减少信道借用，在 BDCL 中采用了信道排序和信道转换这两个概念。当一次通话结束后，如果需要的话，将根据以下规则进行信道转换：

- a. 当一次占用规定信道的通话结束，而在同一小区内另有一占用较高序号规定信道的通话存在，那么这个占用较高序号规定信道的通话就被转换到新近释放的较低序号的信道上。
- b. 当一次占用规定信道的通话结束，而另有一个占用借用信道的通话存在，那么占用借用信道的通话就被转换到规定信道上，原先被借用的信道就被释放。
- c. 当一次占用借用信道的通话结束，而另有一个占用较低序号借用的通话存在，那么这个占用较低序号借用信道的通话就被转换到刚刚结束的通话那个借用信道上。
- d. 当干扰小区内的通话结束，出现一个完全不被锁定的信道(也就是在六个方向上都未被锁定)，那么占用借用信道或较高序号规定信道的任一通话立刻被转换到这个新的上来。

4) 强迫式信道借用分配方案 FBCA

FBCA 是在 BCA 基础上提出的。在 BCA 中，如果某小区的呼叫不能从其邻近小区中找到可以借用的信道，那么此呼叫将强制某个邻区的一个信道为它服务，而该邻区将从它的另外一个邻区借用一个信道来补偿它被

强制借出的信道。

5) 复用分区分配方案 RUP

一般地讲，蜂窝系统是通过平均整个小区内的移动台的干扰状况来确定最小同信道复用距离的。这种方法导致靠近小区边界的移动台其信干比(C/I)不令人满意，而在小区内部的移动台其信干比却比需求的要高。这意味着信道资源利用不够合理，尚有未曾利用的网络资源，这些资源可通过一种叫做小区分区的技术来得到利用。这种方案可增加系统可用信道的数量。

② 自适应式信道分配方案

所谓自适应式分配，是指系统根据过去已分配的情况而得到信道的利用信息，在此基础上对各小区中信道的分配进行自适应的调节^[16]。它又分为：

1) 随机搜索方式 RCS

即当系统中有一个新的呼接到达时，MSC 从所有可用的信道中随机选择一个为其服务，而不参考已分配的信道情况，即其一点适应性也没有，一般只作为各方案比较的标准。

2) 有序动态信道搜索方案 ODCS

将所有的信道按序列排列，每来一个呼叫，控制中心就线性扫描所有的信道，从中选择第一个等级较高的符合各种限制条件的信道进行服务，当有等级较高的呼叫截止时，则将该信道重新分配给最后一个呼叫，以保证系统总处于信道等级最高的状态。此方案看似不具有自适应性，但是若信道的等级划分准则是按其最有可能被使用的信道最先被搜索到，而且该方案简便易行，操作也很容易。

3) 本地优化的动态分配 LODA

当某一特定的小区有一呼接到达时，此方案估测使用每个候补信道的成本，选择其中成本(Cost)最小的信道进行分配。成本是对未来呼叫的阻塞率的一种衡量。这里不再使用规定信道这一概念。

4) 信道定位的重新分配 RCA 即在到达一个新呼叫时，阻塞发生在系统中缺少无同频干扰的信道情况下，如果已经分配的信道经再分配后能够提供这么一种无同频干扰的信道，那么就进行再分配，并将该信道分配给新的呼叫。这种情况下，正在服务的一些其它呼叫将在小区之间切换到这些无干扰的不同信道上来。

5) 最大组合方案 MP

MP 技术试图在整个网络上对每个到达的呼叫优化其信道的利用，这

意味着网络控制器必须在所有的小区中重新安排信道的定位以最小化复用距离，满足具有最小系统资源的信道需求。因此，网络接受每一个呼叫、确定哪个信道可分配给它并且不考虑重新分配的需求数目。由于其特性是一种全局资源的最优化，故 MP 可认为是二维蜂窝网中最理想的动态方案，然而介于两个呼叫到达之间的分配可能会没有界限地增长，增加网络中的小区数，将使得在一般使用的网络中 MP 算法的实现变得不可能。相反，它可以用在一维线性蜂窝网中，典型的如高速公路或铁路系统中。

6) 信道分割技术 CSEG

此方案是只信道的定位由每个基站以一种分布的方式来确定，而不是事先测量电波传播的条件。通过检测载波灵敏度，每个基站独立地管理自己的信道。因此就不会出现不必要的干扰。其结果是每个基站捕捉自己专用的合适的信道。

7) 基于其它思想优化的信道动态分配

比如基于组合优化的信道分配、基于神经网络的信道分配（BP算法、Hopfield、自组织）、基于遗传算法的信道分配、基于模拟退火的信道分配和基于代价函数的信道分配等，可以根据不同的业务负载情况及无线环境选择一个合适的信道分配方案

2.4 小结

本章重点讨论了信道分配的分类问题，从信道分配的概念出发，引出其分配的原则以及性能指标的主要参数。然后对四种信道分配技术：固定信道分配、动态信道分配、随机信道分配、混合信道分配进行了简单的介绍与分析。同时又着重阐述了动态信道分配方式，对其集中控制式DCA、分布式DCA、呼叫接续式DCA以及自适应DCA方案进行了一定的比较。

第三章 DWCS 信道分配问题分析

在 DWCS 系统中，多根天线分布在一个地区的不同位置，传统的以基站为中心的蜂窝小区概念不再存在，替代它的是以用户为中心的虚拟小区。每个用户与其集合中的多根天线同时收集和发送无线信号，所有信号由分布式处理单元统一处理。每个用户有它自己的虚拟小区，且随着用户在分布式无线网络中的移动，虚拟小区也会发生相应的变化。不同的移动一般有不同的虚拟小区，虚拟小区是动态的，临时形成的、服务后要释放掉。动态变化的多根天线构成了虚拟小区，这就要求信道要不断地进行变化。

无线资源管理^[17]的目标是在有限带宽的条件下，为网络内无线用户终端提供业务质量保障，其基本出发点是在网络话务量分布均匀、信道特性因信道衰弱和干扰而起伏变化等情况下，灵活分配和动态调整无线传输部分和网络的可用资源，最大程度地提高无线频谱利用率，防止网络拥塞和保持尽可能小的信令负荷。无线资源管理(RRM)的主要包括以下几个部分：功率控制、信道分配、调度技术、切换技术、呼叫准入控制、端到端的 QoS、无线资源预留和自适应编码调制等。

传统的蜂窝网结构的无线资源管理问题是指对于一个进入网络的移动用户，网络需要分配适当的基站、信道、发信功率，以使具有固定硬件设备的无线网络获得更高容量的同时，满足用户的质量要求(而在DWCS 中的无线资源管理由于其结构和处理是分布式的，所以具有更高的复杂性和灵活性。DWCS 是一个动态网络，随时都有用户发出呼叫、中断呼叫，并在网络内部移动，虚拟小区是在不断动态变化的，系统要根据用户的需要确定虚拟小区，分配时间、频率、码字和空间资源，进行功率控制。因而，好的无线资源管理技术应该是实时的，并能充分利用网络内部的有效资源，从而达到资源最佳分配。

无线资源管理的问题涉及移动用户与基站（天线）之间无线链路的建立，包括选择天线和虚拟小区、信道分配、上行和下行发信功率控制、切换、拥塞控制等，这种操作统称为资源分配规则（RAA）。信道分配是无线资源管理中最常用也是最有效的方法，这里主要讨论 DWCS 中的信道分配问题。

3.1 DWCS 中信道分配方式的选择

DWCS 是一个动态网络，随时都有用户发出呼叫、中断呼叫，并且用户在网络内部移动过程中，虚拟小区是在不断动态变化的，系统要根据用户的需要确定虚拟小区，分配时间、频率、码字和空间资源，同时也要进行功率控制。因而，好的无线资源管理技术应该具有良好的实时性并能充分利用网络内部的有效资源，达到资源最佳分配。

在蜂窝网络中，随着用户密度的增加，信道分配对网络容量直接起着至关重要的作用。信道可以是多重含义：在 FDMA 中指频率或无线载波；在 TDMA 中指时隙；在 CDMA 中指正交码或 PN（导频）码。而信道分配本身的范畴为其中的任何一种或两种以上的合成。目前有三种主要分配方式，目前有 3 种信道分配方式：固定信道分配(FCA)、动态信道分配(DCA)和随机信道分配(RCA)。

其中 RCA 在用户通话的过程中随机地更换信道，在无法获知信道好坏信息的情况下不失为一个较好的方法，但是一个负面的影响就是没有一个用户得到真正好的信道。其中 FCA 是最传统的一种信道分配方式，普遍应用在第一和第二代移动通信系统中。它根据网络设计的要求，考虑在最差情况下所需要的频率复用距离，由此制定频率规划。由于缩短复用距离可提高频谱利用率，而这种最差情况的考虑又限制了复用距离的缩短，所以 FCA 不能满足高频谱利用率的要求。它简单但不适合高数据传输率和用户密度的变化。在 DCA 中，系统根据实时测试或估测到的信道质量（通常为信噪比）或话务情况来分配信道。DCA 相对 FCA 需要更多的信息，这样增加了控制信道的信息量，但它可以使用高智能的算法得到 FCA 所达不到的网络容量。DCA 领域与数学的优化问题紧密相连，但由于其高度复杂性和很长的运算时间（尤其是对于大型的网络），除可在理论上给出网络可达到的最佳容量外，实际中并不常应用。基于分布式天线的无线通信系统中通过引入并行计算等技术可以解决其复杂性高的问题，因此采用高效的 DCA 分配策略提高系统的容量是可行的。在 DWCS 系统中天线在楼与楼之间大量分布，天线与天线之间距离在几十米或者几百米，而且周围建筑集中，在这样的市区环境下，传统的 FCA 具有很低的效率，而 DCA 是比较合适的选择。DCA 策略和算法已经有很多文献研究，但大多都是基于传统的蜂窝系统的，在 DWCS 中由于其本身的不同结构和特点，需要适合于它的 DCA 策略和算法，以便高效地提供给接入用户和切换，提高系统容量。

由此可以看到：在 DWCS 中，良好的无线资源管理是至关重要的，不断变化的虚拟小区的确定和信道资源的分配等问题是要进行考虑的关键问题。由于用户的不同业务要求、移动性，以及进行多根天线选择的灵活性，使得信道分配采动态方式比较适合。

3.2 结合功率控制的信道分配

在进行时间、频率、码字、空间分配的同时，不可能割裂功率的分配，越来越多的信道分配方案都涉及到时间、频率、码字、空间和功率的联合分配，系统的优化没有功率的分配是达到最优的，好的功率分配方案可以有效地降低同信道干扰和对邻信道用户的干扰，从而提高整个系统的性能。在 DWCS 中可能会采用频率、时间、码字的复用，那么功率控制就显得更加重要。在现存的 TDMA 和 FDMA 系统中，功率控制的作用是减少网络内部同信道干扰，从而成为减少复用距离的最有效的方法将信道的分配和功率的分配结合在一起，可在 DWCS 中得到更高的频谱效率。

功率控制可分为两类：集中控制和分散控制。

集中控制就是网络的中央控制部分(如移动交换中心)收集每条链路的信息，从整个网络的角度分配功率集中控制的奠基人 Jens Zander 从理论上证明在某一瞬间如果已知每条链路的衰落参数，那么就有一种最佳的功率组合方式，使网络达到最高容量这时，每个用户得到的信噪比恰好等于(或大于)平均信噪比门限，即 SIR (signal interference rate) 平衡显然，它可以使蜂窝网的容量达到最高点，但由于基站与交换机之间传输大量的信息，这一方法不够实际。

分布式控制的应用很广泛，尤其在第三代蜂窝系统中。常见的分布式控制有：恒定接收功率和分散受限功率，前者应用于 CDMA 系统中，后者应用于第三代系统 WCDMA 的提案中，分布式控制是今后发展的方向。以最快的速度达到最好的同信道干扰控制是主要目标。在 DWCS 中，功率控制可以采取集中式，也可以采用分布式控制的方式，但都要和其它的资源分配结合起来考虑。

3.3 DWCS 信道分配涉及的问题

现已在实际中采用的和文献中提到的动态分配方案都是为传统的蜂窝系统所设计的，而针对分布式天线的无线通信系统的网络结构和分布式

处理的特点，要求有相应的适合这个通信系统的信道分配策略和功率控制方法。根据分布式天线系统的网络结构和特点，在此提出了在信道分配方面首先要解决的问题。

①一个节点连接的天线数、天线的拓扑结构对于系统的影响

在进行节点、天线数等的最初规划时，连接的天线数要确定下来，而这个数目和哪些因素有关，对网络性能有怎样的影响，都需要分析天线处理节点的能力也会对网络产生影响，这方面的分析也是必要的。

②天线的选择与业务的关系

天线的选择涉及到天线的数目、天线的类型、采取什么样的准则或策略。天线进行如何选择和用户的业务要求、用户的移动性特征及当前的网络负荷的情况有很大的关系。

③信道分配方案的提出和性能的分析

主要指对时间、频率、码字、空间、功率等资源的分配，和寻找适合于 DWCS 结构的信道分配算法，进行各种性能的分析和验证，得到性能比较好的算法。已经有大量的文献对信道分配问题进行探讨，但对于 DWCS 的特殊性，这些信道选择策略和算法是否适用，用于该系统时其性能如何，都需要进行分析还需要在理论上对极限情况进行推导，作为好的信道分配算法的理论依据。

④预留信道的确定

主要为了切换或者对时间敏感的实时业务进行信道预留，预留的数目的多少会对系统的容量和用户的满意度产生影响。

⑤信道分配算法的稳定性分析

有些分配算法策略性能很好，但对于功率、信道是否敏感是实际中能否采用的关键，对这方面可以从理论上进行分析，可以参照有线网络和蜂窝网络的结构进行分析，并在 DWCS 中进行这方面的初步探讨。

以上这些问题都是信道分配中必须要考虑的关键问题，它们关系着系统是否能够达到较高的系统容量、系统的优势能够得到发挥以及系统的规划、优化。

3.3.1 虚拟小区天线数确定分析与仿真

在用户建立呼叫时，必须建立自己的虚拟小区，确定自己的通信天线组，理论上参与通信的天线数越多，信号质量将越强，但付出的天线数越多，系统效率会下降，投资将增大^[18]。在研究中采用如图 4.1 所示的天线

分布阵列，选择最适合的天线数组。

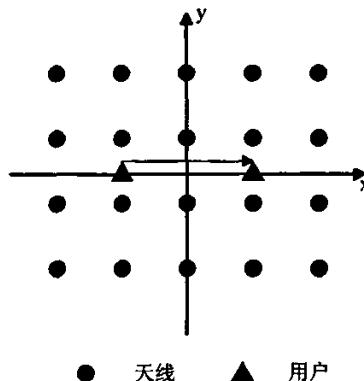


图 4.1 DWCS 中天线分布

信号在信道中的损耗分为两部分：路径损耗，等于用户到天线的距离 r 的 t 次幂， t 为衰减指数；阴影损耗 ζ ，均值为 0，标准差为 δ 。这里没有考虑快变化的瑞利衰弱。当用户与天线的距离为 r 时，损耗为：

$$PL = r^t 10^{\zeta/10} \quad \text{式 (4.1)}$$

将阴影损耗表示成两个量之和，一个在用户的近场，对所有天线都一样；一个仅对所接受的天线有关而对其他天线无关。因此， i 号天线的阴影损耗可表示为：

$$\zeta_i = a\zeta + b\zeta_i, \text{ 其中 } a^2 + b^2 = 1;$$

$$E(\zeta_i) = E(\zeta) = 0; \quad \text{Var}(\zeta_i) = \text{Var}(\zeta) = \delta^2.$$

式中 ζ 间是相互独立的。 $a^2 = b^2 = 1/2$, $t = 4$ 。

设用户到天线 k 的路径损耗为 PL_k ，单位为 dB，则：

$$PL_k = t \lg(r_k) + y_k \quad \text{式 (4.2)}$$

其中， r_k 表示用户到天线 k 的距离， t 为路径衰减指数， y_k 表示阴影衰弱。使用阴影衰弱自相关模型来产生在不同位置点上的阴影衰弱 y_{kj} 。

$$y_{kj} = \sqrt{1 - \alpha^2} u_j + \alpha y_{kj-1} \quad \text{式 (4.3)}$$

$\alpha = e^{-\delta/\lambda}$ ， δ 表示位置点 j 和 $j-1$ 的距离，参数 λ 决定了阴影衰弱变化速率。在此，设 $\delta = 2m$, $\lambda = 50m$ 。 u_j 为均值为 0，标准差 $\delta = 8dB$ 的高斯变量^[19]。

分集接收采用最大合并比 (MRC)，用户信号经过 m 根天线最大合并比后的平均路径损耗为：

$$PL = 10 \lg \left(1 / \sum_{k=1}^m \frac{1}{n} 10^{PL_k/10} \right) \quad \text{式 (4.4)}$$

选择通信天线数分别为 2、4、9、16 进行仿真，图 4.2 是在不同天线数下平均路径损耗的仿真图形。

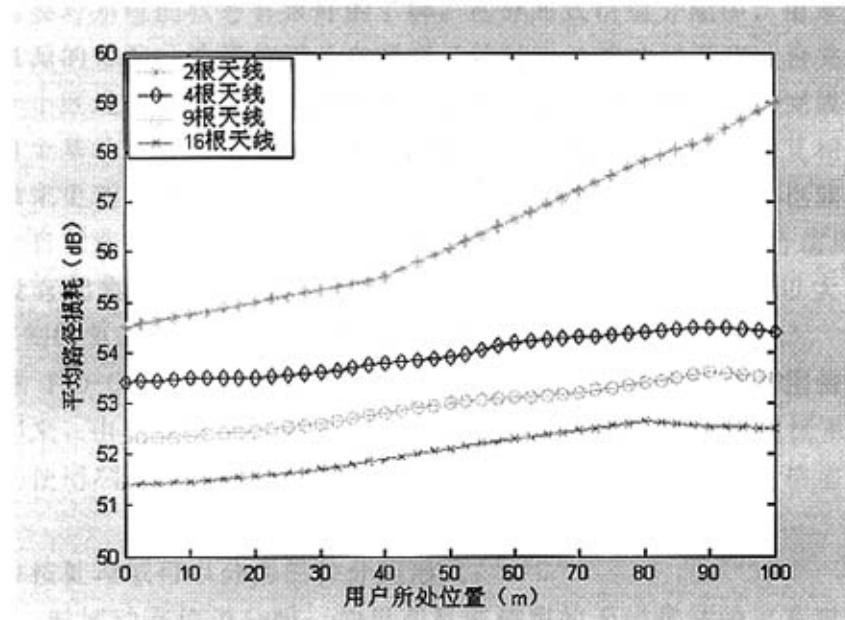


图 4.2 不同天线的平均路径损耗

从图上可以看到随着天线数的增多，带来的路径损耗增益逐渐不明显。4 根天线比 2 根天线带来最大 4dB 的增益，9 根比 4 根带来最大 1dB 的增益，而 16 根比 9 根不到 1dB。所以一味地依靠增加通信天线数不是一种有效地办法。4 根天线已经能够提供很好的性能。所以，在本论文中的研究中，虚拟小区的通信天线数取 4。

3.4 TDD-CDMA 动态信道分配技术及在 DWCS 中适用性分析

3.4.1 TDD-CDMA 动态信道分配技术

TDD 模式 CDMA 系统是结合时分和码分的一种多址通信方式，所有小区共用一段无线频率，并且小区之间是时隙同步的。其中信道是指时隙、扩频码甚至载频的一个组合。为了增加系统的容量，同时尽可能的减少系统的干扰，大量的信道分配算法和策略被提出并被研究。

①信道分配技术的分类

信道分配技术根据不同的标准可以分为不同的算法：

1) 按实现方式可以分为：集中式和分布式信道分配

集中式信道分配由无线网络控制器收集基站和移动台的信道信息，该方式需要对系统的状态有很好的了解。在分布式信道分配中，由本地决定信道资源的分配，选择信道是在呼叫开始时本地基站或者移动台完成的。在基于小区进行分布式控制的系统中，也就是信道选择由基站完成的系统中，每个基站对其范围内的可用信道做记录。各小区之间通过互相交换这些记录来更新信道可用性信息。而在完全自行组织的系统中，也就是靠移动台来自行选择信道的系统中，移动台根据其测量的 CIR 来进行信道选择，完全没有起集中信道分配作用的实体参与。这种方式虽然可以大大减少 RNC 控制的复杂性，但同时也造成了使用效率的降低。

在 TDD-CDMA 系统中，通常是把一定区域内的几个小区可用信道资源集中起来，由无线网络控制器 (RNC)。RNC 将根据小区呼叫阻塞概率、候选信道的使用频率、信道的再用距离等诸多代价函数，动态地将信道分配给呼叫。

2) 按处理域可以分为三种分配形式：

- a. 时域动态信道分配：如果在目前使用的无线载波的原有时隙中发生干扰，通过改变时隙可以进行的动态信道分配。
- b. 频域动态信道分配：如果在目前使用的无线载波的所有时隙中发生干扰，通过改变无线载波可进行频域动态信道分配。
- c. 空域动态信道分配：通过选择用户间最有利的方向去耦，进行空域动态信道分配。空域动态信道分配是通过智能天线的定向性来实现的，它的产生与时域和频域动态信道分配有关。

通过合并时域、频域和空域的动态信道分配技术，TDD-CDMA 系统能够将自身的干扰最小化，体现出其基本的 TDD-CDMA 方案的优势，从而取得良好的频谱效率和业务质量。

3) 按信道分配采用的算法分类，主要有三种分配方式，即：固定信道分配、随机信道分配和动态信道分配。

在 TDD-CDMA 中，DCA 可大致分为两个实施阶段，一个阶段是呼叫接入时的信道选择，即慢速 DCA，指对小区的资源分配，包括对不同小区的时隙分配以及在上下行之间的资源分配^[20]。另一个时呼叫接入后为保证业务质量所进行的信道重选，即快速 DCA，指把一个或多个物理信道分配给任何承载业务，资源的获得或释放是根据慢速 DCA 方案所提出的相关小区参考列表而决定的。

根据 DCA 的不同特点可以将 DCA 算法分为流量自适应和基于干扰两

种。

1) 流量自适应信道分配技术:

a. Markov 链解决上下行时隙分配问题

在只考虑单小区的情况下，可以采用马尔科夫链分析方法，根据业务的变化情况，调整上下行时隙的分界点。Markov 链法的要点是：把小区可能的呼叫状态（呼叫的数目和种类）看作为一个马尔科夫链，其状态转移概率可以根据呼叫的到达和持续概率函数来求得。由状态转移概率矩阵可以求得呼叫状态的概率分布，并由此得到系统的容量和频带利用率等性能指标。然后根据其中某个准则求得时隙的最优分界点。

Markov 链法是一种理论上的分析方法，计算量很大。在实际的应用中，数据可能会与分析结果有较大的出入，但趋势应该是一致的。因此，可以把分析结果作为供实际调整用的参考依据。而且为了达到最优的分界点，需要频繁的调整系统，对系统的稳定性有一定的影响。

b. 小区间不同时隙分配及上下行调节

这种方法里，小区之间的上下行时隙安排可以不同，只要每个时隙的信干比足够高（包括交叉时隙），就可以根据各自的业务不对称情况来分别调整相应小区的上下行时隙比如采用总容量最大或掉话率最小准则。由于小区之间时隙安排不同，所以相邻小区之间产生交叉时隙的干扰^[21]。在交叉时隙里，产生了不同于 FDD 模式的同类干扰：基站之间的干扰和移动台之间的干扰。在不考虑交叉时隙干扰的情况下，这种分配方法明显优于前面的小区间相同时隙分配。但由于交叉时隙的引入，在该时隙中建立的链路，其信干比可能达不到要求。

通过仔细的网络规划来提供足够的信号衰减，可以减少基站间的干扰。但是由于移动台的位置是随机变化的，这种方法不能很好的解决移动台之间的干扰。特别是当移动台位于小区别界时，一个发射的移动台很可能阻塞另一个正在接收的移动台。

但是，交叉时隙的问题可以通过增大干扰实体间的空间隔离度来改善。其中一种方法就是把每个小区分成内外两部分（一个外小区和一个圆形内小区），内小区的半径可以实际地加以调整，比如为小区半径的二分之一。只把交叉时隙的信道资源分配给位于内小区的移动台。外小区的移动台只能使用非交叉时隙的信道资源。

2) 基于干扰的动态信道分配策略

由于用户设备接收和发送数据的非连续性，中间存在空闲时间隔离，用户设备可以在空闲时隙中进行干扰测量。这种算法概述如下：一个结构

矩阵被定义为基于 Node 之间和环带（一个环带就是一个同时被几个 RAU 均匀覆盖的区域）之间路径损耗的覆盖矩阵。资源被分配的情况被记录在一个唯一的资源管理矩阵。

假如时隙中已经使用的码子达到了该时隙可使用的码字最大数。该时隙处于使用状态，反之处于空闲状态。

为了避免小区间的干扰的增加到无法接受的地方，可以采用以下资源阻塞策略：

温和策略：假如一个环带中的时隙严重干扰一个当前的呼叫，将该时隙阻塞。

攻击策略：假如一个环带中的时隙被当前的呼叫严重干扰，将该时隙阻塞。DRA 算法对实时和非实时业务是不同的：对于实时业务，资源在整个业务持续的时间都分配给该业务；对于非实时业务，只有在业务需要的传输的时间里被分配给该业务。

②TDD-CDMA 动态信道分配算法

TDD-CDMA 系统同时具备 CDMA 大容量和 TDMA 灵活分配时隙的特点。正是由于 TDMA 的特性，使得 TDD-CDMA 系统能够进行灵活的资源分配。由于所有小区共享同一频带，因此在多媒体通信中非对称业务占主导地位的情况下，造成了在 TDD-CDMA 系统中特有的上下行相互干扰的问题。

DCA 算法主要解决三个问题：

1) 由于小区间的业务量的不均匀分布，进而导致不同的小区对信道的需求量也不同，DCA 可以动态分配各个小区的信道数目。

2) 由于未来的通信系统更多将从传统的话音为主导的状况转变为话音和数据共存的情况，无线通信也不例外。下一代的无线通信就是以解决利用无线手段进行多媒体通信为目标的，因此，传统的通信系统中只有单一速率、上下行对称的话音业务，将变成以多速率、上下行不对称的多媒体业务为主导。由于不同的业务对传输的质量，以及对上下行资源的要求不同，使用 DCA 可以动态分配上下行信道资源。

3) 在 TDD 模式下，由于不同小区对上下行容量的需求是随着时间改变而改变，由此产生的严重的小区干扰也需要使用 DCA。由于传统的话音业务是上下行对称的，而数据业务是上下行非对称的，这种情况下的 DCA 就是要解决如何在上下行之间分配时隙。

然而这三个问题往往又是交织在一起，理想的 DCA 算法应该是能够同时解决这三个问题而达到真正的频率资源利用率的极大化。在 UTRA TDD CDMA 中提出的 DCA 算法也是基于所针对的问题，将 DCA 划分为

慢速 DCA (Slow DCA) 和快速 DCA (Fast DCA)^[22]。

1) 慢速 DCA

慢速 DCA 是指对小区的资源分配。其包括对不同小区的时隙分配以及在上下行之间的资源分配。

慢速 DCA 遵循以下原则^[22]:

a. 频域内，不同簇的可以进行频率复用。就一个没有干扰的 DCA 策略来说，需要进行对不同小区的时隙分配。在频域内的簇复用不需要进行频率规划。假如对于一个单一的运营商来说，有一多于一个的载频，也可以采用大于 1 的频率复用系数。

b. TDD 帧结构中任何一个特定的时隙都可用于上行或下行传输。因此，在上下行间的时隙分配可以很好地适应随时间变化的不对称业务。

c. 适应不同小区不同的业务，考虑到让相互严重干扰的小区使用不同的时隙，对小区的时隙分配(包括上行和下行时隙)在较长的时间范围内动态的进行重新分配(慢速 DCA)。相邻小区是否使用重叠的资源(相同时隙)，要具体视干扰的情况而定。

d. 于用户设备(UE)接收和发送数据的非连续性，中间存在空闲的时间间隔，UE 可以在空闲时隙中进行干扰测量。这一功能的可用性也使得运营者可以选择适合于其网络的 DCA 算法。

e. 考虑到不同小区对一资源的要求不同。基于一簇小区内的干扰，对时隙进行在该簇小区内的分配。

2) 快速 DCA^[22]

在新一代移动通信系统中，多媒体通信业务所占的比重越来越大；时为了提高系统的容量，小区的半径将进一步的缩小。无论是多媒体业务的比重增大，还是小区半径的缩小，对于系统的服务质量的保证能力都会有更高的要求。为了提供所需的质量保证，系统应该具有根据无线信道质量和用户业务要求，对已接入的用户信道进行调整的能力。

快速 DCA 可根据对专用业务信道或共享业务信道通信质量监测的结果，自适应的对资源单元进行调配和切换，以保证业务质量。快速 DCA 是在呼叫接入后，系统根据承载的业务要求、干扰受限条件以及终端移动要求，由 RNC 进行时隙和码道的动态调整以及信道间的切换。

3.4.2 适用性分析

通信系统的设计和性能是与所涉及的业务类型相关的，一个通信系统

要达到最优化，就必须要考虑到用户的业务类型。随着因特网的发展和多媒体业务所占比例的提高，原来主要用于对称的话音业务下的通信系统现在变得越来越满足不了需求了，这就要根据用户的业务要求使得无线网络自适应满足用户的需求。当然 DWCS 系统的概念正反映出了网络要根据用户的需求进行灵活地分配无线资源。

随着因特网和多媒体应用越来越占有重要的位置，上下行业务的不对称性越来越明显，突出表现在下行业务越来越多，尤其是在小区范围越来越小的情况下，不对称性变得更加显著。分布式无线通信天线的覆盖范围在 50—200 米左右，在这样的覆盖范围内，FDD 方式就意味着上行链路会有大量的无线资源空闲，而对于下行链路则是资源的匮乏；对于 TDD 方式则由于上下行资源的灵活分配，会更加充分利用资源。在某些情况下，和 FDD 方式相比 TDD 方式可以提高一倍的容量。因此 TDD 方式越来越受到人们的重视。

TDD 模式在小对称业务中有着不可比拟的灵活性，由于每帧内时域上下行切换的切换点可灵活变动，所以对于对称业务（语音和多媒体等）和小对称业务（包交换和因特网等），可充分利用无线频谱。

在 DWCS 通信系统中，多根天线的选择和拆除不断地变化着，这就要求采用动态的天线选择方案和信道分配方案更加地适合，由于没有小区的概念，代替它的是以用户为中心的虚拟小区的概念，而且虚拟小区是在不断变化着的，天线和信道选择的灵活性给系统带来实现的复杂性，天线的选择和用户的业务类型以及用户要求的服务质量联系在一起，而用户的业务类型又会涉及到上下行链路负载所占的比例关系，随着移动因特网和多媒体业务的比例越来越大，灵活的 TDD 方式给我们提供了很好的解决方案。分布式天线系统是以光纤传输系统到每个大楼为基础的，那么各个天线的距离平均为 50—200 米，这么密集的天线使得虚拟小区的半径大约为 100 米左右。从前面的分析来看，小区越小，那么业务的不平衡性就越突出，使得不同小区的上下行链路负载的不平衡性也越突出，对于 FDD 的双工方式，系统如果存在不对称业务就意味着无线资源的浪费，那么采用 TDD 方式由于可以通过改变转换点的位置来灵活地分配无线资源给上下行链路，使得在同一无线电载波下可以根据用户业务所要求的上下行链路比例关系来分配资源，从而很好的解决这一问题。不管是对称业务还是非对称业务，TDD 模式都可以提供最佳频谱利用率和最佳业务容量。分布式天线系统是以很多密集的天线、较小的覆盖范围为前提的，TDD 方式对于这样的系统是很适合的，使用 TDD 模式将业务的不对称性和信道分配的问题一同

进行考虑，将会使得 DWCS 网络达到最优化。

尽管 TDD 模式能够很好的解决上下行业务的不对称问题，通过无线资源的分配技术，能够充分利用资源，但是 TDD 方式也会带来一些问题，如图 4.3 所示。由于不同虚拟小区间的上下行业务的不对称性，从而带来各个不同虚拟小区间的上下行链路的相互干扰^[23]，在某些情况下，如果不采取措施，会使得相互间的影响造成通信能力的完全丧失。

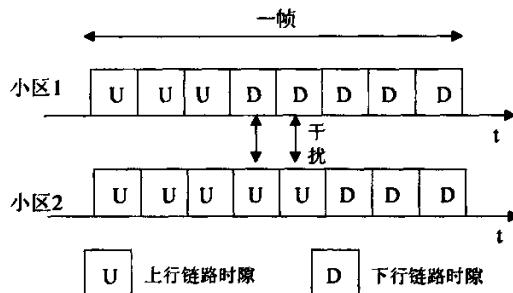


图 4.3 虚拟小区间的上下行链路干扰

因此，如何避免和减小这种干扰，保证接入用户的正常通信，并且获得最大的系统容量或频率利用率，这要求采取相应的信道分配策略，也正 TDD 方式能够得到良好运用的关键。

3.5 小结

本章内容的目的和意义就是在对 DWCS 信道分配问题分析的基础上，寻找适合的信道分配技术。

在第一节中通过对 DWCS 信道分配方式选择问题的分析，确定了采用动态信道分配（DCA）方式；在第二节中，对其信道分配涉及到的，如天线的选择等问题进行了分析和讨论，并对虚拟小区天线数的确定进行了理论和仿真分析，从而确定 4 为本文 DWCS 信道分配问题中涉及到的虚拟小区天线数；第三节主要是针对 DWCS 特点的信道分配技术选择问题的分析和讨论，通过对 TDD-CDMA 动态信道分配技术的分析和其在 DWCS 中的适用性分析，确定了在本文的 DWCS 信道分配问题中采用 TDD-CDMA 动态信道分配技术。

第四章 DWCS 信道分配算法

DWCS 系统中信道资源的分配选择问题主要是频点或时隙的选择问题，因为不同的频点和时隙选择会带来不同的干扰^[24]。本论文中的信道分配算法是针对基于 TDD 模式，多用户接入技术为 DS-CDMA 的 DWCS，利用慢速 DCA 解决针对 DWCS 结构特点和业务特点的信道分配问题，主要从两种结构模型进行分析，即双虚拟小区环境和多虚拟小区环境。在此，信道分配的目的是要寻找一个最优的时隙分配点，使小区的整体容量最大化。

4.1 双虚拟小区相同时隙动态信道分配算法

4.1.1 系统描述

在一帧中，至少有一个时隙分配给上行业务；至少一个时隙分配给下行业务；其余的时隙可以做上行业务，也可以用作下行业务。定义以下变量表示一帧中的时隙分配情况：

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_N$$

当 $\alpha_i = 0$ ，则分配给上行时隙；当 $\alpha_i = 1$ ，则分配给下行时隙。

为了分析的简便，假设双小区环境中只存在 A 类和 B 类业务，A 类和 B 类业务的上下行有效速率分别为 $R_A^u, R_A^d, R_B^u, R_B^d$ 。

如图 5.1 所示，考虑两个正四边形的相邻小区，其几何形状完全相同。在这里为了简化起见，假设在 A 小区里面只有 A 类业务，B 小区内只有 B 类业务。虽然这个双虚拟小区模型做了相当大的程度上的简化，但是将模型做适当的修改，就可以推广到更一般的，更具有实际价值的多虚拟小区模型中去。

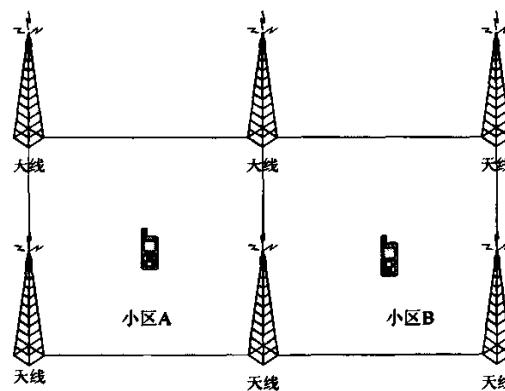


图 5.1 双虚拟小区结构模型

①业务模型：

模型 1：在系统中不同业务种类的多媒体业务同时并存。为了分析简便，假设有两种业务，分别为 A 和 B。

模型 2：每个连接请求（呼叫）分别为 λ_a 和 λ_b 的到达率的几何分布过程到达。这两种业务的到达是彼此独立的。

模型 3：在每帧的持续时间内，最多只有一个 A 类和 B 类业务被生成。假如 A 类和 B 类业务被同时生成，且没有足够的资源同时分配给 A 类和 B 类业务时，则 A 类业务得到服务，而 B 类业务被阻塞掉。

模型 4：每个呼叫的持续时间都是按几何分布的。呼叫的完成率为 $\mu_a = 1/T_a$, $\mu_b = 1/T_b$ 。式中， T_a 和 T_b 分别是 A 类和 B 类业务的持续时间。

模型 5：在一个呼叫持续的时间内，两种业务的数据活动被认为是彼此独立的，活动和非活动状态分别是几何分布。

模型 6：在 A 小区内只有 A 类业务，B 小区内只有 B 类业务，并且，A 类业务和 B 类业务的呼叫均匀地分布在每个时隙中。例如，在 A 小区中的分配给下行的时隙可以承载 M_a/N_d 呼叫。

其中， M_a 为 A 类业务的呼叫数； N_d 为帧结构中分配给下行的时隙数；相应的，设 M_b 为 B 类业务的呼叫数； N_u 为帧结构中分配给上行的时隙数； N 为帧结构中的总时隙数。

模型 7：在每个小区中都实行理想功率控制。

②上下行链路信干比分析

模型是分别对于 A 类和 B 类业务的上下行需要而考虑的。

1) 上行情况

在上行链路上采用基于信号功率的理想功率控制，虚拟小区各个天线的接收信号采用最大合并比接收分集，合并后的功率相同，设为 C ，虚拟

小区的天线数为 4。上行采用最大合并比接收分集后的信干比等于 4 根天线接收功率的总和 C 与单个天线上的高斯白噪声功率和其他用户干扰噪声功率之和的比。则：

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_A &= \frac{C}{\left(\frac{M_a}{N_u} - 1 \right) \frac{C}{4} \frac{NR_A^u}{B} + \zeta \frac{M_b}{N_u} C \frac{NR_A^u}{B}} \\ &= \frac{4BN_u}{(M_a - N_u)NR_A^u + 4\zeta M_b NR_A^u} \end{aligned} \quad \text{式 (5.1)}$$

式中， ζ 代表来自其他小区的干扰和来自本小区干扰的比值。B 为 TDD 带宽，分母的第一项为本小区用户的干扰，第二项为邻小区用户的干扰，这里省略高斯白噪声。相似地，小区 B 的上行信干比为：

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_B &= \frac{C}{\left(\frac{M_b}{N_u} - 1 \right) \frac{C}{4} \frac{NR_B^u}{B} + \zeta \frac{M_a}{N_u} C \frac{NR_B^u}{B}} \\ &= \frac{4BN_u}{(M_b - N_u)NR_B^u + 4\zeta M_a NR_B^u} \end{aligned} \quad \text{式 (5.2)}$$

2) 下行情况

信号在信道中的损耗分为两个部分：路径损耗和阴影损耗，这里没有考虑快变化的瑞利衰减。设单个天线的发射功率为 P_t ，移动台接收功率为 P_r ，则：

$$P_r = \sum_{i=1}^4 P_t k r_i^{-t} \quad \text{式 (5.3)}$$

式中， r_i 为移动台和天线 i 的距离， k 和 t 为常数。在 DWCS 中，采用前向功率控制，所以用户收到的功率为定值 P_R ，即 $\sum_{i=1}^4 P_t k r_i^{-t} = P_R$ 。在一定条件下，天线发射功率与信息速率成正比，则：

$$P_t^A / P_t^B = R_A^d / R_B^d \quad \text{式 (5.4)}$$

小区 A 的 A 类业务下行信干比为：

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_A^d &= \frac{P_R^A}{\left(\frac{M_a}{N_d} - 1 \right) P_R^A \frac{NR_A^d}{B} + \frac{M_b}{N_d} P_R^B \frac{NR_A^d}{B}} \\ &= \frac{BN_d}{(M_a - N_d)NR_A^d + M_b NR_B^d} \end{aligned} \quad \text{式 (5.5)}$$

相似的，小区 B 的 B 类业务下行信干比为：

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_A^d = \frac{BN_d}{(M_b - N_d)NR_B^d + M_aNR_A^d} \quad \text{式 (5.6)}$$

设 γ 为在系统中为了保证一定的传输质量而要求的信干比，则以下的四个不等式必须满足：

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_A^u \geq r_A^u$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_B^u \geq r_B^u$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_B^d \geq r_B^d$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_A^d \geq r_A^d$$

为了简单起见，令 $r_A^d = r_B^d = r_B^u = r_A^u = r$ 。

在多媒体业务中，各个用户产生的业务已经不再是单一的语音通信业务，不同的业务给网络带来的负载也不一样。因此，这里定义“集合数据速率（ADR）” K_i 来衡量系统的容量。

$$K_i = K_a + K_b = M_a(R_A^d + R_A^u) + M_b(R_B^d + R_B^u) \quad \text{式 (5.7)}$$

在实际的系统中，各小区间的 ADR 不会相差很大。所以增加下面两个不等式：

$$K_a \geq \beta K_b$$

$$K_b \geq \beta K_a$$

β 是调节小区之间 ADR 差距的因子， $\beta \in (0,1)$ 。

4.1.2 数值计算及仿真

在此信道分配问题中，就是要确定最优上下行时隙 (N_u, N_d)，满足以下六个条件，使系统容量 K_i 最大。

$$\frac{4BN_u}{(M_a - N_u)NR_A^u + 4\zeta M_b NR_A^u} \geq r$$

$$\frac{4BN_u}{(M_b - N_u)NR_B^u + 4\zeta M_a NR_B^u} \geq r$$

$$\frac{BN_d}{(M_a - N_d)NR_A^d + M_b NR_B^d} \geq r$$

$$\frac{BN_d}{(M_b - N_d)NR_B^d + M_a NR_A^d} \geq r$$

$$K_a \geq \beta K_b$$

$$K_b \geq \beta K_a$$

计算中，参数分别定义值为： $N=15$ ， $B=5MHz$ ， $r=5dB$ ， $\beta=0.5$ ， $\zeta=0.1$ ， $R_A^d = R_A^u = 6.4kbps$ ， $R_B^d = 12.8 kbps$ ， $R_B^u = 1.6 kbps$ 。这样，虚拟小区 B 的业务不对称因子就大于 A 小区。如 5.2 是通过软件计算得到的结果，对于不同的 N_u ，满足条件下获得最大的 K_t 。由于通常情况下 $R^d \geq R^u$ ，在图 5.2 中，只画出了 $N_d \geq N_u$ 情况下的计算结果。

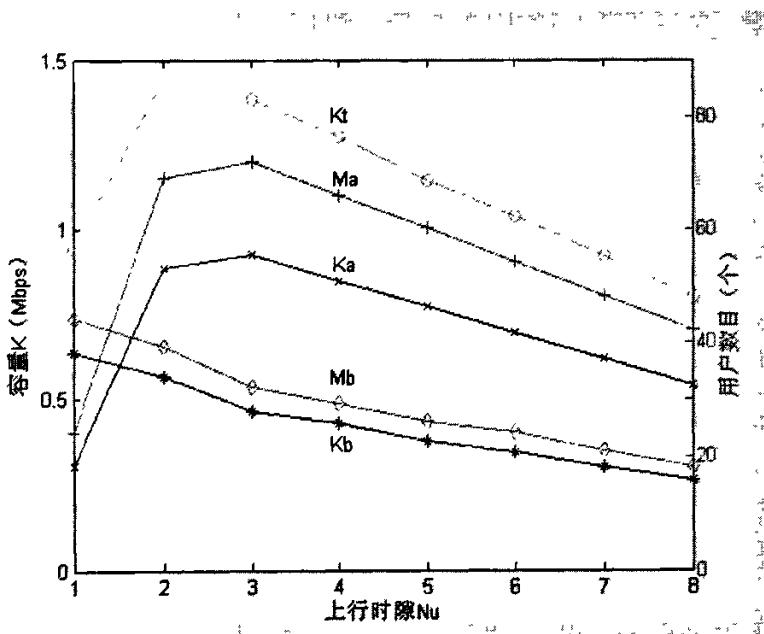


图 5.2 不同 N_u 下的容量和用户数目

从图中可以看出，随着 (N_u, N_d) 的变化，最大容量 K_t 也在变化，对于以上给定的参数，当 $(N_u, N_d) = (2, 13)$ 时容量最大为 1.44Mbps。当然上下行业务构成因子不同，其取得最大容量的 (N_u, N_d) 也会不同。

β 参数的作用是保证每个小区的集合数据速率，在表 5-1 中，对不同的 β ，分布计算了相应的最大用户数目和容量值。其他的参数与图 5.2 中的相同。 K_t ， K_a ， K_b 的单位为 Mbps。

表 5-1 β 参数对容量的影响

β	N_u	N_d	M_a	M_b	K_a (Mbps)	K_b (Mbps)	K_t (Mbps)
0	3	12	125	5	1.60	0.07	1.67
0.25	3	12	94	21	1.20	0.30	1.50
0.5	2	13	69	39	0.88	0.56	1.44
0.75	2	13	63	42	0.81	0.60	1.41
1	2	13	53	47	0.68	0.68	1.36

当 β 增大时, 总的容量 K_t 有所减小, 同时 K_a 和 K_b 差值也在减小。 $\beta=1$ 时是严格的约束, 两个小区必须要有同样大小的容量, $\beta=0$ 意味两个小区之间没有约束。

4.2 双虚拟小区交叉时隙动态信道分配算法

4.2.1 系统描述

在这个模型中, 依旧是基于每个时隙的信干比来动态的分配信道, 但是和相同时隙信道分配不同的是, 出现了交叉时隙^[25]。这些时隙可以同时进行下行和上行业务的传输。

①模型假设

假设一: 在 A 小区中只存在 A 类业务, 在 B 小区中只存在 B 类业务。

假设二: A 类业务的业务不对称因子小区 B 类业务的不对称因子。

假设三: 在每个小区都实现理想的功率控制。

在一帧中, 至少有一个时隙分配给上行业务; 至少一个时隙分配给下行业务; 其余的时隙可以做上行业务, 也可以用作下行业务。定义以下变量表示一帧中的时隙分配情况:

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_N$$

当 $\alpha_i=0$, 则分配给上行时隙; 当 $\alpha_i=1$, 则分配给下行时隙。

为了分析的简便, 假设双虚拟小区环境中只存在 A 类和 B 类业务, A 类和 B 类业务的上下行有效速率分别为 $R_A^u, R_A^d, R_B^u, R_B^d$ 。

依据 A, B 两小区的分配模式不同, 将 TDD 帧结构中的时隙分为三类:

- 1) 上行时隙: 在 A 小区和 B 小区中均分配给上行业务使用。
- 2) 下行时隙: 在 A 小区和 B 小区中均分配给下行业务使用。
- 3) 交叉时隙: 在 A 小区中作为上行时隙使用, 在 B 小区中作为下行时

隙使用。

由于在假设条件下，A 类业务的业务不对称因子小于 B 类业务的业务不对称因子，因此在网络完全负载的情况下，只存在分配给 A 类上行业务和 B 类下行业务共享的交叉时隙。交叉时隙的出现也反应了 TDD 模式中出现的特定的上下行互相干扰的问题。

所用符号说明：

N ：TDD 帧结构中的总时隙数。

N_u ：TDD 帧结构中上行时隙数。

N_d ：TDD 帧结构中下行时隙数。

N_c ：TDD 帧结构中交叉时隙数。

M_A ：A 类业务的呼叫数。

M_B ：B 类业务的呼叫数。

m_A ：A 类业务分配到交叉时隙中的呼叫数。

m_B ：B 类业务分配到交叉时隙中的呼叫数。

在此模型中，有以下关系：

$$N = N_d + N_u + N_c$$

假设在上行时隙、下行时隙和交叉时隙中，各类业务呼叫在各自分配的时隙中均匀分布。例如，在 A 小区中，一个下行的时隙承载 M_A/N_d 个 A 类业务呼叫。因为交叉时隙在 A 小区中是作为上行时隙用，一个上行时隙和一个交叉时隙可以分别承载 $(M_A - m_A)/N_u$ 和 m_A/N_c 个 A 类业务呼叫。同样地，在 B 小区中，一个下行时隙、一个交叉时隙和一个上行时隙可以分别承载 $(M_B - m_B)/N_d$ ， m_B/N_c 和 M_B/N_u 个 B 类业务呼叫。

②交叉时隙信号分析

1) 虚拟小区 A 中使用交叉时隙的上行信道分析

设 P' 为虚拟小区 A 中移动台发射功率，则虚拟小区 A 中天线的接收功率为 $P_A = P'k \sum_{i=1}^4 r_i^{-\nu}$ ，由于在上行链路上采用基于信号功率的理想功率控制，虚拟小区各个天线的接收信号采用最大合并比接收分集，合并后的功率相同，故：

$$P_A = P'k \sum_{i=1}^4 r_i^{-\nu} = 4P'_A k (\sqrt{2}D/2)^{-\nu} \quad \text{式 (5.8)}$$

其中 P'_A 为小区 A 中位于 A 处的移动台（如图 5.2 示），式中 k ， ν 为常数，在此计算中 $\nu = 4$ 。

由于在 DWCS 中采用的是 TDD 方式，在前向发送方式中采用最佳天

线发送方式^[26]，即系统选择前向信道质量最好的一个天线作为发送天线，一种实时的单天线发送方式。在本论文的分析中，虚拟小区 B 的发送天线为和小区 A 不相交的天线，如图 5.2 示。

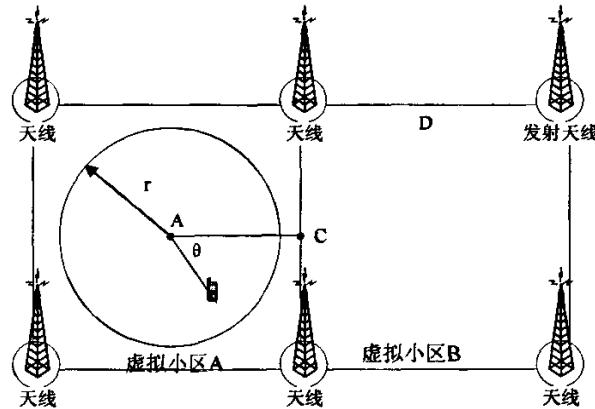


图 5.2 交叉时隙容量分析

由于在此 DWCS 的分析中，虚拟小区采用的是最大合并比分集接收，所以虚拟小区 A 中天线接收的虚拟小区 B 中发射天线的干扰功率为：

$$I_c^B = Q_B \frac{k}{4} \sum_{i=1}^4 r_i^{-\nu} \frac{m_B}{N_c} \quad \text{式 (5.9)}$$

式中 Q_B 为小区 B 中发射天线的发射功率； $\frac{m_B}{N_c}$ 为小区 B 交叉时隙中下行信道数； k ， ν 为常数，在此 ν 取 4； r_i 为小区 B 中发射天线与小区 A 中天线的距离。

所以，A 小区交叉时隙的信干比为：

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_A^c = \frac{P_A}{\left[\left(\frac{m_A}{N_c} - 1 \right) \frac{P_A}{4} + I_c^B \right] \frac{NR_A^u}{B}}$$

可以近似为：

$$\frac{4BN_C P_A^u}{[(P_A^u(m_A - N_c) + \frac{1}{12} Q_B m_B] NR_A^u} \quad \text{式 (5.10)}$$

式中， B 为扩频带宽，分母中括号里第一项为来自本小区使用交叉时隙用户的干扰，第二项来自邻小区发射天线的干扰，这里省略了背景噪声。

2) 虚拟小区 B 使用交叉时隙的下行信道分析

考虑在 B 小区中的移动台使用交叉时隙的下行信道，并且处在图 5.2 位置 C 时，交叉时隙下行信道最坏情况下的信噪比为：

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_B^c = \frac{Q_r^B}{\left[\left(\frac{m_B}{N_c} - 1\right)Q_r^B + I_c^A\right]NR_B^d} \quad \text{式 (5.11)}$$

式中, Q_r^B 为 B 小区中位于位置 C 用户的接收功率, $Q_r^B = k(\sqrt{5}D/2)^{-r}Q_B$; I_c^A 为 A 小区中使用交叉时隙 (半径为 r 的圆内) 的上行信道的干扰, 则:

$$I_c^A = \frac{m_A}{N_c} k P_t^A \int_0^r d\theta \int_0^{2\pi} \left(\frac{D}{2} - x \cos \theta \right)^{-v} dx$$

令 $\delta = r/D$, 则式 (5.11) 可以近似为:

$$\frac{m_A}{N_c} k D^{-4} P_t^A \left\{ \frac{-4 + 6\delta^2 - \delta^4}{\delta^4 (1 - \delta^2)^2} - \frac{4 \ln(1 - \delta^2)}{\delta^6} \right\} \quad \text{式 (5.12)}$$

③ 上行和下行时隙信干比分析

首先考虑下行时隙的信干比。在虚拟小区 A 中, 一个下行时隙可以承载 M_A/N_d 个 A 类业务呼叫; 在虚拟小区 B 中, 一个下行时隙可以承载 M_B/N_d 个 B 类业务呼叫。在 DWCS 中, 采用前向功率控制, 所以用户收到的功率为定值 P_r 。所以下行时隙信干比为:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_A^d = \frac{P_r^A}{\left(\frac{M_A}{N_d} - 1\right)P_t^A \frac{NR_A^d}{B} + \frac{M_B - m_B}{N_d} P_r^B \frac{NR_A^d}{B}} \quad \text{式 (5.13)}$$

式中, P_r^A 为 A 类业务的接收功率, P_r^B 为 B 类业务的接收功率。设 P_t^A , P_t^B 分别为 A 小区和 B 小区的天线发射功率, 则在一定条件下满足: $P_t^A/P_t^B = R_A^d/R_B^d$, 则式 A 小区的下行时隙信干比可表示为:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_A^d = \frac{BN_d}{(M_A - N_d)NR_A^d + (M_B - m_B)NR_B^d} \quad \text{式 (5.14)}$$

相似的, 可以得到虚拟小区 B 的下行时隙信干比:

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_B^d &= \frac{P_r^B}{\frac{M_A}{N_d} P_t^A \frac{NR_B^d}{B} + \left(\frac{M_B - m_B}{N_d} - 1\right) P_r^B \frac{NR_B^d}{B}} \\ &= \frac{BN_d}{M_A NR_A^d + (M_B - m_B - N_d) NR_B^d} \end{aligned} \quad \text{式 (5.15)}$$

做后考虑虚拟小区 A 和虚拟小区 B 中的上行时隙。一个上行时隙在虚拟小区 A 中可以承载 $(M_A - m_A)/N_u$ 个 A 类业务的呼叫; 在 B 小区中可以承载 M_B/N_u 个 B 类业务的呼叫。在 DWCS 中, 上行链路上采用基于信号功率的理想功率控制, 虚拟小区各个天线的接收信号采用最大合并比接收

分集，合并后的功率相同，设为 C ，上行采用最大合并比接收分集后的信干比等于 4 根天线接收功率的总和 C 与单个天线上的高斯白噪声功率和其他用户干扰噪声功率之和的比。令 ζ 为来自邻小区干扰的比例因子，则虚拟小区 A 和虚拟小区 B 的上行时隙信干比为：

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_A^u &= \frac{C}{\left(\frac{M_A - m_A}{N_u} \right) C \frac{NR_A^u}{4B} + \zeta \frac{M_B}{N_u} C \frac{NR_A^u}{B}} \\ &= \frac{4BN_u}{(M_A - m_A - N_u + 4\zeta M_B) NR_A^u} \quad \text{式 (5.16)} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_B^u = \frac{4BN_u}{(4\zeta M_A - 4\zeta m_A + M_B - N_u) NR_B^u} \quad \text{式 (5.17)}$$

设 γ 为在系统中为了保证一定的传输质量而要求的信干比，则以下的四个不等式必须满足：

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_A^u \geq r_A^u$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_B^u \geq r_B^u$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_B^d \geq r_B^d$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_A^d \geq r_A^d$$

为了简单起见，令 $r_A^d = r_B^d = r_B^u = r_A^u = r$ 。

同样在这里定义“集合数据速率 (ADR)” K_T 来衡量系统的容量。

$$K_T = K_A + K_B = M_a(R_A^d + R_A^u) + M_b(R_B^d + R_B^u) \quad \text{式 (5.18)}$$

在实际的系统中，各小区间的 ADR 不会相差很大。所以增加下面两个不等式，其中 $\beta \in (0,1)$ ：

$$K_A \geq \beta K_B$$

$$K_B \geq \beta K_A$$

4.2.2 数值计算及仿真

在此信道分配问题中，就是要确定最优上下行时隙 (N_u , N_d , N_c)，满足以下条件，使系统容量 K_T 最大。

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_A^c = \frac{4BN_cP_t^A}{[(P_t^A(m_A - N_c) + \frac{1}{12}Q_Bm_B]NR_A^u} \geq r$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_B^c = \frac{Q_r^B}{\left[\left(\frac{m_B}{N_c} - 1\right)Q_r^B + I_c^A\right]\frac{NR_B^d}{B}} \geq r$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_A^d = \frac{BN_d}{(M_A - N_d)NR_A^d + (M_B - m_B)NR_B^d} \geq r$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_B^d = \frac{BN_d}{M_A NR_A^d + (M_B - m_B - N_d)NR_B^d} \geq r$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_A^u = \frac{4BN_u}{(M_A - m_A - N_u + 4\zeta M_B)NR_A^u} \geq r$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_B^u = \frac{4BN_u}{(4\zeta M_A - 4\zeta m_A + M_B - N_u)NR_B^u} \geq r$$

$$K_A \geq \beta K_B$$

$$K_B \geq \beta K_A$$

式中， $N = N_u + N_c + N_d = 15$ ； M_A , M_B , m_A , m_B , N_u , N_c , N_d 均为自然数。

在计算中，我们使用以下参数值： $B = 5\text{MHz}$, $r = 5\text{dB}$, $\zeta = 0.1$, $N = 15$, $\delta = 0.25$, $Q_B = 1W$, $P_t^A = 2.5mW$, $R_A^d = R_A^u = 6.4\text{kbps}$, $R_B^u = 1.6\text{kbps}$, $R_B^d = 12.8\text{ kbps}$, $\beta = 0$ 。表 5-2 表示的是在给定 N_u 的情况下，使容量最大的最佳 (N_c , N_d) 时隙分配。例如当 $N_u = 3$ 时，达到最大容量的交叉时隙和下行时隙分配为 (5, 7)。

表 5.2 给定上行时隙的时隙分配

N_u	(N_c, N_d)	(M_A, M_B)	(m_A, m_B)	K_A (Mbps)	K_B (Mbps)	K_T (Mbps)
1	(8, 6)	(25, 80)	(6, 5)	0.32	1.15	1.47
2	(1, 12)	(74, 53)	(8, 4)	0.95	0.76	1.71
3	(5, 7)	(92, 52)	(11, 12)	1.18	0.74	1.92
4	(8, 3)	(121, 14)	(2, 9)	1.54	0.20	1.74
5	(5, 5)	(112, 8)	(1, 8)	1.43	0.12	1.55
6	(6, 3)	(103, 4)	(1, 3)	1.32	0.06	1.38
7	(6, 2)	(92, 1)	(0, 2)	1.18	0.01	1.19
8	(1, 6)	(79, 0)	(0, 1)	1.01	0	1.01

表 5.3 说明了交叉时隙算法中在虚拟小区业务不对称因子不同的条件下对系统容量的影响。表中计算参数的选择除了 R_B^d 外，其它的与表 5.2 相同，计算中我们固定 R_B^u 的值，通过改变 R_B^d 的值来产生不同的业务不对称因子。

表 5.3 不同的业务不对称因子下的最优时隙分配

R_B^d (Kbps)	(N_u, N_c, N_d)	(M_A, M_B)	(m_A, m_B)	K_A (Mbps)	K_B (Mbps)	K_T (Mbps)
1.6	(5, 2, 8)	(120, 89)	(12, 0)	1.54	0.28	1.82
3.2	(4, 5, 6)	(115, 66)	(0, 10)	1.47	0.33	1.80
4.8	(4, 5, 6)	(113, 61)	(0, 13)	1.45	0.39	1.84
6.4	(3, 5, 7)	(109, 60)	(0, 12)	1.40	0.48	1.88
12.8	(3, 5, 7)	(92, 52)	(11, 12)	1.18	0.74	1.92
25.6	(10, 2, 3)	(132, 14)	(13, 10)	1.69	0.38	2.07

表 5.4 β 参数对容量的影响

β	(N_u, N_c, N_d)	(M_A, M_B)	(m_A, m_B)	K_A (Mbps)	K_B (Mbps)	K_T (Mbps)
0	(3, 5, 7)	(92, 52)	(11, 12)	1.18	0.74	1.92
0.25	(3, 6, 6)	(86, 55)	(10, 12)	1.10	0.79	1.89
0.5	(2, 9, 4)	(79, 56)	(9, 12)	1.02	0.80	1.82
0.75	(2, 8, 5)	(73, 57)	(8, 12)	0.93	0.82	1.75
1	(2, 8, 5)	(67, 60)	(5, 13)	0.86	0.86	1.72

β 参数的作用是保证每个小区的集合数据速率，表 5-4 中，对于不同的 β 分别找到了最佳时隙分配和系统容量。随着 β 的增加，总的系统容量在减小，虚拟小区 A 和 B 的容量差值也在减小。 $\beta=0$ 是两个小区中对于容量比率没有限制，而 $\beta=1$ 是两个小区的容量必须相等。在实际应用中， β 的值要根据实际的情况需要而定。

4.3 DA 算法与 SA 算法比较

双虚拟小区相同时隙算法(SA 算法)和双虚拟小区交叉时隙算法(DA 算法)是两种不同的信道分配解决方法，下面我们将对两种算法分别进行了比较。

图 5.3 是对于给定的上行时隙 N_u ，SA 算法和 DA 算法的比较。其中参数选取如下： $B=5MHz$ ， $r=5dB$ ， $\zeta=0.1$ ， $N=15$ ， $\delta=0.25$ ， $Q_B=1W$ ， $P_t^A=2.5mW$ ，

$R_A^d = R_A^u = 6.4 kbps$ ， $R_B^u = 1.6 kbps$ ， $R_B^d = 12.8 kbps$ ， $\beta=0$ 。对于 SA 算法，我们假定 $N_c=0$ 。图中给出了在 N_u 确定的情况下，基于 DA 算法的最佳时隙分配(Best selection)产生的容量，和基于 DA 算法最坏的时隙分配(Worst selection)产生的容量，来分别和 SA 算法进行比较。

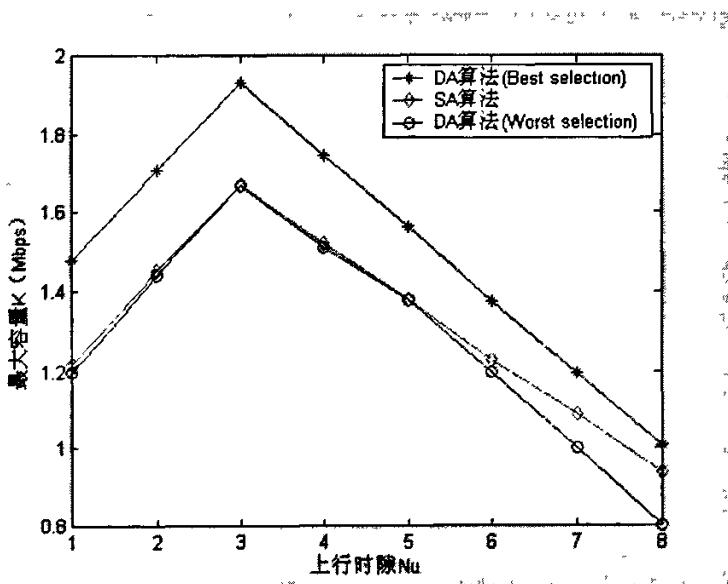


图 5.3 DA 和 SA 算法比较 (基于给定 N_u 的容量分析)

从图 5.3 我们可以看出，DA 算法的最佳时隙分配时的容量总是高于 SA 算法最佳时隙分配时的容量，但是 DA 算法最坏时隙分配时的容量要较

DA 算法最佳时隙分配时的容量要小。这表明在上下行时隙中如果不进行最佳的时隙分配，那么 DA 算法很可能就不能达到好的效果，甚至还不如 SA 算法，所以在进行信道分配及时隙的选择时一定要做到最佳的时隙分配，这样才会有最大的系统容量。

图 5.4 是 DA 算法和 SA 算法针对相同的业务不对称因子和信干比 r 的系统容量对比，其中采用的参数除了 R_B^d 与图 5.3 中的相同。

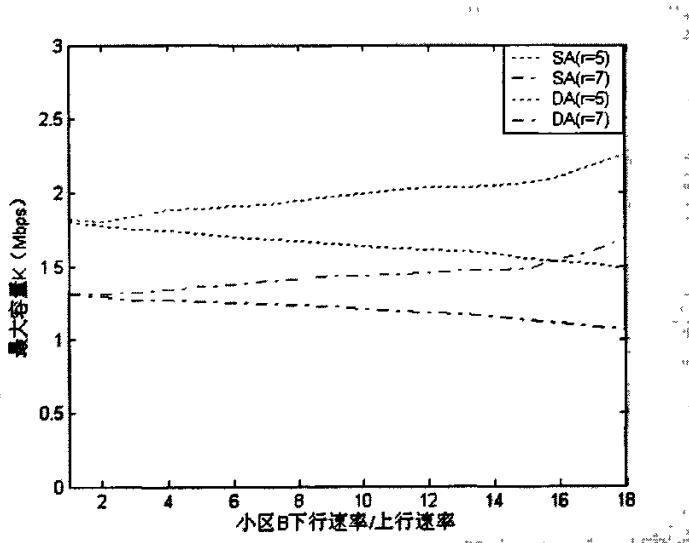


图 5.4 DA 算法和 SA 算法比较（基于不同业务不对称因子和 r 的容量分析）

从图中可以看到，不管是 DA 算法还是 SA 算法，随着 r 的增大容量都在减小，但是 DA 算法的容量总是大于 SA 算法的容量；并且，随着业务不对称因子的增大，基于 DA 算法的系统容量在增大，而基于 SA 算法的容量在减小，因此随着业务不对称因子的增大，两种算法产生的系统容量的差值也越大。这是因为即使两个虚拟小区中的业务不对称因子不同，DA 算法总是会利用交叉时隙来合理的分配时隙使其达到最佳组合，来增大系统容量。

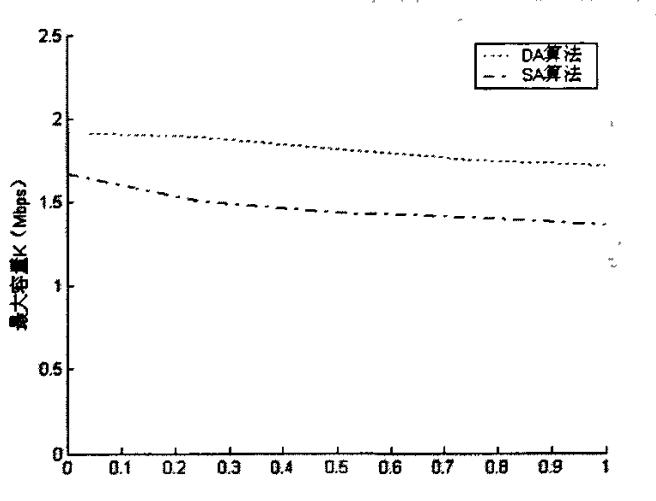


图 5.5 DA 算法和 SA 算法比较 (基于不同 β 值的容量分析)

图 5.5 是 DA 和 SA 算法针对 β 值不同的容量比较。其中参数除 β 外都与图 5.3 中的相同。随着 β 的增大，两种算法中系统容量都在减少，但是基于 DA 算法的容量总是大于基于 SA 算法的容量，这是因为 DA 算法利用交叉时隙有很大的自由度找到最佳的时隙分配，使系统容量增大。

从以上的分析可以看出，DA 算法总是要优于 SA 算法，但是 DA 算法相对于 SA 算法要复杂。那么在实际的应用中，应根据具体的情况即虚拟小区的业务不对称性来选择更能提高频带利用率信道分配算法。

4.4 多虚拟小区环境下动态信道分配算法

在这个模型中，针对虚拟小区间业务不对称性的不同，提出了一个使系统资源利用率极大的简单算法。

4.4.1 系统描述

定义 1 时隙不对称因子 γ : $\gamma = \frac{N_d(\text{分配给下行的时隙数})}{N_u(\text{分配给上行的时隙数})}$

式中， $N_u + N_d = N$ ， N 为 TDD 帧结构中的总时隙数。

定义 2 单个业务不对称因子 $\delta_b = \frac{\rho_d(\text{单个下行业务负载速率})}{\rho_u(\text{单个上行业务负载速率})}$

$$\text{定义 3 虚拟小区业务不对称因子 } \delta = \frac{\sum_{i=1}^N \overline{\rho_d^i} (\text{下行业务的平均负载速率})}{\sum_{i=1}^N \overline{\rho_u^i} (\text{上行业务的平均负载速率})}$$

由于在实际的多小区环境中，不同虚拟小区的业务不对称因子 δ 是不相同的，而且各虚拟小区的业务不对称因子随时间的不变化也是变化的。所以合理的 γ 可以充分地提高系统的资源利用率。本模型中各虚拟小区的时隙不对称因子是相同的。

设一共有 M ($M \geq 2$) 个虚拟小区， i ($1 \leq i \leq M$) 虚拟小区的业务不对称因子为 δ_i 。假设每个小区的业务不对称因子在一定时间内是不变的，也就是说，在一定的时间内，进行通信的多媒体业务的单个业务不对称因子都为 δ_i ，因此在各个虚拟小区内的多媒体业务数量的增加和减少都不会影响整个小区的业务不对称因子。

这里不考虑虚拟小区间的干扰，并且假设所有小区具有承载相同负载的能力。有了这个假设，才能使目标函数的形式十分简单。一般而言，系统资源的利用率为时隙不对称因子的函数，令 $\mu_i(\gamma)$ 代表第 i 小区的资源利用率，并再假设系统中请求的资源数要大于系统可分配的资源数。在这个假设的前提下，当 $\gamma \leq \delta_i$ 时，一个新的多媒体业务请求将由于下行资源的缺乏而阻塞。因而使用的上行资源占用整个上行资源的比例为 γ/δ_i ，所以 $1-(\gamma/\delta_i)$ 的上行资源被浪费了，整个上下行资源的利用率为：

$$\mu_i(\gamma) = \frac{(\gamma/\delta_i) \times 1 + \gamma}{1 + \gamma} = \frac{(\delta_i + 1)\gamma}{(1 + \gamma)\delta_i}$$

相同的，当 $\gamma > \delta_i$ 时，

$$\mu_i(\gamma) = \frac{(\delta_i/\gamma) \times \gamma + 1}{1 + \gamma} = \frac{\delta_i + 1}{1 + \gamma}$$

令 $U_T(\gamma)$ 代表整个 M 个虚拟小区平均的资源利用率，因为在前面已假设了每个小区具有承载相同负载的能力，所以这里的 $U_T(\gamma)$ 的定义只需要取简单的代数平均即可，即：

$$U_T(\gamma) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \mu_i(\gamma)$$

模型的求解目标就是使 $U_T(\gamma)$ 极大化。

4.4.2 模型求解

使 $U_T(\gamma)$ 极大化的求解满足以下条件：

$$\mu_i(\gamma) = \begin{cases} \frac{(\delta_i+1)\gamma}{(1+\gamma)\delta_i} & \gamma \leq \delta_i \\ \frac{\delta_i+1}{1+\gamma} & \gamma > \delta_i \end{cases}$$

假设总时隙数 $N=15$, 我们可以给 γ 一个限定, 令 $\frac{8}{7} < \gamma < \frac{14}{1}$, 且:

$$\gamma = \frac{N - N_u}{N_u} \quad \left(1 \leq N_u \leq \frac{N}{2}, N_u \text{ 为自然数} \right)$$

模型的求解是一个整数规划的问题。令 $\delta_1 \leq \delta_2 \leq \cdots \leq \delta_M$; 向量 $\Delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_M)$, 且 $\delta_{l_1} = \delta_1 < \delta_{l_2} = \delta_2 < \cdots < \delta_{l_k} = \cdots = \delta_M$, 也就是说向量 Δ 中有 K 个不同的值。 $l_j (1 \leq j \leq k)$ 的值是相同的几个 δ_i 中最小的一个 i 。

将 $\gamma > 0$ 的区间划分为 $K+1$ 个分区间, 这 $K+1$ 个分区间为:

$$0 < \gamma \leq \delta_{l_1}, \delta_{l_1} < \gamma \leq \delta_{l_{k+1}} (1 \leq k \leq K-1), \delta_{l_k} < \gamma$$

$$\textcircled{1} \text{ 当 } 0 < \gamma \leq \delta_{l_1} \text{ 时, } U_T(\gamma) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \mu_i(\gamma) = \frac{\gamma}{M(1+\gamma)} \sum_{i=1}^M \frac{(\delta_i+1)}{\delta_i}$$

是随着 γ 的增加而单调增加的。所以当 $\gamma = \delta_{l_1}$ 时, $U_T(\gamma)$ 取得最大值。

\textcircled{2} 当 $\delta_{l_k} < \gamma \leq \delta_{l_{k+1}} (1 \leq k \leq K-1)$ 时,

$$U_T(\gamma) = \frac{1}{M} \left[\frac{1}{1+\gamma} \sum_{i=1}^{l_k-1} (\delta_i+1) + \frac{\gamma}{1+\gamma} \sum_{i=l_k+1}^M \frac{\delta_i+1}{\delta_i} \right]$$

$$\frac{dU_T(\gamma)}{d\gamma} = \frac{1}{M} \left[\frac{-1}{(1+\gamma)^2} \sum_{i=1}^{l_k-1} (\delta_i+1) + \frac{1}{(1+\gamma)^2} \sum_{i=l_k+1}^M \frac{\delta_i+1}{\delta_i} \right]$$

令 $\frac{dU_T(\gamma)}{d\gamma}$, 则:

$$\sum_{i=1}^{l_k-1} (\delta_i+1) = \sum_{i=l_k+1}^M \frac{\delta_i+1}{\delta_i}$$

当 $\sum_{i=1}^{l_k-1} (\delta_i+1) < \sum_{i=l_k+1}^M \frac{\delta_i+1}{\delta_i}$ 时, $U_T(\gamma)$ 是单调上升, 当 $\sum_{i=1}^{l_k-1} (\delta_i+1) > \sum_{i=l_k+1}^M \frac{\delta_i+1}{\delta_i}$ 时,

$U_T(\gamma)$ 是单调下降。令 $s = \min_k \left[\sum_{i=1}^{l_k-1} (\delta_i+1) > \sum_{i=l_k+1}^M \frac{\delta_i+1}{\delta_i} \right]$, 则 $U_T(\gamma)$ 在区间 $[\delta_{l_k}, s]$ 是

单调递增, 而在 $[s, \delta_{l_k}]$ 是单调递减的; 当 $\gamma = s$ 时, $U_T(\gamma)$ 达到最大值。

③ 当 $\delta_{l_k} < \gamma$ 时,

$$U_T(\gamma) = \frac{1}{M(1+\gamma)} \sum_{i=1}^M (\delta_i + 1)$$

$U_T(\gamma)$ 在这个区间是单调递减。当 $\gamma = \delta_{l_k}$ 时, $U_T(\gamma)$ 取得最大值。所以, 使 $U_T(\gamma)$ 取得最大值的 γ 为:

$$\gamma = \min_k \left[\delta_{l_k} \left| \sum_{i=1}^{l_k-1} (\delta_i + 1) > \sum_{i=l_k+1}^M \frac{\delta_i + 1}{\delta_i} \right. \right]$$

4.4.3 数值结果与仿真

假定 $N = 15$, 则 γ 的值是 $8/7, 9/6, \dots$ 和 $14/1$ 。假定虚拟小区的数目为 10, 针对对称的业务类型如语音和不对称的业务类型如 Internet 接入, 我们考虑两种业务, 业务 A 和业务 B。业务 A 中, $\Delta = (1, 1, 1, 1.5, 1.5, 1.5, 2, 2, 2)$; 业务 B 中, $\Delta = (3, 3, 4, 4, 4, 5, 5, 5, 6, 6)$; 对于每种情况, 我们都找到了 $U_T(\gamma)$ 随 γ 变化的结果和 $U_T(\gamma)$ 利用率最大的, 如图 5.6 示。

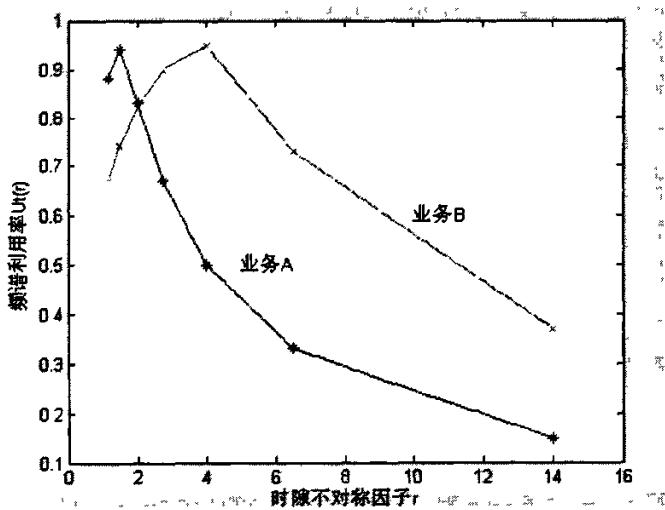


图 5.6 不同时隙不对称因子的最大频谱利用率

从图中可以看出, 对一个特定的业务环境, 系统总的频谱利用率随时隙不对称因子 γ 的不同变化很大, 例如在业务 A 中从 0.94 到 0.14。另外, 使频谱利用率最大的 γ 随着业务的不同也在变化。总的来说, 影响一个系统的频谱利用率的因素有很多, 但时隙不对称因子是个很重要的因素。

4.5 小结

本章是对基于 TDD 模式、DS-CDMA 多址接入技术的 DWCS 系统信道分配问题具体算法的研究，分别对双虚拟小区和多虚拟小区模型进行分析。

在双虚拟小区模型中根据小区间的业务特性，采用了两种算法：寻找一个最优的上下行时隙分界点而不导致交叉时隙出现的两个小区使用相同时隙的 SA 算法和采用交叉时隙的 DA 算法。

在 SA 算法中，小区之间的时隙安排是完全相同的，可以根据业务不对称性来调整上下行，但是由于不同小区可能存在的业务对称性不同，采用这种方法不能达到最优的频带利用率。

在 DA 算法中出现了交叉时隙，交叉时隙的出现造成了小区间的实体干扰，但是这种干扰可以通过增大干扰实体间的空间隔离度来改善。把虚拟小区分成内外两部分，只把交叉时隙分配给位于内小区的移动台，这种分配方法在多业务的环境下性能要优于小区间使用相同的分配模式性能。在对 DA 和 SA 算法分别分析的基础上对两种算法的性能进行了比较，因为 DA 算法能够利用交叉时隙来合理的分配时隙，所以其频带利用率要高于 SA 算法。

在多虚拟小区模型的分析中，利用了数学模型进行求解。这种动态信道分配方法与数学优化问题紧密相连，因此存在高度复杂和运算时间长的缺点，除理论上给出系统可以达到的最佳容量外，实际中并不常用。

第五章 全文总结

DWCS 是一个新的无线通信系统，目前仍处在研究阶段。本文在对 DWCS 概念说明的基础上，分析了其良好的性能和系统容量，并且与传统的蜂窝小区进行了比较；主要对无线资源管理之一的信道分配进行了具体的研究。本文的具体研究如下：

- ① 阐明 DWCS 的概念，分析其性能，总结其特点。
- ② 针对 DWCS 通信系统的特点，确定合适的信道分配技术，并对其信道分配时所涉及的问题进行研究。分析表明，TDD 模式的信道分配技术在 DWCS 中具有良好的适应性。在 DWCS 信道分配涉及的问题中，天线的选择和天线数的确定是重点，本文对此进行了分析与仿真。
- ③ 针对采用 TDD 模式、空中接入技术采用 DS-CDMA 的 DWCS 通信系统，具体研究信道分配算法。分别对双虚拟小区和多虚拟小区模型进行分析。

在双虚拟小区模型中根据小区间的业务特性，采用了两种算法：寻找一个最优的上下行时隙分界点而不导致交叉时隙出现的两个小区使用相同时隙的 SA 算法和采用交叉时隙的 DA 算法。在 SA 算法中，小区之间的时隙安排是完全相同的，可以根据业务不对称性来调整上下行；在 DA 算法中出现了交叉时隙，即同时可以进行上行和下行业务的实现。在对 DA 和 SA 算法分别分析的基础上对两种算法的性能进行了比较，因为 DA 算法能够利用交叉时隙来合理的分配时隙，所以其频带利用率要高于 SA 算法。

DWCS 是一个需要更加深入研究的领域，而信道分配又是一种实时需求。在理论的分析上，本文的信道分配算法适合于该系统，并且能达到良好的频带利用率，但是当 DWCS 应用于实际的无线通信中进行实际组网时，到底该采用什么样的信道分配方案，随着 DWCS 研究的深入，还有什么更好的信道分配策略和算法等等，都是需要进一步研究的课题。

致谢

值此论文完成之际，我深深感谢导师邱绍峰教授对我的指导和教育。两年多来，不论在课程的学习、课题的研究、论文的选题还是具体的工作，在各个方面我都得到了邱老师的悉心指导和鼓励。邱老师是一位十分和蔼的人，他总是为我们的学习和工作着想，作为一名导师，他一丝不苟的履行着他的职责。同时邱老师渊博的知识、严谨的治学态度、开阔的思维方式和忘我的科学献身精神不仅给我留下了深刻的印象，更是我今后学习和工作的榜样。

同时，非常感谢教研室主任张治中教授，感谢他为我们提供了宽松的学习和工作环境，让学生们能够安心的学习和工作，也感谢他对我学习、生活和工作上的帮助。

再次，我要感谢通信网与测试重点实验室的各位老师对我的教育、培养和帮助。

同时还有感谢我的同学及所有师兄师姐的帮助和支持。

参考文献

- [1] 尤肖虎, 曹淑敏, 李建东. 第三代移动通信系统发展与展望[J]. 电子学报, 1997,27(11A):3-8.
- [2] 韦惠民等. 蜂窝移动通信系统. 西安电子科技大学出版社. 2002.5 第一版.
- [3] 王艺, 赵明, 周世东等. 分布式天线通信系统的概念平台[J]. 电子学报, 2002,30(7):937-940
- [4] Jing Wang, Yan Yao, Ming Zhao, Shidong Zhou, Yi Wang, Xibin Su. Concept Platform of Distributed Wireless Communication System. VTC Spring 2002.IEEE 55th, 2002, 2(5..):593-597.
- [5] Shidong Zhou, Ming Zhao, Xibin Xu, Jing Wang, and Yan Yao, Tshinghua University. Distributed Wireless Communication System: A New Architecture for Future Public Wireless Access. IEEE Communication Magazine. March 2003.
- [6] Wang J, Zhao M, Xu X, Yao Y. Research on hardware platform of the software radio[J]. IEICE Trans Commun, 2002, E83-B(6):1210-1216.
- [7] Jae Hyuck Lee, Jae Ho roh, Chang Eon Kang. Reverse link capacity analysis of DS-CDMA system with distributed antennas using selection diversity[J]. Electrics Letters 9, 2000, 36(23):I 962-963.
- [8] 郑建宏, 毛翔羽. DS-CDMA 系统反向链路功率控制研究. 重庆邮电学院. 2004.
- [9] Shee Yao, Geraaniotis,E. Optimal Power control for multimedia multirate CDMA system. Vehicular Technology Conference ,1996 IEEE 46th. Volume 1, may 1996 Page(s):392-396.
- [10] 曹达仲, 徐京皓. 移动通信系统中的动态信道分配问题. Radio Communication Technology. 1997 Vol.23 No.3.
- [11] Theodore S Rappaort. Wireless Commubications Principles and Practice Prentice-Hall. INC 1996
- [12] 张平等著. WCDMA 移动通信系统. 人民邮电出版社.2001.7 第一版
- [13] Gennaro Boggia. Modeling Dynamic Channel Allocation in Multicellular Communication Network[J]. IEEE Journal on Selected Areas In

Communication, 2001,19(11)

[14]C Mihailesu, X Lagrange, Ph Godlewski. Dynamic Resource Allocation in Locally Centralized Indoor System. Proc. VTC, 1998,48(2):533-541

[15]尤克,胡智娟等. 现代数字移动通信原理及实用技术.北京航空航天大学出版社. 2001.3 第一版

[16]Anil M.Shende. Channel Assignment for Wireless Networks Modelled as Cellular and d-dimensional Square Grids. April 20,2002

[17]Berg M. A concept for hybrid random/dynamic radio resource management. In: Proc PIMRC98, Boston, USA.

[18]LI Z, NIU K, WU W L, The comparison of handoff in DWCS and cellular system[A]. World Wireless Congress[C]. San Francisco, USA, 2004, 581-586.

[19] Kenneth K J. A Radio Access System with Distributed Antennas[J]. IEEE Trans. Veh. Technol., 1991,40:261-272.

[20]Theodore S Rappaport. Wireless Communications Principles and Practice Prentice-Hall. INC 1996.

[21]Miao Qingyu, Wang Wenbo, Yang Dacheng, Wang Daqing. An analysis of the interference in the TDD-CDMA system. IEEE Volum1, sept.2000 Page(s):333-337 vol.1.

[22]3GPP Radio Resource Management Strategies T R 25.922 V3.2.0(2000-06).

[23]Harri Holma, Sanna Heikkinen, Otto-Aleksanteri Lehtinen, etal. Interference Considerations for the Time Division Duplex Mode of the UMTS Terrestrial Radio Access. IEEE Jour. Sele. Areas in Commun., 2000,18(8).

[24]吴树兴, 吴伟陵. 基于分布式天线无线通信系统的信道选择策略. 无线电工程. 2005.2

[25] Ming Yang, Chong, P.H.J. Cross Time Solt Caoacity Analysis for TDD CDMA System Uplink Transmission. IEEE. 15-17 Nov. 2005 Page(s):1-5.

[26] 吴树兴, 吴伟陵. DWCS 中前向发送方式研究. 无线电工程. 2005.Vol.35 NO.1.

附 录

参加研究工作：

1、重庆市本地互联网交换中心结算及安全的方案论证，主要工作：

①对本地交换和远程交换的性能进行对比和分析；

②利用理论和仿真分析指出本地互联网交换中心的重要意义。

2、存储局域网 SAN 相关协议和传送网承载技术的实用性研究，主要工作：

①研究在 SAN 内部和 SAN 之间实现高速连接所采用的各种网络协议及协议的可用性和实用性；

②研究基于一定的局部应用系统平台的高速有效的 SAN 数据存储策略模型，并进行存储备份方案的设计；

③研究传送网承载技术对存储区域网络的适应性问题。

发表论文：

2006.5 重庆邮电学院学报 本地互联网交换中心性能仿真分析