

有序分布式正三角形小区结构的 功控算法和中断容量分析

王 振,吕星哉,朱近康

(中国科学技术大学个人通信与扩频实验室,安徽合肥 230027)

摘要:正确选择小区内部的分布式天线模块可以提高覆盖区的通信质量,如果各分布式天线模块之间没有能量协作,也即每个天线模块都有自己的功率限制,那么天线模块的覆盖范围会小于只有和功率限制的天线模块的覆盖范围.综合考虑分布式天线模块选择和天线模块的功率限制,提出了一种正三角形小区通信系统(triangular cellular communication system, TCCS)和相应的下行功率控制策略.基于多小区环境和单用户系统的假设,研究了 TCCS 的中断容量.仿真实验表明,TCCS 在小区的不同部分都具有平坦的容量分布.实验数值分析进一步说明,即使各天线模块都有功率限制,TCCS 仍然可以增大覆盖面积,并且 TCCS 的容量高于使用传统分布式功控策略系统.

关键词:有序分布式天线系统;功控算法;中断容量;分布式天线;三角形小区

中图分类号:TN912

文献标识码:A

Power control and outage capacity analysis of orderly distributed triangular cellular communication systems

WANG Zhen, LV Xing-zai, ZHU Jin-kang

(PCN&SS Lab USTC, Hefei 230027, China)

Abstract: An orderly distributed antenna system (ODAS) is proposed. Within a cell, the quality of communications can be enhanced by the layout of the distributed antenna modules, but if it is assumed that there is no power cooperation among the distributed antenna modules, namely, with the per-antenna constraints, an antenna module can cover less area than one with the total power constraints only. A triangular cellular communication system (TCCS) and its power control scheme are thus proposed. Then, outage capacity of TCCS is studied based on the single-user assumption and multi-cell environment. Numerical simulation shows that TCCS has a smooth capacity distribution in different parts of the cell. Furthermore, TCCS can enlarge its covering area with the per-antenna constraints and has more capacity than those with the traditional power control scheme.

Key words: orderly distributed antenna system; power control; outage capacity; distributed antenna; triangular cell

0 引言

在小区结构内部采用分布式系统,而小区之间的位置和越区管理仍然是有序的,这样的多小区结构称为有序分布的小区结构.相关研究已经指出,分布式天线系统(DAS)是一种能够获得更多系统容量、更大覆盖范围和更少实施代价的一种先进构架.分布式天线模块取代传统的基站设备而降低了费用.基带数字信号由基站控制器统一处理,基站控制器和天线模块之间通过光纤连接交换数据.DAS基本上是干扰受限系统,所以它的性能主要取决于多用户之间的干扰以及来自其他同频小区的干扰.由于前向功率控制对整个系统容量的显著影响,它正受到越来越多的关注和研究^[1~3].

文献[1]研究了分布式天线系统的信息理论容量,它采用的前向功控策略是发送功率,与距离移动台最近的天线单元所经历的路径损耗成比例.仿真表明,接收机的位置会影响 DAS 的容量,而且增加分布式天线单元的数目会降低整个系统的容量,这是因为所增加的较远处的分布式天线单元具有较差的信道增益.基于对分布式天线系统中天线模块选择的理论分析,本文提出了正三角形的小区拓扑结构,并且基于天线单元和移动台之间的距离,定义了两种不同的小区区域:靠近小区顶点的 60° 扇形区域为单一覆盖区;三角形小区的中心区域定义为交叉覆盖区.在每种小区区域中,采用不同的前向功控策略使得整个系统的容量分布对移动台的位置不敏感.

文献[2]得出结论:在采用 CDMA 的分布式天线系统中,如果下行利用宏分集同时发射信号,那么无论采用什么功率策略都不会提高下行容量.但是这个结论是建立在和功率受限的假设下得出的,即所有分布式天线的发射功率之和不能超过某一门限.当考虑更加实际的假设条件时,即每个分布式天线模块都有自己的最大发射功率上限,情况就不同了.文献[3]考虑了每个天线模块功率受限和单用户情况,在此情况下,每个天线单元最好的发射功率策略是其容许的最大功率发射.文献[3]的研究表明,一个天线单元发射功率决定它的覆盖范围,如果限制每个天线单元的最大功率上限,那么它的覆盖范围一定比只有和功率限制的天线单元的覆盖面积小.本文提出的下行功率策略在不增加对其他小区同频干扰的同时,能够在天线单元发射功率受限的

条件下,采用多天线单元同时发射来增大覆盖范围.

1 系统模型

1.1 分布式基站选择和有序分布的小区结构

在一个特定的覆盖区域内分布着一定数量的分布式基站,它们共同收发并处理覆盖区内移动台的信号(如文献[1]中的分布式系统),这样的系统称之为全分布式系统.近期的研究工作已经开始对收发过程中分布式基站的集合进行规划^[4,5],即在所有的分布式基站中选出一部分作为通信的基站集合.研究表明,距离移动台较远的分布式基站,因为发射信号经历较大的大尺度衰落降低了发射功率的效率,从而不被选为发射基站集合中的元素.

分布式基站选择实际上是一种工程布网的过程,与链路级的 MIMO 技术中的天线选择有所不同.链路级 MIMO 技术是为了在分集增益不变的前提下节约射频链路的开销,其目的是在空间分集或空间复用的前提下,最小化发射功率、最小化误码率或最大化吞吐率.在工程布网过程中,信道快衰落可以通过时间平均消除其影响,只考虑路径损耗和阴影的作用^[4].而工程布网的目的的一方面是在提供某一级别的服务时保证覆盖;另一方面是尽量减少基站设备的数量,节约成本.这就要求布网后在覆盖区域中的任何地理位置上的接收端,SNR 最大化.下面给出两个定理,定理的证明见附录.

定理 1.1 如果一个全分布式系统的下行和功率受限,且分布式基站知道大尺度衰落信息,各基站的大尺度衰落按升序排列,那么为了使覆盖区域内任意地理位置上的接收端信噪比最大化,分布式基站分配到的功率应满足与大尺度衰落相同的排序.

定理 1.2 如果一个全分布式系统的下行和功率受限,且分布式基站知道大尺度衰落信息,那么为了使覆盖区域内任意地理位置上的接收端信噪比最大化,基站选择的结果是全部能量分配给大尺度衰落最小的基站.

1.2 三角形小区结构

考虑多个全分布式系统共同组成多小区环境的情况,即每个全分布式系统看作一个小区,我们称这样的多小区结构为有序分布的小区结构.每个小区内部是一个分布式系统,可以通过布网规划和优化确定分布式天线模块的位置和个数,小区之间的地理位置和越区管理则是有序的.为了限制小区间干扰,本文规定分布式系统下行总功率受限.另外,在

一个小区内,每个分布式天线模块由于其射频放大器的限制具有一定的发射功率上限,由定理 1.2 可知,小区内天线模块选择的结果是把全部能量都分配给大尺度衰落最小的天线模块,而大尺度衰落是路径衰落和阴影衰落的乘积,是一个随机变量(假设各天线模块到移动台的阴影衰落独立同分布),当移动台距离一个天线模块很近而距离其他天线模块很远时(如位于单一覆盖区时),可以认为距离近的天线模块的大尺度衰落以很高的概率小于距离远天线模块,应该把所有功率分配给距离近的天线模块,超过射频放大器限制的功率可以通过增加同一个天线模块上的天线数目来补充;而当移动台距离多个天线模块的距离近似相等时(如位于交叉覆盖区时),天线模块的大尺度衰落也近似相等,故为了取得平均的效果,采用多个天线模块同时发射。

Roh 等^[6,7]定义了一种统一分布式天线系统结构 (generalized distributed antenna system, GDAS),并且研究了这种结构的性能. 三角形小区中分布式天线模块分别位于三角形天线的三个顶点上,每个天线波束覆盖一个 60°扇区. 与 GDAS 相类似,本文以 (M, L, N) 来表示小区中的收发天线. M 是移动台接收天线数, N 是分布式天线模块数(三角形小区中 N 等于 3), L 是位于相同分布式天线模块上的不相关天线数. 一个多小区情况下的有序分布三角形结构如图 1 所示。

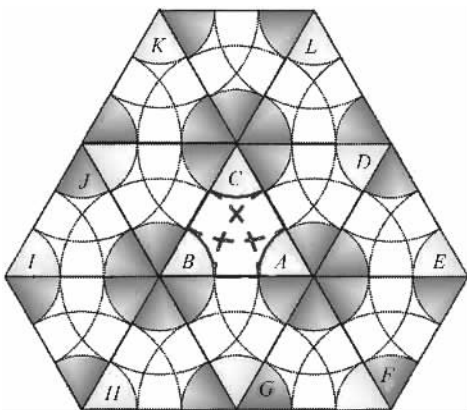


图 1 有序分布三角形小区结构和多小区环境
Fig. 1 Orderly distributed triangular cell and multi-cell environment

一个区域可以用三角形、矩形、正六边形等无缝覆盖. 在传统蜂窝结构的通信系统以及一些分布式天线通信系统中^[1~3], 正六边形用来作为小区的拓扑结构,但正如文献^[8]所指出,增加分布式天线模

块的个数反而会降低系统容量. 如果考虑来自相邻小区的共道干扰,这种现象可以理解为:在多小区情况下,如果为了提高接收端的接收信号能量而增加发射功率,同时也增加了来自相邻小区的共道干扰,这种反作用使接收端的信号-干扰、噪声(SINR)比下降,从而降低系统容量。

图 1 中,三角形 ABC 是一个基础的三角形小区,它与其他相邻小区(如 ACD, ABG, CKL)一起形成多小区来无缝覆盖整个区域. 假设频率复用因子为 1,来自最近的天线 $D, E, F, G, H, I, J, K, L$ 的信号会干扰位于中心的小区 ABC 。

1.3 信道模型

本文用符号“ $*$ ”表示共轭转置。

为了分析简便,我们假设单用户情况. 许多多用户系统实际上也正是基于这样的假设,包括 TDMA, FDMA, OCDMA, OFDMA 等. 三角形小区 (M, L, N) 中,在一个符号周期内接收端接收到的信号表示为

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}^{(0)} \cdot \mathbf{X}^{(0)} + \sum_{i=1}^K \mathbf{H}^{(i)} \cdot \mathbf{X}^{(i)} + \mathbf{Z} \quad (1)$$

式中, M 行 $N \times L$ 列矩阵 $\mathbf{H}^{(i)}$ 表示第 i 个小区中 $N \times L$ 个不相关的发射天线到 M 个接收天线的信道矩阵, $\mathbf{X}^{(i)} = \text{diag}(\sqrt{p_1^i}, \dots, \sqrt{p_L^i}, \dots, \sqrt{p_1^N}, \dots, \sqrt{p_L^N})^{(i)} \cdot \mathbf{U}^{(i)}$ 是有 $N \times L$ 个元素的列向量,表示第 i 个小区中的 N 个分布式天线模块的发送信号,其中, $\sqrt{p_L^N}$ 是第 N 个分布式天线模块上的第 L 根天线的功控因子, $\mathbf{U}^{(i)}$ 是第 i 个小区对感兴趣的用户的发送信号. \mathbf{Y} 和 \mathbf{Z} 都是有 M 个元素的列向量,分别表示 M 个接收天线上的接收信号和零均值单位方差的加性高斯白噪声(AWGN). 方程(1)右边的第一部分代表本小区内的有用信号,第二部分代表来自其他 K 个小区的干扰. 小区中采用发射分集技术和相应的接收技术,例如采用正交空时编码(OSTBC)^[9]. 从第 j 根发送天线到第 i 根接收天线的信道增益可以表示为^[1]

$$h_{i,j} = r_{i,j}^{-\alpha} \cdot \beta_{i,j} \quad (2)$$

式中, $r_{i,j}$ 表示从第 j 根发送天线到第 i 根接收天线的距离. α 是路径损耗因子,本文设为 3. $\beta_{i,j}$ 表示第 j 根发送天线和第 i 根接收天线之间的小尺度衰落和阴影衰落,它的幅值服从 Rayleigh 分布,均方值是一个 log-normal 随机变量,其均值为零、方差为 σ_s , 本文取 $\sigma_s = 8$ dB. 此外,本文假设信道是平衰落信

道,并且经历快衰落.

1.4 功率控制策略

本文在引言部分已经提到,一个三角形小区包括两种区域:一种是单一覆盖区,另一种是交叉覆盖区.这两种区域是依据从分布式天线单元到移动台的距离来定义的.在每根天线具有最大发射功率上限的限制条件下,天线具有一定的覆盖范围,这个覆盖区域被定义为单一覆盖区.需要强调的是,各单一覆盖区之间互不重叠,那么三角形中心剩余的区域定义为交叉覆盖区,如图 1 中的三角形小区结构所示.

如图 2 所示,我们在这两种区域中采用不同的功率控制策略,其中单一覆盖区半径 R_1 也就是一个分布式天线单元的最大功率覆盖半径.从分布式天线到移动台的距离为 r ,我们定义了如下功率控制策略:

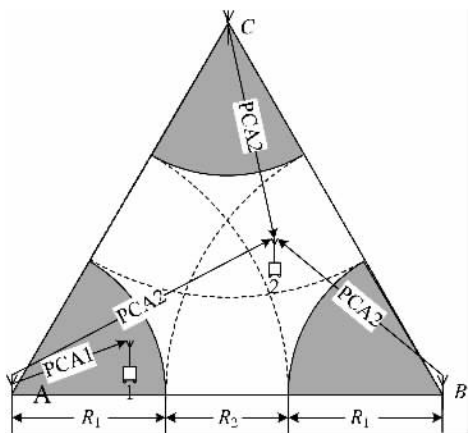


图 2 单一覆盖区的功率控制策略 PCA1 和交叉覆盖区的功率策略 PCA2

Fig. 2 Power control scheme PCA1 in the uni-covered region and PCA2 in multi-covered region

单一覆盖区功率控制算法(PCA1)

$$\left. \begin{aligned} &\text{if } \min(r_i) \leq R_1, i=1,2,3 \\ &P_i = P_0 \cdot r_i^3 \quad i = \arg(\min(r_i)) \\ &P_i = 0, \quad \text{otherwise} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

交叉覆盖区功率控制算法(PCA2)

$$\left. \begin{aligned} &\text{if } \min(r_i) > R_1, i=1,2,3 \\ &P_i = P_0 \cdot R_1^3 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中, r_i 是移动台到每个分布式天线单元的距离.当移动台处于单一覆盖区时,只有最近的天线单元与其通信,其他的天线单元发射功率为零,所以他们对其他小区的共道干扰为零.当移动台处于交叉覆盖区时,所有分布式天线单元以功率上限同时与其通

信.如果假设时间同步是完善的,那么移动台可以利用空间分集来维持一定的接收端 SINR 门限.所以在没有增加天线最大发送功率的情况下,小区的覆盖面积增大了.

1.5 性能比较条件

如上所述, R_1 是单一覆盖区半径, $R_2 = 0.5R_1$, 设 R'_1 是采用文献[1]的功率控制算法时的最大覆盖半径.为了覆盖相同的面积, R_1 应该等于 $0.8R'_1$.为了公平地比较采用文献[1]的功率控制算法和采用本文中提出的功率控制算法所获得的系统容量,本文提出以下假设:首先,采用两种功率控制算法时要求的覆盖面积相同;其次,两种功率控制算法下,单位覆盖面积上的总发送功率相同.采用本文提出的发送功率策略时收发天线的数目相同.例如,如果移动台位于交叉覆盖区时,收发天线数表示为(1,1,3),当移动台位于单一覆盖区的时候,收发天线数表示为(1,3,1).所以,采用 PCA1 和 PCA2,在三角形小区中每个分布式天线对移动台的平均发射功率为

$$\frac{NL \cdot \int_0^{\frac{\pi}{3}} \int_0^{R_1} P_0 \cdot r^3 \cdot r dr d\theta + L \cdot P_0 \cdot R_1^3 \cdot S_{\text{multi}}}{S_{\text{triangle}}} \quad (5)$$

采用文献[1]的功率控制策略,每个分布式天线对移动台的平均发射功率为

$$\frac{NL \cdot \int_0^{\frac{\pi}{3}} \int_0^{R'_1} P_0 \cdot r^3 \cdot r dr d\theta}{S_{\text{triangle}}} \quad (6)$$

式中, S_{multi} 和 S_{triangle} 分别是交叉覆盖区面积和三角形小区面积, r 是移动台到分布式天线单元的距离.设 $N=3$,那么由式(5)和(6)可得,采用两种功率控制策略时,单位面积上的发射功率相同.

2 系统中断容量

分析系统的信道容量时,一般基于两种假设:一种是只有接收端知道信道状态信息(CSI);另一种是收发两端都知道信道状态信息.有三种基本的信息理论容量,各态历经容量(ergodic capacity)、中断容量(outage capacity)、最小速率容量^[10](minimum rate capacity).本文基于平衰落信道和快衰落的假设条件,信道快衰落可以通过时间平均消除其影响,故只考虑路径损耗和阴影的作用^[4].由于在允许的时延内信道大尺度衰落无法遍历所有的状态,故本文研究 90% 中断容量,中断概率为 0.1,即系统容量以 90% 的概率高于门限值.并且发射端知道信道的

大尺度衰落信息。

信道容量可以表示为^[11]

$$C = \log \det(\mathbf{I}_M + \frac{P}{N \times L \cdot \sigma^2} \mathbf{H}\mathbf{H}^*) = \sum_{i=1}^K \log\left(1 + \frac{\rho}{N \times L \lambda_i}\right) \quad (7)$$

式中, K 是信道相关矩阵的秩, λ_i 是 $\mathbf{H}\mathbf{H}^*$ 的特征值, \mathbf{I}_M 是 M 阶单位阵, $P = E[\mathbf{X}^{(0)*} \cdot \mathbf{X}^{(0)}]$ 是发送信号功率, $\rho = \frac{P}{\sigma^2}$ 。需要说明的是, 首先, 同一天线单元上的天线有相同的阴影效应; 其次, 来自其他相邻小区的干扰应该考虑在 σ^2 内, 也就是说, ρ 是发射信号的信干比(SINR)。

3 数值仿真

下面对两种功控策略下的 90% 中断容量进行比较和研究。归一化的最大覆盖半径 $R'_1 = 1.25$, 在这样的假设条件下, 我们有 $R_1 = 1$ 。信道快衰落可以通过时间平均消除其影响, 故只考虑路径损耗和阴影的作用^[4]。收发天线间的阴影衰落服从零均值方差 $\sigma_s = 8$ dB 的 log-normal 分布。图 1 中各小区间频率复用因子为 1, 以小区内的平均发射功率(如式(5), (6))作为对其他小区的干扰。

本文考察在三角形小区的一个顶点到对边的垂线上, 等间隔的 22 个点上的中断容量, 研究接收机的地理位置对分布式天线系统容量的影响。如图 3 所示, 我们可以得到如下结论: 第一, 采用本文的功控策略时, 在 $r \leq 1$ 的单一覆盖区中系统容量较高, 为 7.2 bits/(s · Hz), 在 $r > 1$ 的交叉覆盖区中系统容量较低, 约为 5 bits/(s · Hz)。这是因为从单一覆盖区向交叉覆盖区过渡时, 收发天线数目相同, 但是一部分地理位置离接收端近的发射天线变成地理位置较远的其他分布式天线单元的天线, 而干扰水平基本维持不变, 所以这个过渡过程中接收端的 SNIR 会下降。例如, 发射天线从 (1, 3, 1) 变为 (1, 1, 3) 就是 2 个共同位于近端天线单元的发射天线分别变成了不同远端天线单元上的发射天线。第二, 当采用传统功控策略时, 在小区的中心可以获得最高的系统容量, 并且高于本文提出的交叉覆盖区中的容量, 这是因为传统功控中没有天线功率上限的约束, 所以在小区中心附近传统功控的发射功率大于本文中 PCA2 的发射功率。第三, 在单一覆盖区和交叉覆盖区中系统容量的分布都是比较平坦的, 这是因为

在单一覆盖区中功控策略 PCA1 可以抵消传播损耗, 而在交叉覆盖区中来自其他小区的干扰(OCD)都因路径衰落而变得较弱并且几乎相同。

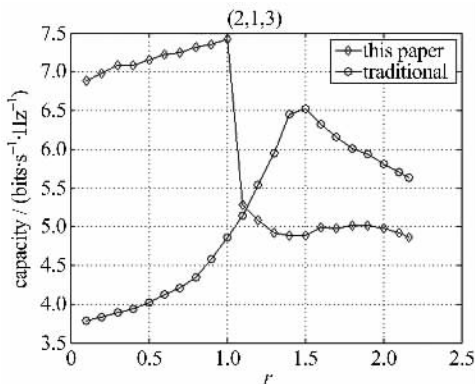


图 3 三角形小区容量分布

Fig. 3 Capacity distribution in the triangular cell

在三角形小区的一条线段上接收端容量受地理位置的影响见图 3。下面我们考虑在整个小区中不同地理位置上容量的平均水平。图 4 显示了系统平均容量水平随分布式天线的平均发射信干比 ρ 的变化, 由图 4 可以看出, 当平均发射信干比从 0 dB 变化到 30 dB 时, 系统容量增加到一个极限值。利用本文提出的功控策略, 系统容量是利用传统功控策略系统的 2.3 倍。在每根天线功率受限的假设下, 天线单元可以节约那些超出功率上限的功率。这样我们可以在一个天线模块中放置更多的天线来获得更高的系统容量。

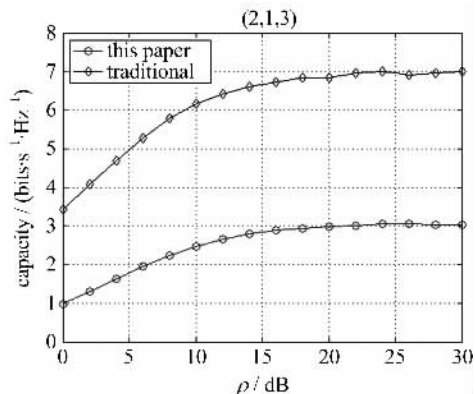


图 4 容量随 ρ 的变化以及两种不同功控策略下的容量比较
Fig. 4 Capacity variation with ρ and capacity comparison between two power control schemes

系统容量和接收天线数、发送天线数的关系如图 5 所示。与点对点的 MIMO 系统相似, 系统容量与收发天线的最小值成比例关系。并且, 在图 5(a),

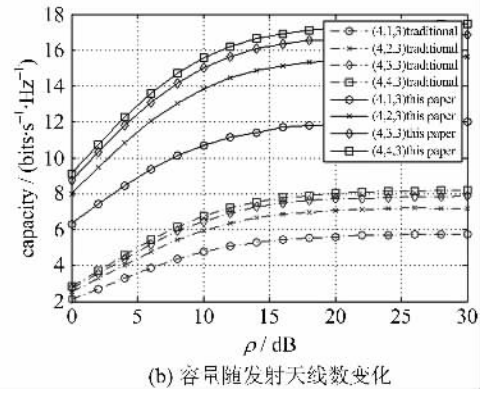
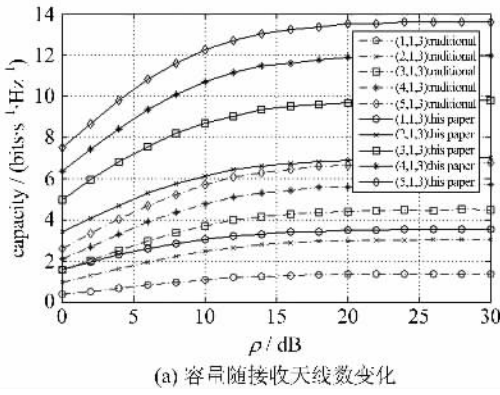


图 5 容量随天线数变化

Fig. 5 Capacity variation with the number of the antenna

(b)中可以看到,利用本文提出的功控策略,系统容量比利用传统功控策略的系统提高了100%。

4 结论

本文分析了全分布式系统功率分配和基站选择的一般性结论.基于有序分布式系统结构,并结合分布式天线模块选择和天线模块的功率限制提出了一种三角形的小区结构,并且定义了单一覆盖区和交叉覆盖区.进而,为了满足每根天线功率受限的前提,本文在定义的不同区域采用了不同的功率控制策略.通过数值仿真,我们发现在单一覆盖区和交叉覆盖区中系统容量的分布都是较平滑的.利用本文提出的功率策略,系统容量是利用传统功控策略的小区系统容量的2倍.此外,系统容量和收发天线数目之间的关系与传统点到点的MIMO系统相似.我们注意到,单一覆盖区中的系统容量高于交叉覆盖区中的容量,因为考虑到每根天线功率受限的前提,交叉覆盖区中移动台的下行功率不足以完全抵消路径衰落.本文的主要贡献是提出了一种三角形小区的拓扑结构以及相应的功控策略,在每根天线功率受限条件下,数值仿真表明,这样的策略可以增大小区覆盖并且增大小区系统容量.

附录

(I) 定理 1.1 证明

定理 1.1 可以表示为如下最优化问题:

对于覆盖区中任意地理位置的移动台 m , 找到一种功率分配使得

$$\max\left(\sum_{j=1}^{|A|} P_0 \cdot \tilde{\omega}^j \cdot \tilde{r}^j\right) \quad (\text{A1})$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{j=1}^{|A|} \tilde{\omega}^j = 1 \quad (\text{A2})$$

式中,集合 A 表示系统中的所有分布式基站的集合, P_0 是系统中所有分布式基站下行和功率, $\tilde{\omega}^j$ 是第 j 个分布式基站上的功率分配因子, \tilde{r}^j 是从第 j 个分布式基站到移动台 m 的大尺度衰落.

引理 1.1 对于两个实序列 $\{a_i\}_{i=1}^n$ 和 $\{b_i\}_{i=1}^n$, 有 $a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_n, b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_n$, 如果 c_1, c_2, \dots, c_n 是 b_1, b_2, \dots, b_n 的任一排列, 则有

$$\sum_i a_i b_i \geq \sum_i a_i c_i \geq \sum_i a_i b_{n-i+1} \quad (\text{A3})$$

文献[12]中给出了引理 1.1 的证明, 这里我们直接运用它的结论.

不失一般性,把功率分配因子和大尺度衰落分别以升序排序,表示为

$$\omega^1 \leq \omega^2 \leq \dots \leq \omega^{|A|}, r^1 \leq r^2 \leq \dots \leq r^{|A|} \quad (\text{A4})$$

由引理 1.1 可知

$$\max\left(\sum_{j=1}^{|A|} P_0 \cdot \tilde{\omega}^j \cdot \tilde{r}^j\right) = \sum_{j=1}^{|A|} P_0 \cdot \omega^j \cdot r^j \quad (\text{A5})$$

故定理 1.1 得证.

(II) 定理 1.2 证明

对于基站集合 A , 假设存在一组大尺度衰落和功率分配的排序满足式(A4), 且该功率分配可以使式(A5)最大化, 当通过天线选择去掉一个大尺度衰落最大(r^1)的基站时, 基站集合变为式(A1), 并且有

$$\frac{\sum_{j=1}^{|A|} P_0 \cdot \omega^j \cdot r^j}{\sum_{j=1}^{|A|} P_0 \cdot \omega_{A1}^j \cdot r_{A1}^j} = \frac{\sum_{j=1}^{|A|} P_0 \cdot \omega^j \cdot r^j}{\sum_{j=2}^{|A|} P_0 \left(\omega^j + \frac{\omega^j}{1 - \omega^1}\right) \cdot r^j} =$$

$$\begin{aligned}
 (1 - \omega^1) \cdot \left(1 + \frac{\omega^1 \cdot r^1}{\sum_{j=2}^{|A|} \omega^j \cdot r^j} \right) &\leq \\
 (1 - \omega^1) \cdot \left(1 + \frac{\omega^1}{\sum_{j=2}^{|A|} \omega^j} \right) &= \\
 (1 - \omega^1) \cdot \left(1 + \frac{\omega^1}{1 - \omega^1} \right) &= 1 \quad (A6)
 \end{aligned}$$

式中, ω_{A1}^i, r_{A1}^i 分别表示式(A1)中各基站的功率分配因子和大尺度衰落, 且满足升序排列. 式(A6)中把去掉的那个基站上分配的功率 ω^1 按照 $(\omega^2, \dots, \omega^{|A|})$ 中各元素的比例关系重新分配给各基站. 式(A6)中的不等式利用了不等式条件(A4). 故每次去掉一个大尺度衰落最大的基站, 优化目标式(A5)都会增大. 当基站集合 A 只包含一个大尺度衰落最小的基站时, 所有功率都分配给该基站, 并且式(A5)达到最大值. 故定理 1.2 得证.

参考文献(References)

- [1] Xiao L, Dai L, Zhuang H R, et al. Information-theoretic capacity analysis in MIMO distributed antenna systems [C]// 57th IEEE Vehicular Technology Conference. Jeju: IEEE Press, 2003, 1: 779-782.
- [2] Dai L, Zhou S D, Yao Y. Capacity analysis in CDMA distributed antenna system[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2005, 4(6): 2 613-2 620.
- [3] Choi W, Andrews J G, Yi C. The capacity of multicellular distributed antenna networks [C]// International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. Piscataway, USA: IEEE Press, 2005, 2:1 337-1 342.
- [4] 蒋占军, 赵新胜, 尤肖虎. 一种分布式无线移动通信系统中远端天线单元动态选择模型[J]. 电子与信息学报. 2007, 29(2): 305-309.
- [5] Han S F, Zhou S D, Wang J, et al. Transmit antenna selection with power and rate allocation for generalized distributed wireless communication systems [C]// IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. INSPEC, 2005, 4: 2 430-2 434.
- [6] Roh W, Paulraj A. Outage performance of the distributed antenna systems in a composite fading channel [C]// Proceedings of 56th Vehicular Technology Conference. Vancouver, Canada: IEEE Press, 2002, 3:1 520-1 524.
- [7] Roh W, Paulraj A. Performance of the distributed antenna systems in a multi-cell environment [C]// Proceedings of Vehicular Technology Conference. 2003, 1: 587-591.
- [8] Tong F, Glover I A, Pennock S R, et al. Impact of distributed antenna systems on inter-cell interference [C]// 7th European Conference on Wireless Technology. Amsterdam: IEEE Press, 2004, 4: 41-44.
- [9] Han S F, Zhou S D, Wang J, et al. Suboptimal transmission of orthogonal space-time block codes over correlated distributed antennas [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14(2):89-92.
- [10] Chuah C N, Kahn J M, Tse D. Capacity of multi-antenna array systems in indoor wireless environment [C]// Proceedings of Globecom98. Sydney, Australia: IEEE Press, 1998, 4: 1 894 -1 899.
- [11] Foschini G J, Gans M J. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas [J]. Wireless Personal Communications. 1998, 6(3):311-335.
- [12] Zhou Q, Dai H Y. Joint antenna selection and link adaptation for MIMO systems[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2006, 55(1): 243-255.