

## DWCS中的天线动态选择算法

杨 波，唐友喜

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

**【摘要】**针对分布式无线通信系统上行链路，在考虑CDMA多址方式和多用户检测接收机的条件下，提出了一种天线动态选择算法，即在保证虚拟小区接收到的比特信干噪比达到门限的前提下，通过对比特信干噪比的增量和接收机复杂度的增量进行折中，动态地选择尽可能多的接收天线，使移动终端平均发射功率最小化。仿真结果表明，与天线静态选择方法相比，该算法可获得与其几乎相同的中断容量，移动终端平均发射功率减小量与接收机平均复杂度的比值高于天线静态选择方法。

**关 键 词** 天线动态选择；分布式无线通信系统；发射功率；虚拟小区

中图分类号 TN929.5 文献标识码 A

## Novel Antenna Dynamic Selection Algorithm for Distributed Wireless Communication System

YANG Bo and TANG You-xi

(National Key Lab of Communication, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

**Abstract** For the uplink in CDMA distributed wireless communication system (DWCS) employing the multi-user detection receiver, an antenna dynamic selection algorithm is proposed. As the bit signal-to-interference-plus-noise ratio from a virtual cell arrives at the threshold, antennas are selected dynamically as many as possible to minimize the average power of mobile terminal by getting the trade-off between the increment in the bit signal-to-interference-plus-noise ratio and the increment in the receiver complexity. The simulation shows that the proposed algorithm can achieve almost similar outage capacity as the antenna static selection (ASS) method while the ratio of average power decrement of mobile terminal to average receiver complexity of the proposed algorithm is greater than that of ASS.

**Key words** antenna dynamic selection; distributed wireless communication system; transmitted power; virtual cell

分布式无线通信系统(DWCS)是一种新型的无线接入系统，具有比传统蜂窝通信系统更高的系统容量、更广的信号覆盖以及更小的传输功率等许多优势<sup>[1]</sup>，引起了广泛的关注<sup>[2-4]</sup>。以往的研究对于虚拟小区(VC)的确定采用天线静态选择(ASS)方法，即不同移动终端的VC均选择相同数目(一般为4)的天线构成<sup>[4]</sup>，导致系统天线的使用效率低下。文献[5]从提高分布式天线使用效率的角度，提出了一种基于 $E_b/I_0$ 的天线动态选择(ADS)算法，但不能使移动终端平均发射功率最小化。由于移动终端电磁辐射对人体健康的影响日益受到关注<sup>[6]</sup>，未来移动终端需要消耗更多的能量<sup>[7]</sup>，最大限度地降低移动终端的功率消耗成为用户关心的焦点。针对DWCS上行链路，本文提出了一种ADS算法，在保证业务质量

的前提下，使移动终端的平均发射功率达到最小化。

### 1 系统模型

在DWCS中，分布式天线仅完成对无线信号的发送、接收及放大作用。传统蜂窝通信系统中基站的功能由多个分布式处理节点实现，每个处理节点分别管理一定数目的天线。分布式处理节点之间通过高速传输链路联通，然后经由核心节点连接至其他DWCS，其网络结构如图1所示。图中，MT为移动终端，DA为分布式天线，PN为处理节点，CN为核心节点。移动终端MT的VC可选择天线DA<sub>2</sub>构成，或选择天线DA<sub>2</sub>和DA<sub>3</sub>构成，甚至还可选择天线DA<sub>2</sub>、DA<sub>3</sub>和DA<sub>4</sub>构成。

假设系统中均匀分布有M根分布式天线和K

收稿日期：2007-03-19；修回日期：2007-07-10

基金项目：国家自然科学基金(60572090、60472045、60496313)；教育部博士点基金(20050614009)

作者简介：杨 波(1974-)，男，博士生，主要从事移动通信无线资源管理方面的研究。

个单天线移动终端，每个移动终端的VC由系统处理节点根据所采用的天线选择算法确定，且每个处理节点均具有理想的信道信息。本文考虑采用CDMA多址方式的DWCS上行链路，移动终端发射的无线信号由其VC中的所有天线接收。每个天线的接收信号均首先经过RAKE接收，然后进行多用户检测处理，最后从该VC中所有天线检测出的同一移动终端信号进行最大比合并。

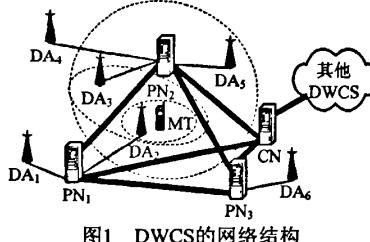


图1 DWCS的网络结构

本文设定 $L$ 表示第*i*个移动终端的VC所包含的天线数目， $h'_{i,j}$ 表示第*j*个移动终端与第*i*个VC中的第*I*根天线之间的信道增益，即有：

$$h'_{i,j} = (d'_{i,j})^{-n} \alpha'_{i,j} \quad i=1, 2, \dots, L \quad (1)$$

式中  $d'_{i,j}$  为第*j*个终端与第*i*个VC中的第*I*根天线之间的距离； $n$  为路径损耗指数； $\alpha'_{i,j}$  为第*j*个终端与第*i*个VC中的第*I*根天线之间的阴影衰落，满足以下的自相关模型<sup>[8]</sup>：

$$(\alpha'_{i,j})_m = \sqrt{1 - \rho^2} \mu_j + \rho (\alpha'_{i,j})_{m-1} \quad (2)$$

式中  $(\alpha'_{i,j})_m$  和  $(\alpha'_{i,j})_{m-1}$  分别表示当移动终端移动距离 $\delta$ 时，在相邻2个位置上的阴影衰落值； $\mu_j$  为独立的正态分布随机变量，其均值为0、方差为 $\sigma_i^2$ ； $\rho$  为相应的2个阴影衰落值的相关系数，有：

$$\rho = e^{-\delta/\lambda} \quad (3)$$

式中  $\lambda > 0$  为阴影衰落的相关距离，它决定了阴影衰落的变化速率。

## 2 天线选择算法

### 2.1 接收性能与接收机复杂度

本文采用VC接收到的总比特信噪比来衡量DWCS上行链路的接收性能。如果第*i*个移动终端的VC中包含*L*根天线，考虑采用多用户检测算法的接收机，则其VC接收的总比特信噪比为：

$$\left( \frac{E_b}{I_o + N_o} \right)_{i,L} = \sum_{l=1}^L \frac{G_p p_l h'_{i,l}}{(1-\eta) \sum_{j=1, j \neq l}^K p_j h'_{i,j} + N_o} \quad (4)$$

式中  $p_l$  为第*i*个移动终端的发射功率； $G_p$  为处理增益(此处取为扩频因子 $N$ )； $N_o$  为噪声功率； $\eta$  为

多用户检测效率，满足以下条件<sup>[9]</sup>：

$$\frac{K_{\text{conv}}}{G_p} = (1-\eta) \frac{K_{\text{MUD}}}{G_p} \quad (5)$$

式中  $K_{\text{conv}}$  与  $K_{\text{MUD}}$  分别表示对于相同的等效  $E_b/(I_o + N_o)$ ，传统CDMA接收机和多用户检测CDMA接收机所能容纳的用户数。

本文采用文献[10]中的宽带并行干扰消除(WB-PIC)算法的多用户检测接收机。根据该文献，1个RAKE接收机的复杂度和一级WB-PIC单元的复杂度可分别表示为：

$$C_{\text{RAKE}} = F(4NS + 4) \quad (6)$$

$$C_{\text{WB-PIC}} = 4K \left( NS \left( P + F + 1 + \frac{1}{2K} \right) + F \right) \quad (7)$$

式中  $S$  为过采样因子； $F$  为RAKE接收机选取的指峰数目； $K$  为移动终端总数； $P$  为路径总数。

假设选择*L*根天线时的多用户检测接收机的总复杂度为：

$$C_L = L(KC_{\text{RAKE}} + n_{\text{stage}} C_{\text{WB-PIC}}) \quad (8)$$

式中  $n_{\text{stage}}$  表示WB-PIC的级数。为了计算方便，本文在计算接收机复杂度时均除以 $10^4$ 。

### 2.2 天线动态选择算法

当第*i*个VC中增加第*L*根天线后，分别作以下的定义：

$$P_{p,L} = \frac{\Delta(E_b/(I_o + N_o))_{i,L}}{(E_b/(I_o + N_o))_{i,1}} \quad (9)$$

$$P_{c,L} = \Delta C_L / C_1 \quad (10)$$

式中  $\Delta(E_b/(I_o + N_o))_{i,L}$  与  $\Delta C_L$  分别表示第*i*个VC中包含*L*根天线和*L*-1根天线时的接收比特信噪比的差值以及接收机复杂度的差值； $(E_b/(I_o + N_o))_{i,1}$  与  $C_1$  分别表示第*i*个VC中仅有1根天线时的接收比特信噪比和接收机复杂度。

在进行天线选择之前，需要预先设定门限值  $\gamma_{\text{th}}$ 。本文提出的ADS算法的步骤如下：

(1) 选择比特信噪比最大的天线加入到当前VC中，并将当前VC包含的天线数*L*设置为1。

(2) 按照式(4)和式(8)分别计算  $(E_b/(I_o + N_o))_{i,1}$  和  $C_1$ 。

(3) 使  $L = L + 1$ ，并选择第*L*根比特信噪比最大的天线加入该VC。

(4) 按照式(9)和式(10)分别计算  $P_{p,L}$  和  $P_{c,L}$ 。

(5) 若  $P_{p,L}/P_{c,L} > \gamma_{\text{th}}$ ，则转到步骤(3)；否则，从该VC中删除第*L*根天线，并设置该VC最终包含的天线数为  $L_{\text{ADS}} = L - 1$ ，退出。

### 3 仿真与结果分析

本文设置的仿真场景如下: 在边长为1 000 m的正方形区域中对称放置16根分布式天线, 由1个处理节点进行管理, 天线比移动终端高20 m。在每个位置更新时刻, 移动终端分别从 $\{0, \pi/2, \pi, 3\pi/2\}$  4个方向中随机选择1个方向进行移动。仿集中采用基于信干比平衡的功率控制方案和两级WB-PIC算法的接收机(取 $F=1$ 、 $P=1$ 、 $S=1$ ), 主要参数设置如表1所示。

表1 仿真中的主要参数

参数名称	取值
移动终端速度km/h	3
扩频因子	16
功率控制参数/dB	目标: 7; 步长: 1; 余量: 3
中断门限/dB	6.5
噪声功率/dBm	-103
阴影衰落参数	标准差: 8 dB; 相关距离: 20 m
多用户检测效率/(%)	60

ASS方法和门限 $\gamma_{th}$ 取不同值时, 本文提出的ADS算法的中断概率 $P_i$ 曲线如图2所示。由图可以看出, 随着门限 $\gamma_{th}$ 的减小, 采用本文提出的ADS算法带来的系统中断容量随之增大, 但增加的幅度趋于减小。当取 $\gamma_{th}=0.07$ 时, 本文提出的ADS算法与ASS方法具有几乎相同的中断容量。为了保证比较的公平性, 在仿真中均取 $\gamma_{th}=0.07$ 。

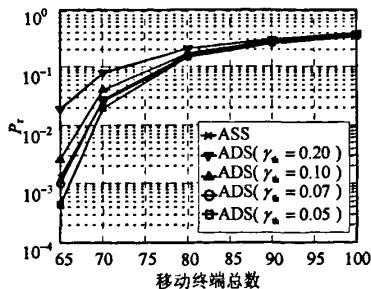


图2 不同天线选择算法的中断概率曲线

采用ASS方法和门限 $\gamma_{th}=0.07$ 时, ADS算法的移动终端平均发射功率减小量 $\Delta P$ 曲线如图3所示。移动终端平均功率减小量以按照路径损耗最小准则选择1根天线时, 所需的移动终端平均发射功率为参考。由图3可以看出, 当采用2种不同的天线选择算法时, 本文提出的ADS算法的移动终端平均发射功率减小量与ASS方法接近。这是因为与接收机复杂度的增量相比, 该算法选取了最多的使比特信干噪

比增量大于给定门限的天线数目构成VC。如果继续增加天线数, 不能使移动终端的平均发射功率得到有效的降低, 而且接收机的复杂度则仍有相对较大的增加。

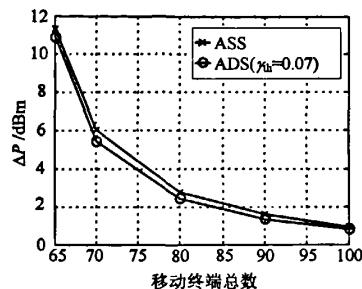


图3 不同天线选择算法的 $\Delta P$ 曲线

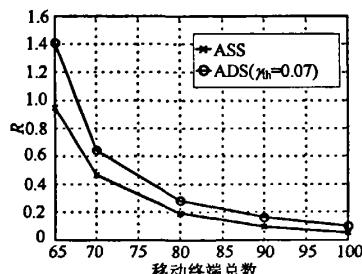


图4 不同天线选择算法的 $R$ 曲线

采用ASS方法和门限 $\gamma_{th}=0.07$ 时, ADS算法的移动终端平均发射功率减小量与接收机平均复杂度的比值 $R$ 曲线如图4所示。由图可以看出, 当网络中的移动终端数目较少时, 采用本文提出的ADS算法获得的比值 $R$ 明显高于ASS方法; 而当网络中的移动终端数目较多时, 该比值仍略高于ASS方法。这是由于该算法根据给定的门限值在接收比特信干噪比与接收机复杂度之间取得折中, 而ASS方法没有考虑上述因素。

### 4 结论

本文提出了一种适用于DWCS的天线动态选择算法。该算法能在接收比特信干噪比和接收机复杂度两者之间进行折中, 从而动态选择天线来最小化移动终端的平均发射功率。仿真结果表明, 本文提出的天线动态选择算法优于天线静态选择方法。

### 参 考 文 献

- [1] ZHOU Shi-dong, ZHAO Ming, XU Xi-bin, et al. Distributed wireless communication system: a new architecture for future public wireless access[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(3): 108-113.

(下转第663页)

了一种新的UWB成形脉冲设计算法。该算法所设计的UWB脉冲不仅满足了FCC辐射掩模的规定,而且大大提高了脉冲的频谱利用率。仿真结果与理论分析结论相一致,表明了该算法的简单及可行性。

### 参 考 文 献

- [1] PARR B, CHO B, WALLACE K. A novel ultra-wideband pulse design algorithm[J]. IEEE Communications Letters, 2003, 7(5): 219-221.
- [2] DILMAGHANI R S, GHAVAMI M, ALLEN B, et al. Novel UWB pulseshaping using prolate spheroidal wave functions[C]//Proc 14th IEEE International Symposium on Personal, Indoor & Mobile Radio Communications (PIMRC2003). BJ: [s.n.], 2003, 602-606.
- [3] ZHANG H G, KOHNO R. SSA realization in UWB multiple access systems based on prolate spheroidal wave functions[J]. IEEE WCNC 2004, 2004, 3(21-25): 1794-1799.
- [4] 林志远, 魏平. 一种新的UWB通信脉冲设计[J]. 通信学报, 2006, 27(7): 123-126.
- LIN Zhi-yuan, WEI Ping. Novel UWB communication pulse design method[J]. Journal on Communications, 2006, 27(7): 123-126.
- [5] WU X R, TIAN ZH, DAVIDSON T N, et al. Optimal waveform design for UWB radios[J]. Proc IEEE ICASSP'04, 2004: 521- 524.
- [6] 邹卫霞, 周正. 基于频段及带宽限制设计UWB脉冲的算法[J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(5): 94-97.
- ZOU Wei-xia, ZHOU Zheng. Algorithm for UWB pulse based on the frequency band and bandwidth constraint[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2005, 28(5): 94-97.
- [7] 陶纯堪, 陶纯匡. 光学信息论[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- TAO Chun-kan, TAO Chun-kuang. Theory of optics information[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [8] SLEPIAN D. Some asymptotic expansions for prolate spheroidal functions[J]. Math Physics, 1965, 44: 99-140.
- [9] CHEN Q Y, GOTTLIEB D, HESTHAVEN J S. Spectral methods based on prolate spheroidal wave functions for hyperbolic PDEs[J]. SIAM Journal on Numerical Analysis, 2005, 43( 5): 191-933.
- [10] MARLA-GABRIELLA D B, GUERINO G. Understanding ultra wide band radio fundamentals[M]. America: Pearson Education, 2004: 111-113.

编 辑 张俊

(上接第659页)

- [2] LI Jian-jun, KIM H, KIM S, et al. A new cell structure for distributed wireless communication system without inter-cell interference[C]//IEEE Global Telecommunications Conference. Saint Louis, Missouri, USA: IEEE, 2005.
- [3] HU Hong-lin, MARTIN W, LUO Ji-jun. Adaptive transmission mode selection scheme for distributed wireless communication systems[J]. IEEE Communications Letters, 2006, 10(7): 573-575.
- [4] LI Zheng, WANG Yu, WU Wei-ling. Position location and direction assisted handoff algorithm in DWCS[C]//IEEE 15th International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications. Barcelona, Spain: IEEE, 2004: 663-666.
- [5] CHEN Peng, LI Zheng, WU Wei-ling. A class of antenna dynamic selection algorithm based on  $E_b/I_0$  in DWCS[C]//2004 International Conference on Signal Processing and Communications. Bangalore, India: [s.n.], 2004.
- [6] LIN J C. Health effects: scientific research and mobile phone testing[J]. IEEE Microwave Magazine, 2002, 3(4): 26-30.

- [7] KATZ M, FITZEK F H P. Cooperative techniques and principles enabling future 4G wireless networks[C]//2005 International Conference on Computer as a Tool. Serbia and Montenegro Belgrade: [s.n.], 2005.
- [8] KERPEZ K J. A radio access system with distributed antennas[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1996, 45(2): 265-275.
- [9] HAMALAINEN S, HOLMA H, TOSKALA A. Capacity evaluation of a cellular CDMA uplink with multiuser detection[C]//IEEE 4th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications. Mainz, Germany: IEEE, 1996.
- [10] NAHLER A, IRMER R, FETTWEIS G. Reduced and differential parallel interference cancellation for CDMA systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2002, 20(2): 237-247.

编 辑 黄莘

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>