

智能天线几种非盲算法性能仿真的比较

孙绪宝, 王守海, 周强

(山东科技大学 理学院, 山东 青岛 266510)

摘要:介绍了无线通信 CDMA 系统中智能天线非盲算法求权模型, 用迭代的自适应算法进行了模拟, 获得了三种常用的非盲算法在不同运动环境下的仿真结果, 并进行了性能比较。

关键词:智能天线; 自适应算法; 波束形成

中图分类号:TN 911.25 **文献标识码:**A

Performance Comparison of Different Non-Blind Algorithm Simulation for Smart Antennas

SUN Xu-bao, WANG Shou-hai, ZHOU Qiang

(College of Sciences, SUST, Qingdao, Shandong 266510, China)

Abstract: In the paper, a weight-solving model with non-blind algorithm for smart antenna in the wireless CDMA system is introduced, and the simulation is conducted by means of self-adaptive iterative methods, and then, three kinds of non-blind algorithm simulation results are obtained with different dynamic environments, and the performance comparisons are illustrated.

Key words: smart antennas; self-adaptive algorithm; formation of wave beam

智能天线已成为无线通信系统中研究的热点^[1]。智能天线将空域更有效地利用起来, 实现空分多址(SDMA), 其主要功能是对期望信号方向形成高增益波束, 在干扰信号方向产生零陷。增加了系统的容量, 提高了频谱利用率。智能天线的核心是算法, 分为盲算法和非盲算法。盲算法优点是不需要参考序列, 节约了频谱资源, 许多关于盲算法的成果^{[2]~[4]}, 非盲算法需要参考信号, 有时需要发射导频信号, 占用了部分频谱资源, 但实现容易且稳定性好。当智能天线系统进行波达方向(DOA)估计时, 要求较高的波达方向估计精度, 否则影响系统性能, 无法正常运行。在智能天线设计中, 权衡具体要求、性能价格比及实现的复杂程度, 非盲算法又成为设计的首选。介绍了非盲算法求权的数学公式, 给出了三种常用的非盲算法在不同运行环境下的仿真结果。

1 模型

考虑无线通信 DS-CDMA 系统的单个蜂窝小

区的上行链路, 即移动用户到基站的链路。基站天线采用智能天线, 其原理如图 1, 采用 BPSK 调制的信号, 假设基站配备了阵元个数为 M 的均匀线性阵列, 阵元间距为半个波长, 移动用户为单个天线, 系统中共有 K 个激活用户。基站天线接收信号下行转换后, 用向量表示为^[5]:

$$r^{(m)}(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} h_{k,l} A_k b_k(t - \tau_k) s_k(t - iT_b - \tau_{k,l}) a^{(m)}(\theta_{k,l}) + n^{(m)}(t) \quad (1)$$

式(1)中、 $\tau_{k,l}$ 、 $\theta_{k,l}$ 和 $h_{k,l}$ 分别为第 k 个用户第 l 条路径的信号时延、到达方向和信道衰弱因子; A_k 、 $b_k(t)$ 和 $s_k(t)$ 是信号振幅、波形和扩频码波形; 周期分别为 T_b 和 T_c , 扩频信号的处理增益 $G = T_b + T_c$; $a^{(m)}(\theta_{k,l})$ 和 $n^{(m)}(t)$ 为第 m 个天线元对第 k 个用户第 l 条路径的阵列响应和第 m 天线的噪声。

定义接收信号向量: $r = [r^{(1)}, \dots, r^{(M)}]$;

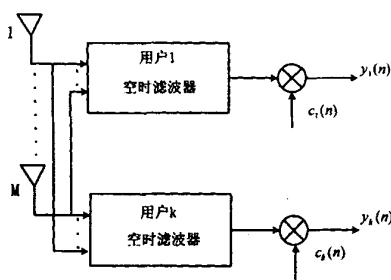


图 1 智能天线原理图

Fig. 1 Sketch of the smart antenna

$$u_k^m = \sum_{l=1}^{L_k} h_{k,l} a^{(m)}(\theta_{k,l}) S_{(k)}(l) \quad (2)$$

则(2)式化为:

$$r = \sum_{k=1}^K A_k b_k u_k + n \quad (3)$$

经过伪码相关器后,接收的第 k 个用户的信号为
 $y_k = c_k^H r = A_k c_k^H u_k b_k + \sum_{k' \neq k} A_k c_k^H u_k b_{k'} + c_k^H n \quad (4)$

C_k 是第 k 个用户的伪码相关器系数,上标 H 表示转置共轭,假设第 k 个用户的波束形成的权向量 W_k 加权后产生输出:

$$z_k = W_k^H y_k \quad (5)$$

假设给定参考信号 $p_k(n)$,获得 MMSE 准则的解,其代价函数为:

$$J = E[|z_k(n) - p_k(n)|^2] \quad (6)$$

其最优权为: $W_k^{opt} = R_k^{-1} d_k \quad (7)$

其中:

$$R_k = E[y_k(n)y_k^H(n)]; d_k = E[y_k(n)p_k^*(n)]$$

2 LMS 算法

LMS 算法有结构简单、易实现等特点,在线通信中广泛应用。以最小均方误差为准则,由最陡梯度法导出,可获得最佳权值,实现方法:

$$W_k(n+1) = W_k(n) + \mu \nabla_w [J(n)]$$

得:

$$W_k(n+1) = W_k(n) + \mu E[e(n)y_k(n)] \quad (8)$$

其中, $e(n) = z(n) - p(n)$, μ 为常数, 它决定了步速度。为了减小系统的复杂度及计算量, 将 $E[e(n)y_k(n)]$ 近似为瞬时期望值, 即:

$$E[e(n)y_k(n)] = e(n)y_k(n) \quad (9)$$

则权值迭代式为:

$$W_k(n+1) = W_k(n) + \mu e(n)y_k(n) \quad (10)$$

经迭代收敛后,即可获得第 k 个用户的波束形成的最优权 $W_k = W_k^{opt}$ 。

3 仿真结果

表 1 模拟参数表

Tab. 1 Simulation parameters

系统	DS-CDMA
载频	2GHz
码片速率	1.28Mchip/s
天线单元数	4
运动速度	5 km/h; 100 km/h

模拟参数表 1 所示,三种常用的算法 LMS(最小均方方法);RLS(递归最小平方法);SMI(直接矩阵求逆法)进行模拟,选用 matlab 软件进行仿真,移动通信系统采用多址技术,如:频分多址、时分多址、码分多址及空分多址,提高了系统的容量。按我国的体制标准,信道间隔 25kHz,共 600 个信道。采用码分多址系统,不同用户可同时工作于同一个信道,假设平均 2 个用户占同一信道,则 1200 个用户可同时工作。只考虑同信道的 6 个用户且忽略信道间的干扰,仿真结果见图 2 和图 3, 用户运动速度 5km/h 和 100km/h 的信噪比(SNR)与误码率的关系,由图 2 知,信噪比超过

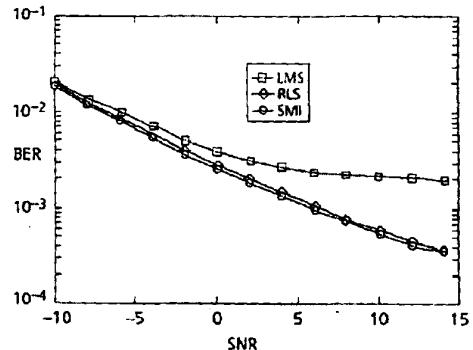


图 2 误码率与信噪比的关系图

Fig. 2 Relation between BER and SNR

10dB 时,SMI,RLS 算法比 LMS 算法误码率低近一个数量级。用户数大于天线元数时,LMS 算法抗干扰能力不如 SMI, RLS 算法强,由图 3 看出,当用户运动速度达到 100km/h 时,三种算法在同等信噪比时,误码率均降低近两个数量级,但 SMI, RLS 算法性能仍优于 LMS 算法,其中 SMI 算法更好。图 4 为在一个时隙内,用户运动速度均为 5km/h 时,获得的用户数与误码率的关系,可见 SMI、RLS 性能较好。

(下转第 105 页)

$f(v_{n-1}v_n), f(w_0v_1)\}$ 中任取一色着给 v_nv_1 即可。若 $f(w_tv_{n-1}) \neq f(w_0v_2)$, 则从 $S \setminus \{f(w_tv_n), f(v_{n-1}v_n), f(w_0v_1), f(v_1v_2)\}$ 中任取一色着给 v_nv_1 即可(之所以让 $f(v_nv_1) \neq f(v_2v_3)$, 是因为路 $v_1v_2v_3w_0$ 可能是 2-色路)。

子情况 2.2: 当 $f(v_{n-1}v_n) \neq f(v_1v_2)$, $f(w_tv_n) = f(w_0v_1)$ 时。此时, 设 $N_G(W_t)$ 中不与 IOF 关联的邻点为 u_t , $N_G(w_0)$ 中不与 IOF 关联的邻点为 u_0 。若 $f(w_tu_t) = f(w_0u_0)$, 则从 $S \setminus \{f(v_{n-1}v_n), f(w_tv_n), f(v_1v_2), f(w_tu_t)\}$ 中任取一色着给 v_nv_1 即可。若 $f(w_tu_t) \neq f(w_0u_0)$, 则从 $S \setminus \{f(v_{n-1}v_n), f(w_tv_n), f(v_1v_2)\}$ 中任取一色着给 v_nv_1 即可。

子情况 2.3: 当 $f(v_{n-1}v_n) = f(w_0v_1)$ 且 $f(w_tv_n) \neq f(v_1v_2)$, 或 $f(v_{n-1}v_n) \neq f(w_0v_1)$ 且 $f(w_tv_n) = f(v_1v_2)$ 时。设为前者, 另一种情况同理可得。此时, 从 $S \setminus \{f(v_{n-1}v_n), f(w_tv_n), f(v_1v_2), f(w_tv_{n-1})\}$ 中任取一色着给 v_nv_1 即可。

子情况 3: 当 $\{f(v_{n-1}v_n), f(w_tv_n) = f(v_1v_2), f(w_0v_1)\}$ 时。分两种情况。

(上接第 80 页)

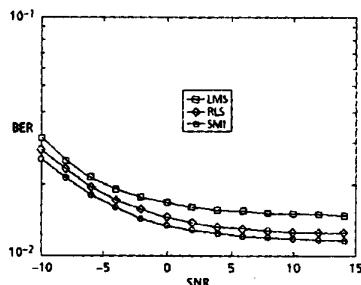


图 3 误码率与信噪比的关系图

Fig. 3 Relation between BER and SNR

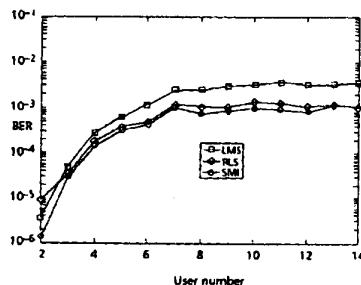


图 4 误码率与用户数的关系图

Fig. 4 Relation between BER and users

子情况 3.1: 当 $f(v_{n-1}v_n) = f(v_1v_2)$, $f(w_tv_n) = f(w_0v_1)$ 时, 若 $f(w_tu_t) = f(w_0u_0)$, 则从 $S \setminus \{f(v_{n-1}v_n), f(w_tv_n), f(w_tu_t)\}$ 中任取一色着给 v_nv_1 即可。若 $f(w_tu_t) \neq f(w_0u_0)$, 则从 $S \setminus \{f(v_{n-1}v_n), f(w_tv_n)\}$ 中任取一色着给 v_nv_1 即可。

子情况 3.2: 当 $f(v_{n-1}v_n) = f(w_0v_1)$, $f(w_tv_n) = f(v_1v_2)$ 时, 若 $f(v_2v_3) = f(w_0u_0) = f(w_tu_t)$, 则令 $f(v_nv_1) = f(w_0v_2)$ 。否则, 只需从 $S \setminus \{f(v_{n-1}v_n), f(w_tv_n), f(w_0v_2), f(w_tv_{n-1})\}$ 中任取一色着给 v_nv_1 即可。

容易验证上述着色方法的合理性。

参考文献:

- [1] J. A. Bondy, U. S. R. Murty. Graph theory with Application [M]. New York, Mamilcan Press, 1976.
- [2] B. Grünbaum. Acyclic coloring of planar graphs [J]. Israel J. of Math., 1973, 14: 390~408.
- [3] N. Alon, B. Sudakov, A. Zaks. Acyclic edge colorings of graphs [J]. J. of graph theory, 2001, 37: 157~167.
- [4] 许振宇. 1-树与外平面图的无圈边着色 [J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2004, 23(3): 95~97.

4 结论

三种算法的模拟结果表明: 在用户数大于天线元数时, 虽然 LMS 算法在三者中最为简单, 硬件实现成本低, 但抑制干扰能力最弱, 收敛速度慢, RLS 算法和 SMI 算法, 收敛速度均快于 LMS 算法, 其中 SMI 算法收敛最快, 但计算复杂度最高, 且需要矩阵求逆运算。

参考文献:

- [1] Ryuji Kohno. Spatial and temporal communication theory using adaptive antenna array [J]. IEEE Pers. Commun., 1998, 5(1): 28~35.
- [2] S Choi, H J Im. A novel adaptive beamforming algorithm for antenna array CDMA systems with strong interferers [J]. IEEE Trans. Veh. Technol., 2002, 51(5): 808~816.
- [3] 杨坚, 奚宏生. CDMA 统智能天线自适应波束形成 [J]. 电波科学学报, 2004, 19(1): 77~82.
- [4] 孙绪宝, 钟顺时. 基于神经网络的盲波束形成 [J]. 电波科学学报, 2004, 19(2): 237~239.
- [5] Guo Y, Aazhang B. Resource allocation and capacity in wireless CDMA networks using adaptive power control and antenna array multiuser receiver [A]. Computers and Communications, Proceedings [C]. 2000, 723~730.

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)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)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),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>